

244-99CO

# CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AGUA

Guía para la aplicación de principios relacionados  
con el manejo de la calidad del agua

Editado por  
Sinhaxo Helmer e Iván Ido Herrera Flor



PNUMA



CCNAS



ORGANIZACIÓN  
MUNDIAL DE SALUD



CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y  
CIENCIAS DEL AMBIENTE



244-99CO-15624

**Control de la  
contaminación  
del agua**

LIBRARY IRC  
PO Box 93190, 2509 AD THE HAGUE  
Tel.: +31 70 30 689 80  
Fax: +31 70 35 899 64  
BARCODE: 15624  
LO: 244 09CO

# Control de la contaminación del agua

Guía para la aplicación de  
principios relacionados con la calidad del agua

Editado por  
Richard Helmer e Ivanildo Hespanhol



**PNUMA**

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente



**CCAAS**

Consejo Colaborador de Abastecimiento de Agua y Saneamiento



**Organización Mundial de la Salud**

Lima, Perú  
Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, OPS/OMS  
1999

Primera edición en inglés 1997

Título original:

*Water pollution control; a guide to the use of water quality management principles*

London: E & FN Spon; 1997

© 1997 WHO/UNEP

Primera edición en español 1999

© 1999 CEPIS, OPS/OMS

Traducido e impreso en el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, OPS/OMS

Casilla de correo 4337 – Lima 100, Perú

Teléfono (511) 437-1077

Fax: (511) 437-8289

Internet: [cepis@cepis.ops-oms.org](mailto:cepis@cepis.ops-oms.org)

<http://www.cepis.org.pe>

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, CEPIS, OPS/OMS, se reserva todos los derechos. El contenido de este documento puede ser reseñado, reproducido o traducido totalmente o en parte, sin autorización previa, a condición de que se especifique la fuente y de que no se use para fines comerciales.

La Organización Mundial de la Salud, OMS, y el CEPIS, OPS/OMS, agradecen el apoyo financiero del Gobierno de los Países Bajos, Ministerio de Relaciones Exteriores/DEGIS, que hizo posible la presente traducción e impresión.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>Prefacio</b>	<b>xi</b>
<b>Reconocimientos</b>	<b>xiii</b>
<b>Capítulo 1      POLÍTICA Y PRINCIPIOS</b>	<b>1</b>
1.1      Introducción	1
1.2      Marco político	1
1.3      Principios del control de la contaminación del agua	3
1.4      Formulación de estrategias	9
1.5      Referencias	9
<b>Capítulo 2      REQUISITOS DE LA CALIDAD DEL AGUA</b>	<b>11</b>
2.1      Introducción	11
2.2      ¿Por qué existen criterios y objetivos de la calidad del agua?	12
2.3      Criterios de calidad del agua para usos específicos	15
2.4      Objetivos de la calidad del agua	26
2.5      Conclusiones y recomendaciones	40
2.6      Referencias	42
<b>Capítulo 3      SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS</b>	<b>45</b>
3.1      Manejo integral de los residuos y del agua	45
3.2      Origen, composición e importancia de las aguas residuales	47
3.3      Manejo de aguas residuales	52
3.4      Prevención y minimización de la contaminación	59
3.5      Recolección de aguas residuales	64
3.6      Costos, operación y mantenimiento	68
3.7      Selección de la tecnología	70
3.8      Conclusiones y recomendaciones	87
3.9      Referencias	88

<b>Capítulo 4</b>	<b>LAS AGUAS RESIDUALES COMO RECURSO</b>	<b>91</b>
4.1	Introducción	91
4.2	Tipos de reúso	92
4.3	Ejecución o mejoramiento de los sistemas de reúso agrícola	94
4.4	Aspectos técnicos de la protección sanitaria	110
4.5	Conclusiones y recomendaciones	125
4.6	Referencias	126
<b>Capítulo 5</b>	<b>INSTRUMENTOS LEGALES Y REGULADORES</b>	<b>131</b>
5.1	Introducción	131
5.2	Inventarios para el control de contaminación	132
5.3	Origen de las normas para las fuentes puntuales	137
5.4	Reglamentación de las fuentes puntuales	142
5.5	Contaminación por fuentes dispersas	153
5.6	Protección de aguas subterráneas	164
5.7	Contaminación transfronteriza	166
5.8	Conclusiones	168
5.9	Referencias	168
<b>Capítulo 6</b>	<b>INSTRUMENTOS ECONÓMICOS</b>	<b>171</b>
6.1	Introducción	171
6.2	¿Por qué usar instrumentos económicos?	171
6.3	Aplicación de los instrumentos económicos	176
6.4	Selección de los instrumentos	192
6.5	Aplicación en los países en vías de desarrollo	196
6.6	Conclusiones	198
6.7	Referencias	198
<b>Capítulo 7</b>	<b>FINANCIAMIENTO DEL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES</b>	<b>201</b>
7.1	Introducción	201
7.2	Los retos del saneamiento urbano	201
7.3	Los retos financieros	207
7.4	Planes y políticas estratégicos para servicios sostenibles de saneamiento	221
7.5	Conclusiones	226
7.6	Referencias	227

<b>Capítulo 8</b>	<b>ESQUEMAS INSTITUCIONALES</b>	<b>231</b>
8.1	Introducción	231
8.2	El subsector de control de la contaminación del agua	232
8.3	Instituciones y organizaciones	233
8.4	Criterios y factores determinantes	235
8.5	Ejemplos de esquemas institucionales	243
8.6	Creación de la capacidad	253
8.7	Conclusiones	255
8.8	Referencias	256
<b>Capítulo 9</b>	<b>SISTEMAS DE INFORMACIÓN</b>	<b>259</b>
9.1	Introducción	259
9.2	La importancia de la integración	260
9.3	Especificación de las necesidades de información	265
9.4	Recolección y diseminación de información	269
9.5	De datos a herramientas de información	274
9.6	Diseño de redes de monitoreo y selección de variables	280
9.7	Tecnología de monitoreo	283
9.8	Referencias	287
<b>Capítulo 10</b>	<b>ESQUEMA PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA</b>	<b>293</b>
10.1	Introducción	293
10.2	Análisis inicial de los problemas de calidad del agua	295
10.3	Establecimiento de los objetivos del control de la contaminación del agua	299
10.4	Herramientas e instrumentos de manejo	304
10.5	Plan de acción para el control de la contaminación del agua	317
10.6	Referencias	321
<b>Estudio de caso I</b>	<b>EL RÍO GANGES, INDIA</b>	<b>323</b>
I.1	Introducción	323
I.2	El río Ganges	323
I.3	El Plan de Acción del Río Ganges	326
I.4	Problemas de ejecución	333
I.5	Monitoreo de la calidad del agua del río	334
I.6	El futuro	334
I.7	Conclusiones y lecciones aprendidas	335

I.8	Recomendaciones	336
I.9	Fuentes bibliográficas	336
<b>Estudio de caso II RÍO HUANGPU, SHANGHAI, CHINA</b>		<b>337</b>
II.1	Introducción	337
II.2	Antecedentes	337
II.3	Desarrollo institucional y control de la contaminación industrial	342
II.4	Estrategia de control de la contaminación del río Huangpu	348
II.5	Otras medidas para limpiar el río Huangpu	359
II.6	Conclusiones	360
II.7	Referencias	361
<b>Estudio de caso III EL RÍO PASIG, FILIPINAS</b>		<b>363</b>
III.1	Perfil del país	363
III.2	Identificación de cuencas	364
III.3	Situación antes de la intervención	366
III.4	El escenario de intervención	370
III.5	Lecciones aprendidas, limitaciones y oportunidades	380
III.6	Conclusiones y recomendaciones	381
<b>Estudio de caso IV NIGERIA</b>		<b>385</b>
IV.1	Introducción	385
IV.2	Política ambiental nacional	389
IV.3	Manejo de recursos hídricos	392
IV.4	Programa de control de la contaminación del agua por la industria	395
IV.5	Conclusiones	398
IV.6	Referencias	398
<b>Estudio de caso V LA REPRESA DE CAPTACIÓN WITBANK</b>		<b>401</b>
V.1	Introducción	401
V.2	Antecedentes	401
V.3	La represa de captación Witbank	403
V.4	Situación antes de la intervención	404
V.5	Intervención con un nuevo enfoque	405
V.6	Deficiencias del enfoque	412
V.7	Conclusiones	412
V.8	Referencias	413



<b>Estudio de Caso VI LA CUENCA ALTA DE TIETÊ, BRASIL</b>	<b>415</b>
VI.1 Introducción	415
VI.2 La región metropolitana de São Paulo	415
VI.3 Situación antes de la intervención	417
VI.4 El Proyecto Tietê	419
VI.5 Manejo de efluentes industriales	419
VI.6 Conclusiones	424
VI.7 Referencias	424
<b>Estudio de caso VII EL VALLE DEL MEZQUITAL, MÉXICO</b>	<b>425</b>
VII.1 Introducción	425
VII.2 El Valle del Mezquital	426
VII.3 Situación antes de la intervención	429
VII.4 Escenario de la intervención	432
VII.5 Lecciones aprendidas, limitaciones y oportunidades	434
VII.6 Conclusiones y recomendaciones	435
VII.7 Referencias	435
<b>Estudio de caso VIII LA CUENCA LERMA-CHAPALA, MÉXICO</b>	<b>437</b>
VIII.1 Introducción	437
VIII.2 La cuenca Lerma-Chapala	438
VIII.3 Situación antes de la intervención	440
VIII.4 Escenario de intervención	443
VIII.5 Conclusiones y lecciones para el futuro	451
VIII.6 Reflexiones finales	452
<b>Estudio de caso IX LA CUENCA DEL DANUBIO</b>	<b>455</b>
IX.1 Introducción	455
IX.2 Actividades económicas en la cuenca	456
IX.3 El Programa Ambiental para la Cuenca del Río Danubio	461
IX.4 El plan estratégico de acción	462
IX.5 Problemas y prioridades	463
IX.6 Orientaciones estratégicas	466
IX.7 Conclusiones	470
IX.8 Referencias	471
<b>Estudio de caso X REGIÓN DE MOSCÚ, RUSIA</b>	<b>473</b>
X.1 Introducción	473
X.2 Descripción de la región	473

x	Control de la contaminación del agua	
X.3	Sistemas hídricos	475
X.4	Evaluación de recursos hídricos	479
X.5	Fuentes de contaminación	481
X.6	Principales problemas	482
X.7	El programa	483
X.8	Cooperación Internacional	486
X.9	Conclusión	487
X.10	Referencias	487
<b>Estudio de caso XI CHIPRE</b>		<b>489</b>
XI.1	Introducción	489
XI.2	Recursos hídricos	489
XI.3	Medidas para conservar y recargar las aguas subterráneas	492
XI.4	Uso directo de las aguas residuales tratadas para el riego	494
XI.5	Contaminación de los recursos hídricos	496
XI.6	Conclusiones y recomendaciones	496
XI.7	Referencias	499
<b>Estudio de caso XII REINO DE JORDANIA</b>		<b>501</b>
XII.1	Introducción	501
XII.2	Información general sobre Jordania y el Gran Amman	502
XII.3	Control de la contaminación del agua y aguas residuales	503
XII.4	Principales problemas y necesidades del manejo de aguas residuales	504
XII.5	Soluciones alternativas de manejo	509
XII.6	Recomendaciones y resultados posibles	513
XII.7	Referencias	514
<b>Estudio de caso XIII SANA'A, YEMEN</b>		<b>515</b>
XIII.1	Introducción	515
XIII.2	Aspectos del agua	518
XIII.3	Intervenciones planificadas	526
XIII.4	Lecciones aprendidas y conclusiones	526
XIII.5	Referencias	528
<b>Apéndice</b>		<b>531</b>
<b>Índice</b>		<b>533</b>

## PREFACIO

La publicación de este libro representa un hito para el Consejo Colaborador de Abastecimiento de Agua y Saneamiento (Water Supply and Sanitation Collaborative Council) y demuestra su singular capacidad para reunir a profesionales que trabajan en el sector de agua y saneamiento de países industrializados con el fin de preparar una guía práctica sobre un tema clave y actual.

Los países industrializados tienen una vasta experiencia en problemas causados por la contaminación del agua y disponen de estrategias y tecnologías para controlarlos. En los países en desarrollo la contaminación está aumentando rápidamente con la urbanización e industrialización, sin embargo, la mayoría tiene limitada experiencia con respecto a las medidas de control de la contaminación o a marcos institucionales y legales necesarios para que estas medidas sean efectivas. Por otro lado, los países en desarrollo, miembros del Consejo Colaborador, tienen el conocimiento y las aptitudes para adaptar las prácticas de las naciones industrializadas a sus propias circunstancias.

Esta sinergia entre sus miembros es el enfoque principal del Consejo para manejar aspectos sectoriales. Al establecer grupos de trabajo conformados por especialistas para que identifiquen prácticas buenas, las analicen y lleguen a un acuerdo sobre la mejor manera de promover su aplicación, el Consejo ha podido preparar lineamientos autorizados y herramientas que ayudan a enfrentar diferentes desafíos.

El control de la contaminación del agua es claramente uno de los retos más críticos. Sin una acción urgente y dirigida apropiadamente, los países en desarrollo encaran problemas de enfermedades, deterioro ambiental y estancamiento económico en la medida que sus recursos hídricos valiosos se vuelven cada vez más contaminados. En la Cumbre de la Tierra realizada en Río de Janeiro en junio de 1992, los líderes mundiales reconocieron la importancia crucial de proteger las fuentes de agua potable. El capítulo 18 del Programa 21 considera a los "programas efectivos de prevención y control de la contaminación del agua" como elementos indispensables de los planes nacionales de desarrollo sostenible.

En su segundo Foro Mundial de 1993, en Rabat, Marruecos, el Consejo Colaborador respondió al acuerdo de Río mediante el establecimiento de un grupo de trabajo sobre el control de la contaminación del agua, convocado conjuntamente con la Organización Mundial de la Salud y el Programa de las

Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Tuvimos la suerte de que Richard Helmer, de la Organización Mundial de la Salud, aceptara coordinar el grupo de trabajo. Richard fue uno de los que gestionó la preparación de las iniciativas relacionadas con el agua dulce y que fueron aprobadas en Río de Janeiro, por ello, estaba en la mejor posición para asegurar que las deliberaciones del grupo estuviesen bien dirigidas. Durante los tres últimos años y medio hemos recibido la contribución de expertos de los países en desarrollo, de los organismos de las Naciones Unidas, de los organismos bilaterales, de las asociaciones profesionales y de las instituciones académicas. El Consejo agradece esa contribución y también deseo expresar mi agradecimiento personal por el tiempo y esfuerzo voluntario que han dedicado a esta labor.

El resultado es esta guía integral que estoy segura será una herramienta valiosa para los responsables de tomar decisiones y para los gerentes ambientales de los países en desarrollo y países recién industrializados que buscan combatir los impactos negativos de la contaminación del agua sobre la salud, el ambiente y la economía. El Consejo apoyará y promocionará esta guía. Todos nosotros tenemos la responsabilidad de salvaguardar las fuentes de agua y proteger el ambiente de las generaciones futuras.

Margaret Catley-Carlson,  
Presidente, Consejo Colaborador de Abastecimiento de Agua y Saneamiento

## RECONOCIMIENTOS

Las organizaciones copatrocinadoras desean expresar su gratitud a todos aquellos que hicieron posible la preparación de esta guía a través de contribuciones de capítulos, revisión de borradores, participación activa en el grupo de trabajo, apoyo financiero para las reuniones, trabajo editorial, etc.

El trabajo fue dirigido por un grupo de funcionarios de la Organización Mundial de la Salud (OMS), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Centro de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (HABITAT), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO) y expertos de organismos bilaterales miembros del Consejo Colaborador de Abastecimiento de Agua y Saneamiento, centros colaboradores de la OMS y expertos de países en desarrollo y países recién industrializados. Las actividades se implementaron junto con el PNUMA, el Danish Water Quality Institute (VKI), el Institute for Inland Water Management and Wastewater Treatment, Países Bajos (RIZA), el International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering, Países Bajos (IHE), el Banco Mundial, el Centro Colaborador para el Control de la Calidad del Agua de la OMS y el Centro Europeo para el Ambiente y la Salud de la OMS/Oficina del Proyecto de Nancy. Otras organizaciones internacionales, en particular la International Association for Water Quality (IAWQ) y la International Water Resources Association (IWRA) han proporcionado apoyo al grupo de trabajo. También se ha recibido apoyo adicional de organismos bilaterales y de apoyo externo, en particular el Ministerio de Asuntos Exteriores, DGIS, de los Países Bajos. El PNUMA y el Gobierno de los Países Bajos proporcionaron apoyo financiero para las actividades emprendidas por el grupo de trabajo.

El grupo de trabajo reunió a expertos que contribuyeron individual o colectivamente a preparar las diferentes partes del libro. Es difícil identificar adecuadamente el aporte de cada autor, por ello, presentamos a los principales colaboradores:

Martin Adriaanse, Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment (RIZA), Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Lelystad, Países Bajos (capítulo 9).

- Guy J.F.R. Alaerts, Banco Mundial, Washington, D.C., Estados Unidos; anteriormente trabajó en el International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering (IHE), Delft, Países Bajos (capítulos 3 y 8).
- Mohamed Al-Hamdi, Proyecto de Apoyo de la Universidad de Sana'a, Yemen; actualmente cursa un doctorado en el International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering, Delft, Países Bajos (estudio de caso XIII).
- Humberto Romero Álvarez, Consultor Técnico, Comisión Nacional del Agua, México, D.F., México (estudios de caso VII y VIII).
- Lawrence Chidi Anukam, Federal Environmental Protection Agency (FEPA), Abuja, Nigeria (estudio de caso IV)
- Carl R. Bartone, Urban Development Division, Banco Mundial, Washington, D.C., Estados Unidos (capítulo 7).
- Janis Bernstein, Banco Mundial, Washington, D.C., Estados Unidos (capítulo 6).
- M. Bijlsma, International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering (IHE), Delft, Países Bajos (capítulo 3).
- Benedito Braga, Departamento de Ingeniería Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil (estudio de caso VI).
- S. Andrew P. Brown, Wates, Meiring & Barnard, Halfway House, Sudáfrica (estudio de caso V).
- Peter A. Chave, Pollution Control, Bristol, Reino Unido; anteriormente trabajó en el National Rivers Authority, Bristol, Reino Unido (capítulo 5).
- Renato Tantoco Cruz, River Rehabilitation Secretariat, Pasig River Rehabilitation Program, Carl Bro International a/s, Quezon City, Filipinas (estudio de caso III).
- Rainer Enderlein, Environment and Human Settlement Division, Comisión Económica para Europa, Ginebra, Suiza (capítulo 2).
- Ute Enderlein, anteriormente trabajó en la Urban Environmental Health, Division of Operational Support in Environmental Health, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza (capítulo 2).
- Roberto Max Hermann, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Sanitaria, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil (estudio de caso VI).
- Ivanhildo Hespanhol, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Sanitaria, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil; anteriormente trabajó en la Urban Environmental Health, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza (capítulo 4).

- Niels H. Ipsen, Water Quality Institute (VKI), Danish Academy of Technical Sciences, Hørsholm, Dinamarca (capítulos 1 y 10).
- Henrik Larsen, Water Quality Institute (VKI), Danish Academy of Technical Sciences, Hørsholm, Dinamarca (capítulos 1 y 10).
- Palle Lindgaard-Jørgensen, Water Quality Institute (VKI), Danish Academy of Technical Sciences, Hørsholm, Dinamarca (capítulo 9).
- José Eduardo Mestre Rodriguez, Oficina para los Consejos de Cuencas de Ríos, Comisión Nacional del Agua, México, D.F., México (estudio de caso VIII).
- Ilya Natchkov, Ministry of Environment, Sofia, Bulgaria (estudio de caso IX).
- Ioannis Papadopoulos, Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture, Natural Resources and Environment, Nicosia, Chipre (estudio de caso XI).
- Herbert C. Preul, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Cincinnati, Cincinnati, Estados Unidos (estudio de caso XII).
- Yogesh Sharma; anteriormente trabajó en el National River Conservation Directorate, Ministry of Environment and Forests, Nueva Delhi, India (estudio de caso 1).
- Lars Ulmgren, Stockholm Vatten, Estocolmo, Suecia (capítulo 1).
- Siemen Veenstra, International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering (IHE), Delft, Países Bajos (capítulo 3).
- Vladimir Vladimirov, CPPI Water Component, c/o Centre for International Projects, Moscú, Federación Rusa (estudio de caso X).
- W. Peter Williams, Monitoring and Assessment Research Centre (MARC), King's College London, Londres, Reino Unido (capítulo 2).
- Chongua Zhang, Banco Mundial, Washington, D.C., Estados Unidos (estudio de caso II).

El capítulo 7 se centra principalmente en el trabajo y experiencias acumuladas por la División de Agua y Saneamiento del Banco Mundial y por el equipo ambiental de la División de Desarrollo Urbano y el Programa de Manejo Urbano de PNUD/HABITAT/Banco Mundial. El autor está particularmente en deuda con John Briscoe, K.C. Sivaramkrishnan y Vijay Jagannathan por sus comentarios y contribuciones.

El estudio de caso I fue resultado de la iniciativa del profesor Dr. Ir G.J.F.R. Alaerts del IHE, Delft, quien proporcionó apoyo y orientación inestimables. También se reconoce el liderazgo y apoyo desinteresado del Sr. Vinay Shankar, ex director del proyecto del Ganges, por permitir la realización del estudio.

Se reconoce el asesoramiento y respaldo de la Unidad de Coordinación del Programa para el Danubio en Viena y del líder del equipo, Sr. David Rodda, por la preparación del estudio de caso IX. Los criterios expresados en el estudio de caso son del autor y no necesariamente representan los del grupo de estudio o de cualquiera de sus miembros.

La información y datos básicos del estudio de caso XII fueron recopilados por el autor en 1992 al desarrollar el Plan de Conservación y Manejo del Agua para Jordania durante una consultoría con la Chemonics International Consulting Division Inc. de Washington, D.C., mediante contrato con la Agencia para el Desarrollo Internacional (USAID) de los Estados Unidos. Se reconoce la asistencia de otras personas vinculadas al proyecto. Los criterios y opiniones sobre casos citados en ese estudio pertenecen al autor y a las referencias nombradas, y no necesariamente reflejan los criterios y opiniones de la USAID.

El borrador de este libro fue revisado por miembros del grupo de trabajo a través de reuniones, comentarios y enmiendas por escrito. La amplia variedad de temas y el alcance geográfico cubierto por el grupo de trabajo se evidencian en la lista completa de todos los miembros, tal como aparece en el apéndice. Los organismos copatrocinadores y los redactores desean expresar a todos ellos su profundo agradecimiento por la dedicación brindada a este proyecto. Sin embargo, este libro no habría sido posible sin la asistencia editorial de la Dra. Deborah Chapman, quien se encargó de la revisión técnica y lingüística, así como de la producción y diseño en colaboración con la compañía editorial. Como editora de la serie de guías copatrocinadas por PNUMA/OMS sobre diversos aspectos del manejo de la calidad del agua, fue responsable de asegurar la compatibilidad con el *Water Quality Assessment* y *Water Quality Monitoring*, otros dos títulos de la serie.



## Capítulo 1\*

### POLÍTICA Y PRINCIPIOS

#### 1.1 Introducción

En los últimos años ha habido una mayor conciencia e interés por la contaminación del agua en todo el mundo y en el nivel internacional se han desarrollado nuevos enfoques para lograr la explotación sostenible de los recursos hídricos. Se acepta ampliamente que un marco de políticas desarrollado adecuadamente es un elemento clave para el manejo racional de los recursos hídricos. Se han identificado posibles elementos para esas políticas, especialmente durante la preparación del Programa 21 y sus diversas actividades de seguimiento.

Este capítulo propone algunos principios generales para el proceso de formulación de políticas y para la estructura de los documentos de política. También se presentan algunos ejemplos de elementos de política que apoyan el manejo global y sostenible de los recursos hídricos.

#### 1.2 Marco político

Los enunciados de la política para el control de la contaminación del agua se pueden encontrar en el marco legislativo de la mayoría de los países. Sin embargo, a menudo están “escondidos” en los documentos oficiales, tales como actas del gobierno, reglamentos y planes maestros y de acción. Además, los estatutos del gobierno y los documentos constitucionales frecuentemente incluyen párrafos referentes a políticas ambientales. Estos enunciados de política muy pocas veces son coherentes, más bien presentan inconsistencias con otras políticas por haber sido desarrolladas aisladamente y con diferentes propósitos.

Generalmente, el control de la contaminación del agua se aborda específicamente en relación con el establecimiento de una legislación ambiental y planes de acción y también dentro del marco de la planificación de los recursos hídricos. Además, los documentos relacionados con aspectos de salud pública quizá consideren también la contaminación del agua. Estas tres áreas de interacción a menudo son manejadas por diferentes ministerios de línea –

\* *Este capítulo fue preparado por H. Larsen, N.H. Ipsen y L. Ulmgren*

## 2 Control de la contaminación del agua

generalmente un ministerio del ambiente, un ministerio del agua y un ministerio de salud. Además, si existiese un proceso de formulación de políticas, éste podría desarrollarse independientemente.

Para alcanzar una situación en la que las políticas adoptadas tengan un impacto real y práctico para el manejo de los recursos hídricos, es importante definir estas políticas en documentos adecuados. Se recomienda que los enunciados de políticas para el control de la contaminación del agua se incluyan en un documento de política de recursos hídricos o sobre política ambiental o que los enunciados se integren en un documento sobre políticas globales de salud, agua, recursos y ambiente. El enfoque seleccionado dependerá de la organización que administra el manejo de los recursos hídricos y el ambiente de cada país.

Algunos principios generales que deben considerarse dentro del proceso de formulación de políticas son los siguientes:

- Idealmente, una política de control de la contaminación del agua debe considerarse como parte de un marco político coherente que incluye desde enunciados generales como aquellos que pueden encontrarse en los estatutos del gobierno, constituciones, etc., hasta enunciados específicos de políticas para el manejo del ambiente y los recursos hídricos, así como para el desarrollo de sectores específicos.
- Por ello, el proceso de formulación de políticas debe incorporar consultas y buscar el consenso de todos los ministerios de línea relevantes para el manejo de los recursos hídricos, incluidas las organizaciones responsables por las políticas globales de desarrollo económico. Además, cuando se formulan nuevas políticas de desarrollo para otros sectores, se deben considerar los enunciados de políticas de recursos hídricos, si es conveniente.
- Los enunciados de políticas deben ser realistas. En la práctica, las buenas intenciones reflejadas en enunciados tales como “No deberá producirse ninguna contaminación de las aguas superficiales...” no tienen sentido en el contexto de una política operativa.
- Los enunciados en un documento sobre políticas necesitan ser relativamente duraderos ya que deben pasar por un proceso laborioso de adaptación a la política. Por lo tanto, los lineamientos detallados que quizá necesiten una adaptación regular al grado de desarrollo real del país, deben evitarse y colocarse en las partes más dinámicas del sistema de legislación, como el marco de reglamentación, que puede enmendarse en poco tiempo.

### 1.2.1 El documento sobre políticas

Un documento sobre políticas debe formularse de manera clara y concisa y al mismo tiempo debe ser operativo. Esto significa que los enunciados deben comprenderse fácilmente y que el documento debe ser una guía para quienes formulan leyes y reglamentos, así como para aquellos que los hacen cumplir y, por ende, para quienes interpretan estos textos. A fin de cumplir con estos requisitos, el documento de política debe incluir, además de los enunciados generales, principios orientadores bien explicados para el manejo de la contaminación del agua así como lineamientos para las estrategias de implementación de políticas.

### 1.2.2 Enunciados generales de política

Los enunciados generales de política pertinentes al control de la contaminación del agua, definen el concepto que tiene un gobierno sobre los recursos hídricos así como sus prioridades a largo plazo para la explotación de los mismos. Estos enunciados deben, de preferencia, derivarse de políticas generales de manejo del ambiente y recursos hídricos. También deben documentar la disposición del gobierno para permitir que los instrumentos de gestión aseguren la protección a largo plazo y la explotación sostenible de los recursos hídricos acorde con el desarrollo social y económico.

El Programa 21 adoptó algunos enunciados conceptuales en cuanto al control de la contaminación del agua, así como a otros elementos del manejo de recursos hídricos. Los dos enunciados centrales fueron *“El agua dulce debe considerarse como un recurso finito y vulnerable, esencial para mantener la vida, el desarrollo y el ambiente”* y *“El agua debe ser considerada como un bien social y económico con un valor que refleje su uso potencial más valioso”*. Este último enunciado sugiere un concepto general que da prioridad a las actividades de desarrollo relacionadas con el agua.

## 1.3 Principios del control de la contaminación del agua

Los principios orientadores definen las intenciones políticas en términos prácticos al fijar un marco conceptual detallado que apoya los objetivos generales de la política. Se recomienda aclarar estos principios mediante una interpretación breve. Los siguientes principios proporcionan una base para el manejo racional de la contaminación del agua.

*Prevenir la contaminación en lugar de tratar los síntomas de la contaminación.* La experiencia ha demostrado que las acciones correctivas para limpiar los sitios contaminados y las masas de agua generalmente son mucho más costosas

#### 4 Control de la contaminación del agua

que las medidas para evitar tal contaminación. Si bien con el transcurso de los años se han instalado y mejorado plantas de tratamiento de aguas residuales, en muchos países, inclusive en los industrializados, la contaminación del agua sigue siendo un problema. En algunas situaciones, la introducción de un mejor método de tratamiento de aguas residuales solo ha conducido a una mayor contaminación de otros medios, como el lodo de las aguas residuales. El enfoque más lógico es prevenir la generación de residuos que requieren tratamiento. Por lo tanto, las estrategias del control de la contaminación del agua que se centran en la minimización de aguas residuales, el refinamiento de las materias primas y los procesos de producción, el reciclaje de residuos, etc., deben tener mayor prioridad que el tratamiento tradicional al final del proceso industrial.

En muchos países, sin embargo, gran parte de la contaminación del agua proviene de fuentes dispersas, como los fertilizantes de la agricultura que no pueden ser controlados por el enfoque mencionado anteriormente. Para minimizar la contaminación por fuentes no puntuales se debe aplicar el principio de "la mejor práctica ambiental". Los códigos de buenas prácticas agrícolas que tratan de reducir la contaminación mediante el tipo, cantidad y tiempo de aplicación adecuados de fertilizantes, abonos y plaguicidas, pueden ayudar a los agricultores a prevenir o reducir la contaminación de fuentes de agua. La buena práctica agrícola es reconocida por la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) como un medio para minimizar el riesgo de la contaminación del agua y para promover la continuidad de la actividad agrícola económica (CEPE, 1993).

*Aplicar el principio preventivo.* Existen muchos ejemplos de aplicación y descarga de sustancias peligrosas en el ambiente acuático, aun cuando estas sustancias puedan tener efectos perjudiciales. Hasta la fecha, el uso de cualquier sustancia y su descarga al ambiente ha sido aceptado por todos, a menos que la investigación científica haya probado sin ambigüedad un vínculo causal entre la sustancia y un impacto ambiental definido. Sin embargo, en la mayoría de los casos, toma mucho tiempo establecer esos vínculos, aun cuando las primeras investigaciones indiquen la relación. Cuando eventualmente se proporciona la documentación necesaria y se puede tomar acción para abandonar el uso de la sustancia, ya puede haber ocurrido un daño sustancial al ambiente. Los ejemplos de estas situaciones incluyen una serie de plaguicidas que se están dejando de usar porque se ha demostrado que contaminan las aguas subterráneas.

Los ejemplos indican claramente que la acción para evitar un potencial daño ambiental por sustancias peligrosas no debe aplazarse por el solo hecho de que la investigación científica no haya probado plenamente que existe una relación causal entre la sustancia y el daño potencial (CEPE, 1994).

*Aplicar el principio "el que contamina paga".* Este principio, que propugna que los costos de las medidas de prevención, control y reducción de la contaminación sean asumidos por el contaminador, no es un concepto nuevo pero aún no ha sido implementado totalmente a pesar de que se reconoce ampliamente que el agua ya no puede ser considerada como un producto sin costo. El principio es un instrumento económico que tiene como finalidad afectar el comportamiento al promover e inducir prácticas que representen una menor carga sobre el ambiente. Los intentos de aplicar este principio incluyen cobros por descargas de aguas residuales industriales e impuestos especiales a los plaguicidas (Warford, 1994).

La dificultad o renuencia para aplicar este principio probablemente se debe a sus implicaciones sociales y económicas (Enderlein, 1995). La aplicación total del principio afectaría negativamente a los programas subsidiados (implementados por razones sociales) de suministro de agua y remoción de aguas residuales en muchos países en desarrollo. Sin embargo, si bien la implementación total del principio "el que contamina paga" actualmente no es factible en todos los países, debe mantenerse como la meta máxima.

*Aplicar estándares y reglamentos realistas.* Un elemento importante de una estrategia de control de la contaminación del agua es la formulación de estándares y reglamentos realistas. Sin embargo, los estándares deben ser realizables y los reglamentos deben cumplirse. Los estándares poco realistas y los reglamentos que no se cumplen quizá hagan más daño que no tener estándares y reglamentos, ya que crean una actitud de indiferencia hacia las reglas y reglamentos entre contaminadores y administradores. Los estándares y reglamentos deben adaptarse a la capacidad económica y administrativa y deben ajustarse gradualmente a medida que se logre un progreso en el desarrollo general y en la capacidad económica del sector privado. Por lo tanto, el entorno de estándares y reglamentos debe ser un proceso iterativo y continuo.

*Equilibrar los instrumentos económicos y reglamentarios.* Hasta la fecha, los gobiernos de la mayoría de los países han dependido en gran medida de instrumentos y reglamentos para controlar la contaminación del agua. Los instrumentos económicos, generalmente en forma de tarifas y multas por la

## 6 Control de la contaminación del agua

descarga de aguas residuales, han sido introducidos en menor grado y principalmente en los países industrializados.

Comparado con los instrumentos económicos, la ventaja del enfoque normativo para el control de la contaminación del agua es que brinda un grado predecible de reducción de la contaminación, es decir, ofrece a las autoridades control sobre las metas ambientales que pueden alcanzarse y cuándo pueden alcanzarse (Bartone y otros, 1994). La desventaja principal del enfoque normativo es su falta de eficiencia económica (véase también el capítulo 5). Los instrumentos económicos tienen la ventaja de incentivar a los contaminadores para que modifiquen su comportamiento a favor del control de la contaminación y además proporcionan ingresos para realizar actividades de control y para combatir las fuentes no puntuales de contaminación. Los precios y cobros son cruciales para el éxito de los instrumentos económicos. Si los cobros son demasiado bajos, los contaminadores pueden optar por contaminar y pagar, pero si son muy altos pueden inhibir el desarrollo económico.

Frente a estos antecedentes, parece apropiado que la mayoría de países aplique una mezcla de instrumentos reglamentarios y económicos para controlar la contaminación del agua. En países en desarrollo, donde los recursos financieros y la capacidad institucional son muy limitados, los criterios más importantes para equilibrar los instrumentos económicos y reglamentarios deben ser los de la eficiencia en función de los costos (aquellos que logran los objetivos al menor costo) y la factibilidad administrativa.

*Aplicar el control de la contaminación del agua en el nivel apropiado más bajo.* El nivel apropiado puede ser definido como aquel en el que se experimentan impactos significativos. Si, por ejemplo, un aspecto específico de la calidad del agua solo tiene un impacto en una comunidad, el nivel comunitario es el nivel apropiado. Si los impactos ambientales afectan una comunidad vecina, el nivel de manejo apropiado será un nivel más alto, por ejemplo, el nivel de la cuenca del río.

En una escala más amplia, el nivel apropiado de manejo puede ser el nivel nacional para masas de agua importantes donde no se anticipan impactos significativos para los estados vecinos. Cuando se producen impactos adversos en varias naciones, el nivel de manejo apropiado es el internacional (es decir, una comisión internacional de la cuenca del río). Lo importante es que las decisiones o acciones para controlar la contaminación del agua se tomen, en la medida de lo posible, con la participación de los afectados y que los niveles administrativos superiores permitan que los niveles inferiores se encarguen

del manejo descentralizado. Sin embargo, cuando se considera que un nivel administrativo es apropiado para ciertas funciones de control de la contaminación del agua, también debe tomarse en cuenta la capacidad real para ejecutar esas funciones (o la posibilidad de formularlas) en ese nivel. Así, este principio guía propicia la descentralización de las funciones del control de la contaminación del agua y la adaptación a la realidad administrativa y técnica.

*Establecer mecanismos de integración multisectorial.* A fin de asegurar la coordinación de los esfuerzos para controlar la contaminación del agua se deben establecer mecanismos formales y medios de cooperación e intercambio de información entre los sectores relacionados, tales como salud y agricultura. Estos mecanismos deben:

- Permitir que quienes formulan las políticas de los diferentes sectores tengan influencia sobre la política de contaminación del agua.
- Promover en su propio sector el establecimiento de iniciativas y planes con impactos sobre la calidad del agua.
- Propiciar la discusión de ideas y planes establecidos por otros sectores.

Se podría establecer, por ejemplo, un comité permanente con representantes de los sectores involucrados. Las funciones y responsabilidades de este organismo multisectorial incluirían al menos lo siguiente:

- Coordinación para la formulación de políticas sobre control de la contaminación del agua.
- Establecimiento de criterios y estándares nacionales de calidad del agua y sus reglamentos.
- Revisión y coordinación de los planes de desarrollo que afectan la calidad del agua.
- Resolución de conflictos entre organismos gubernamentales sobre aspectos de contaminación del agua que no pueden ser resueltos en un nivel más bajo.

*Fomentar la participación de todos los interesados.* El enfoque de participación busca incrementar la conciencia sobre la importancia del control de la contaminación del agua entre quienes toman decisiones y el público en general. Las decisiones deben tomarse en consulta con el público y con los grupos afectados por la planificación e implementación de las actividades de control. Esto significa que al público debe dársele la oportunidad de expresar sus opiniones, conocimiento y prioridades, y debe ser evidente que sus opiniones son tomadas en cuenta.

## 8 Control de la contaminación del agua

Existen diversos métodos para motivar la participación pública, tales como entrevistas, audiencias de información al público, paneles de expertos y visitas al lugar. El método más apropiado para cada situación debe considerar los factores locales, sociales, políticos, históricos, culturales y otros. Por ejemplo, en muchos países en desarrollo solo los expertos profesionales y científicos tienden a participar y los otros grupos se excluyen del proceso. La participación pública puede tomar tiempo pero incrementa el apoyo del público a la decisión o resultado final e, idealmente, contribuye a crear consenso entre el público, autoridades gubernamentales e industria sobre prioridades ambientales y medidas de control de la contaminación.

*Brindar acceso libre a la información sobre contaminación del agua.* Este principio se relaciona directamente con el principio de participación del público en el proceso de toma de decisiones, ya que una precondition para la participación es que las autoridades públicas ofrezcan acceso libre a la información. El acceso libre a la información propicia el contacto y estimula las discusiones y sugerencias para solucionar problemas de calidad del agua. En muchos países, particularmente los países en transición económica y países en desarrollo, no existe el acceso libre a la información ambiental. Lamentablemente, esta actitud restringe cualquier cooperación internacional que se requiera.

*Promover la cooperación internacional para el control de la contaminación ambiental.* La contaminación transfronteriza del agua, que generalmente ocurre en los grandes ríos, requiere esfuerzos internacionales de cooperación y coordinación para que su control sea efectivo. Por ejemplo, un país puede esforzarse por reducir su carga contaminante, pero sin cooperación estos esfuerzos serían vanos si el país ubicado aguas arriba no adopta las mismas medidas. En algunos casos (por ejemplo, para los ríos Danubio, Zambezi y Mekong), se han establecido con éxito organismos internacionales permanentes con representantes de los estados ribereños a fin de fortalecer la cooperación internacional para controlar la contaminación de los recursos hídricos compartidos.

Un marco para la cooperación internacional a fin de controlar la contaminación del agua que ha sido ampliamente aceptado es la Convención para la Protección y Uso de Aguas Transfronterizas y Lagos Internacionales (CEPE, 1994). Si bien algunos países ya han iniciado la cooperación internacional en este campo, todavía hay una gran necesidad de planificar la acción en el nivel internacional.



#### 1.4 Formulación de estrategias

La formulación de estrategias para el control de la contaminación del agua debe considerar los principios orientadores mencionados, así como otros principios para el manejo de recursos hídricos establecidos en varios documentos, por ejemplo, el Programa 21. Cuando se formula una estrategia para el control de la contaminación del agua, se debe asegurar que concurrentemente se desarrollen y fortalezcan diversos elementos complementarios de un sistema efectivo de control. Por ejemplo, los recursos financieros no estarían bien utilizados si todos se destinaran a la formulación de políticas y redacción de legislaciones, estándares y reglamentos, y no existiese ninguna capacidad institucional que proporcione el marco establecido y haga cumplir los reglamentos.

Los componentes principales de un sistema racional de control de la contaminación del agua pueden ser definidos como:

- Un entorno propicio constituido por un marco de políticas nacionales, legislación y reglamentos que incluya a los contaminadores y autoridades encargadas del manejo.
- Un marco institucional que permita la interacción entre los diversos niveles administrativos.
- La capacidad de planificar y asignar prioridades de tal manera que quienes toman decisiones puedan elegir alternativas basadas en las políticas acordadas, recursos disponibles, impactos ambientales y consecuencias sociales y económicas.

Los tres componentes son necesarios para lograr un control efectivo de la contaminación del agua, por ello, es aconsejable desarrollarlos en forma paralela.

En cuanto a la política, la estrategia debe proporcionar lineamientos generales a los gerentes encargados de la calidad del agua sobre cómo alcanzar los objetivos del control de la contaminación y sobre cómo poner en práctica los principios orientadores. La estrategia debe ser suficientemente detallada como para ayudar a identificar y formular proyectos concretos que contribuyan al cumplimiento de políticas definidas.

#### 1.5 Referencias

- Bartone, C., Bernstein, J., Leitmann, J. y Eigen, J. 1994 *Toward Environmental Strategies for Cities: Policy Considerations for Urban Development Management in Developing Countries*. PNUD/HABITAT/Banco Mundial, Urban Management Program, Washington, DC.

- CEPE 1993 *Protection of Water Resources and Aquatic Ecosystems*. Water Series No. 1, ECE/ENVWA/31, Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas, Nueva York.
- CEPE 1994 *Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes*. ECE/ENHS/NONE/1, Ginebra, Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas, Nueva York.
- Enderlein, R.E. 1995 Protecting Europe's water resources: Policy issues. *Wat. Sci. Tech.*, **31**(8), 1-8.
- Warford, J.J. 1994 Environment, health, and sustainable development: The role of economic instruments and policies. Documento de discusión para el Consejo Directivo General sobre el Programa de Acción para Salud y Ambiente de la Cumbre de la Tierra, junio 1994, Organización Mundial de la Salud, Ginebra.

## Capítulo 2\*

### REQUISITOS DE LA CALIDAD DEL AGUA

#### 2.1 Introducción

El control de la contaminación del agua ha alcanzado gran importancia en los países desarrollados y en varios países en desarrollo. Las políticas exitosas para prevenir, controlar y reducir las sustancias peligrosas, nutrientes y otros contaminantes del agua provenientes de fuentes puntuales tienen como elementos claves la prevención de la contaminación en la fuente, el principio preventivo y la concesión de licencias para descargar aguas residuales, otorgadas por las autoridades competentes (véase el capítulo 1).

En varios países industrializados, así como en algunos países en transición, es una práctica común basar los límites para las descargas de sustancias peligrosas en la mejor tecnología disponible (véase los capítulos 3 y 5). Esos contaminantes peligrosos del agua incluyen sustancias que son tóxicas en bajas concentraciones, carcinógenas, mutagénicas, teratogénicas o que pueden bioacumularse, especialmente si son persistentes. Para reducir los insumos de fósforo, nitrógeno y plaguicidas provenientes de fuentes no puntuales (particularmente agrícolas) en masas de agua, las autoridades ambientales y agrícolas en un número creciente de países están estableciendo el uso de mejores prácticas ambientales (Enderlein, 1996).

En algunas situaciones se necesita incluso requisitos más estrictos. La prohibición parcial del uso de algunos compuestos o la prohibición total de la importación, producción y uso de ciertas sustancias, tales como DDT y plaguicidas que contienen plomo o mercurio, quizá constituya la única manera de proteger la salud de los seres humanos, la calidad del agua y la flora y fauna acuática (incluido el pescado para consumo humano) y otros usos específicos del agua (CEPAL, 1989; CEPE, 1992; Naciones Unidas, 1994).

Sin embargo, algunos contaminantes del agua que resultan sumamente tóxicos en altas concentraciones son necesarios en cantidades traza. Por ejemplo, el cobre, cinc, manganeso, boro y fósforo, pueden ser tóxicos o pueden afectar negativamente la vida acuática cuando se encuentran presentes por

\* *Este capítulo fue preparado por Ute S. Enderlein; Reiner E. Enderlein; y W. Peter Williams*

encima de ciertas concentraciones, pero su presencia en bajas cantidades es esencial para mantener las funciones de los ecosistemas acuáticos. Lo mismo sucede con ciertos elementos del agua potable. El selenio, por ejemplo, es esencial para los seres humanos pero es dañino o tóxico cuando su concentración excede cierto nivel.

Las concentraciones por encima de las cuales los contaminantes perjudican un particular uso del agua pueden diferir ampliamente. Los requisitos de la calidad del agua, expresados como criterios y objetivos de su calidad, dependen de su uso o están orientados hacia la protección del uso más sensible entre una serie de usos existentes o planificados dentro de un área de captación.

Inicialmente, los enfoques para el control de la contaminación del agua se centraron en las emisiones fijas y en los criterios y objetivos de la calidad del agua (véase el capítulo 3). Actualmente, se está dando mayor énfasis a los enfoques integrados. Con la introducción de conceptos holísticos sobre el manejo del agua, incluido el enfoque del ecosistema, se ha reconocido que el uso de objetivos de la calidad del agua, el establecimiento de límites de emisión basados en la mejor tecnología disponible y el uso de las mejores prácticas, son instrumentos integrales de prevención, control y reducción de la contaminación del agua (ICWE, 1992; CNUMAD, 1992; CEPE, 1993). Estos enfoques deben aplicarse de manera que promuevan la acción (Enderlein, 1995). Un avance adicional en el manejo ambiental es el enfoque integrado para el control de la contaminación del aire, suelo, alimentos y agua a través de medios audiovisuales a fin de evaluar las vías de exposición humana.

## **2.2 ¿Por qué existen criterios y objetivos de la calidad del agua?**

Los criterios de calidad del agua son desarrollados por científicos y proporcionan información básica acerca de los efectos de los contaminantes sobre un uso específico del agua (véase el recuadro 2.1). También describen los requisitos de la calidad para proteger y mantener determinado uso del agua. Los criterios de calidad del agua se basan en variables que caracterizan la calidad del agua o de las partículas suspendidas, el sedimento del fondo y la biota. Muchos criterios de calidad del agua fijan un nivel máximo de concentración para determinada sustancia en un medio particular (agua, sedimento o biota) que no sería dañina si ese medio se usa para un propósito único y específico de manera permanente. Para otras variables de la calidad del agua, tales como el oxígeno disuelto, los criterios de calidad se fijan a una concentración mínima aceptable para asegurar el mantenimiento de las funciones biológicas.

La mayoría de los procesos industriales demandan requisitos menos exigentes de calidad, por ello, generalmente los criterios se desarrollan con

**Recuadro 2.1** Ejemplos del desarrollo de criterios y lineamientos nacionales de calidad del agua**Nigeria**

En Nigeria, el Federal Environment Protection Agency (Organismo Federal para la Protección del Ambiente) (FEPA) expidió en 1988 un decreto específico para proteger, restaurar y preservar el ecosistema del ambiente nigeriano. El decreto también facultó al organismo para que fijase estándares de calidad del agua a fin de proteger la salud pública y mejorar la calidad del agua. A falta de datos científicos integrales en el nivel nacional, el FEPA revisó los lineamientos y estándares de calidad del agua de los países desarrollados y en desarrollo, así como de organizaciones internacionales y, posteriormente, los comparó con los datos disponibles sobre Nigeria. Los estándares incluyeron los de Australia, Brasil, Canadá, India, Tanzania, Estados Unidos y los de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Esta recolección de datos se armonizó y usó para generar los lineamientos y estándares nacionales interinos para la calidad del agua de Nigeria. Se consideró el agua potable, el uso recreativo del agua, la vida acuática en agua dulce y los usos agropecuarios e industriales. Se espera que los lineamientos se conviertan en los límites máximos admisibles para las aguas superficiales interiores y subterráneas, así como para las aguas costeras sin marea. También se aplican a aguas superficiales transfronterizas de Nigeria, los ríos Níger, Benue y Cross, que son las principales fuentes de abastecimiento del país. El primer conjunto de lineamientos fue revisado por las partes interesadas y el público general. Ahora se espera que un comité técnico, formado por expertos de los ministerios federales, gobiernos del Estado, organizaciones privadas, instituciones de educación superior, organizaciones no gubernamentales e individuos, revise los lineamientos periódicamente.

**Papua Nueva Guinea**

En Papua Nueva Guinea, la ley de recursos hídricos establece un conjunto de requisitos de calidad del agua para la pesca y el uso recreativo del agua, tanto fresca como marina. El reglamento de salud pública para la calidad del agua potable especifica los requisitos y estándares de calidad del agua en relación con el agua no tratada y el agua potable. Los estándares se establecieron en conformidad con los lineamientos de la OMS y datos de otros países tropicales.

**Vietnam**

La política de manejo del agua del Gobierno de Vietnam destaca la necesidad de disponer de agua adecuada en cantidad y calidad para todos los usos, así como controlar las fuentes puntuales y dispersas de contaminación. Se espera que el gobierno formule y actualice un plan integral a largo plazo para el desarrollo y manejo de los recursos hídricos. Así mismo, se espera una reducción de las repercusiones adversas de las fuentes de contaminación en los países ribereños aguas arriba del delta del río Mekong que se basará en estudios conjuntos y definiciones de criterios para el uso del agua.

Se ha establecido un conjunto de criterios nacionales de calidad del agua potable, así como criterios para la vida acuática y el riego (CESPAP, 1990). Los criterios para la vida acuática incluyen: pH (intervalo 6,5-8), oxígeno disuelto ( $> 2 \text{ mg l}^{-1}$ ),  $\text{NH}_4\text{-N}$  ( $< 1 \text{ mg l}^{-1}$ ), cobre ( $< 0,02 \text{ mg l}^{-1}$ ), cadmio ( $< 0,02 \text{ mg l}^{-1}$ ), plomo ( $< 0,01 \text{ mg l}^{-1}$ ) y sólidos disueltos ( $1.000 \text{ mg l}^{-1}$ ). Recientemente, el Instituto de Higiene de la ciudad de Ho Chi Minh estableció las siguientes concentraciones admisibles de plaguicidas en el agua dulce del delta del Mekong:  $0,042 \text{ mg l}^{-1}$  para el DDT;  $0,018 \text{ mg l}^{-1}$  para el heptacloro;  $0,056 \text{ mg l}^{-1}$  para el lindano; y  $0,100 \text{ mg l}^{-1}$  para ortofosfatos. Según Pham Thi Dung (1994), de junio de 1992 a junio de 1993 las concentraciones reales de estos plaguicidas estuvieron muy por debajo de estos criterios.

Fuentes: CESPAP, 1990; FEPA, 1991; Pham Thi Dung, 1994

## 14 Control de la contaminación del agua

**Cuadro 2.1** Definiciones relacionadas con la calidad del agua y el control de la contaminación

Término	Definición
Criterio de calidad del agua (sinónimo: lineamiento de calidad del agua)	Concentración numérica o enunciado descriptivo recomendado para mantener determinado uso del agua
Objetivo de la calidad del agua (sinónimos: meta de la calidad del agua)	Concentración numérica o enunciado descriptivo recomendado para mantener y proteger los usos designados del agua en un sitio específico, cuenca del río o alguna de su(s) parte(s)
Estándar de calidad del agua	Objetivo reconocido en leyes o reglamentos de control ambiental en el nivel gubernamental <sup>1</sup>
Principio preventivo	Principio mediante el cual la acción para evitar el potencial impacto adverso de la descarga de sustancias peligrosas no debe ser pospuesta simplemente porque la investigación científica no haya probado totalmente que exista un vínculo entre aquellas sustancias y el potencial impacto adverso

<sup>1</sup> En el capítulo 3 se discuten los estándares de calidad del agua.

Fuentes: Adaptado de Dick, 1975; CCREM, 1987; Chiaudani and Premazzi, 1988; CEPE, 1992, 1993.

respecto al uso del agua como fuente de abastecimiento público, agricultura, recreación o como hábitat para comunidades biológicas. Los criterios también se pueden desarrollar en relación con el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos en general. La protección y mantenimiento de estos usos del agua generalmente imponen diferentes requisitos de calidad, por ello, los criterios de calidad del agua a menudo son diferentes para cada uso.

Por lo general, los criterios de calidad del agua sirven como base para establecer los objetivos de la calidad del agua conjuntamente con información sobre los usos del agua y factores propios del lugar (véase el cuadro 2.1). Los objetivos de la calidad del agua tienen como propósito mantener y proteger los usos designados del agua fresca para abastecimiento público, ganadería, riego, pesca, recreación u otros fines, a la vez que sostienen la vida y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos. El establecimiento de objetivos de la calidad del agua no es una tarea científica sino un proceso político que requiere evaluar con sentido crítico las prioridades nacionales. Esta evaluación se basa en consideraciones económicas, usos actuales y futuros, predicciones del progreso

industrial y agrícola, y muchos otros factores socioeconómicos (UNESCO/OMS, 1978; CEPE, 1993, 1995). Estos análisis se han realizado en áreas de captación de aguas nacionales (como la cuenca del río Ganges) y en aguas transfronterizas (como los ríos Rin, Mekong y Níger). En la *Convención para la protección y uso de aguas transfronterizas y lagos internacionales* (CEPE, 1992) y otros documentos pertinentes se ofrece orientación general para desarrollar objetivos de la calidad del agua.

Las autoridades encargadas del manejo de agua, junto con otras instituciones relevantes, han desarrollado objetivos de la calidad del agua en numerosos países a fin de establecer valores umbrales para la calidad del agua que deben mantenerse o alcanzarse dentro de determinado lapso. Los objetivos de la calidad del agua son la base de los reglamentos de control de la contaminación y sirven para tomar medidas específicas de prevención, control o reducción de la contaminación y otros impactos adversos sobre los ecosistemas acuáticos.

En algunos países, los objetivos de la calidad del agua son el instrumento de regulación e incluso se vuelven legalmente obligatorias. Su aplicación, por ejemplo, puede requerir el fortalecimiento apropiado de los estándares de emisión y otras medidas para controlar mejor las fuentes de contaminación puntuales y dispersas. En algunos casos, los objetivos de la calidad del agua sirven como instrumentos de planificación y como base para el establecimiento de prioridades a fin de reducir los niveles de contaminación por sustancias o por fuentes.

### **2.3 Criterios de calidad del agua para usos específicos**

Los criterios de calidad del agua se han establecido ampliamente para algunas variables tradicionales, tales como pH, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno para períodos de cinco o siete días ( $DBO_5$  y  $DBO_7$ ), demanda química de oxígeno (DQO) y nutrientes. Estos criterios ayudan a los responsables de tomar decisiones, especialmente en los países con ríos contaminados seriamente por compuestos orgánicos, a establecer estrategias de control para disminuir el potencial del agotamiento del oxígeno y los bajos niveles resultantes de  $DBO$  y  $DQO$ .

En los estudios de caso sobre el Ganges, India (estudio de caso 1); Huangpu, China (estudio de caso 2); y el río Pasig, Filipinas (estudio de caso 3) se presentan ejemplos del uso de estos criterios. Los criterios para las variables tradicionales de calidad del agua también ayudan a quienes toman decisiones a resolver problemas específicos de contaminación, tales como la contaminación del agua por residuos de las minas de carbón, según se demostró en el estudio de caso sobre la captación del Witbank Dam, Sudáfrica (estudio de caso 5).

### 2.3.1 Desarrollo de criterios

Numerosos estudios han confirmado que un pH entre 6,5 a 9 es el más apropiado para mantener comunidades de peces. Las bajas concentraciones de oxígeno disuelto, combinado con sustancias tóxicas, puede crear estrés en los ecosistemas acuáticos ya que la toxicidad de ciertos elementos, tales como el cinc, plomo y cobre se incrementa con las bajas concentraciones de oxígeno disuelto. La alta temperatura del agua asociada con bajas concentraciones de oxígeno disuelto también aumenta los efectos adversos sobre la biota. Por ello, el criterio de calidad del agua para el oxígeno disuelto considera estos factores. De acuerdo con los requisitos de temperatura del agua para especies acuáticas específicas en sus diversas etapas de vida, los valores de los criterios varían de 5 a 9,5 mg l<sup>-1</sup>, es decir, una concentración mínima de 5 a 6 mg l<sup>-1</sup> de oxígeno disuelto para la biota de agua cálida y de 6,5 a 9,5 mg l<sup>-1</sup> para la biota de agua fría. Las concentraciones más altas de oxígeno también son relevantes para las etapas iniciales de vida. En Alabaster y Lloyd (1982) y EPA (1976, 1986) se presentan mayores detalles.

La Unión Europea (UE) en su *Consejo directivo del 18 de julio de 1978 sobre la calidad de las aguas dulces que requieren protección o mejora a fin de sostener la vida marina* (78/659/CEE) recomienda que la DBO de las aguas para salmónidos sea de  $\leq 3$  mg O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup> y de  $\leq 6$  mg O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup> para las aguas donde viven ciprínidos. En Nigeria, el criterio provisional para la DBO a fin de proteger la vida acuática es de 4 mg O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup> (20 a 33 °C), para el agua de regadío es de 2 mg O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup> (20 a 25 °C) y para las aguas recreativas es de 2 mg O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup> (20 a 33 °C) (FEPA, 1991). En la India, para el Ganges, se usan valores de DBO para definir las clases de calidad del agua para usos designados y para establecer objetivos de la calidad del agua que se lograrán con el tiempo. Para aguas de la clase A, la DBO no debe exceder de 2 mg O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup> y para aguas de la clase B y C no debe exceder de 3 mg O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup> (véase la sección 2.4.1 y el cuadro 2.3).

Los criterios de calidad del agua para los compuestos del fósforo, tales como fosfatos, se fijan a una concentración que previene el crecimiento excesivo de algas. Por ejemplo, la EPA ha establecido criterios para el amoníaco total (NH<sub>3</sub>) que reflejan la toxicidad variable del NH<sub>3</sub> de acuerdo con el pH (EPA, 1985). Los criterios se han fijado para un intervalo entre 6,5 a 9,0 de pH y una temperatura del agua de 0 a 30 °C (cuadro 2.2). El amonio (NH<sub>4</sub>) es menos tóxico que el NH<sub>3</sub>. La estrategia de control en la represa de captación de Witbank, Sudáfrica (estudio de caso 5) está basada en valores similares.

En varios países industrializados, así como en algunos países en transición y otros de la Comisión Económica y Social para Asia y la Región del Pacífico (CESPAP) de las Naciones Unidas, se está dando mayor importancia al



**Cuadro 2.2** Criterios para el amoníaco total ( $\text{NH}_3$ ) a fin de proteger la vida acuática en aguas de diferente temperatura

pH	Concentración de amoníaco ( $\text{mg l}^{-1}$ )						
	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
6,50	2,50	2,40	2,20	2,20	1,49	1,04	0,73
6,75	2,50	2,40	2,20	2,20	1,49	1,04	0,73
7,00	2,50	2,40	2,20	2,20	1,49	1,04	0,74
7,25	2,50	2,40	2,20	2,20	1,50	1,04	0,74
7,50	2,50	2,40	2,20	2,20	1,50	1,05	0,74
7,75	2,30	2,20	2,10	2,00	1,40	0,99	0,71
8,00	1,53	1,44	1,37	1,33	0,93	0,66	0,47
8,25	0,87	0,82	0,78	0,76	0,54	0,39	0,28
8,50	0,49	0,47	0,45	0,44	0,32	0,23	0,17
8,75	0,28	0,27	0,26	0,27	0,19	0,16	0,11
9,00	0,16	0,16	0,16	0,16	0,13	0,10	0,08

Fuente: EPA, 1985

desarrollo de criterios de calidad del agua para sustancias peligrosas. Estas sustancias representan una amenaza para el uso del agua y el funcionamiento de ecosistemas acuáticos por su toxicidad, persistencia, potencial de bioacumulación y efectos carcinógenos, teratógenos o mutágenos. El material genético, recombinado *in vitro* por técnicas de la ingeniería genética, a menudo también está considerado como peligroso. Siguiendo el principio preventivo, muchos países al desarrollar criterios de calidad del agua también están tomando en cuenta las sustancias (incluidos los organismos modificados genéticamente) para las cuales no existen datos suficientes y que, por ahora, solo se sospecha que pertenecen a la categoría de peligrosas.

La elaboración de criterios de calidad del agua para sustancias peligrosas es un proceso largo y costoso. A menudo, se deben realizar estudios integrales de laboratorio para evaluar el impacto de las sustancias peligrosas sobre los organismos acuáticos, además de una búsqueda y análisis de la bibliografía publicada. En Canadá, por ejemplo, el costo promedio para desarrollar un criterio para una sola sustancia por medio de una búsqueda y análisis bibliográfico cuesta aproximadamente \$Can 50.000; en Alemania, llega a DM 200.000 (McGirr y otros, 1991).

Algunos países han compartido los costos y la carga de trabajo entre sus organismos regionales y nacionales para desarrollar criterios de calidad del

agua. Por ejemplo, el Canadian Council of Resource and Environment Ministers (CCREM) ha establecido un grupo de trabajo compuesto por especialistas de gobiernos federales, provinciales y territoriales del Canadá para desarrollar un conjunto de criterios de calidad del agua. Esto les ha permitido producir, a un costo modesto, un conjunto de criterios integrales que no hubieran podido ser realizados mediante esfuerzos individuales. También ha puesto fin a la confusión causada por el uso de criterios diferentes por cada gobierno provincial. En Alemania se estableció un comité especial para desarrollar criterios y objetivos de la calidad del agua. Este comité está compuesto por científicos y especialistas en agua nombrados por el gobierno federal y las autoridades *Länder* responsables del manejo del agua.

En algunos países se ha intentado aplicar criterios de calidad del agua elaborados en otros países (véase el cuadro 2.1). En esos casos, es necesario establecer si los criterios originales fueron desarrollados para condiciones ambientales similares y que al menos algunas de las especies con las cuales se realizaron estudios estén presentes en las masas de agua del país que considera la adopción de otros criterios nacionales. En muchos casos, la aplicación de criterios de calidad del agua de otros países requiere pruebas ecotoxicológicas adicionales. Un ejemplo de la adaptación de un indicador tradicional de contaminación del agua es el uso de una DBO de 3 días para zonas tropicales en lugar de la acostumbrada DBO de 5 días desarrollada para países de clima templado.

### **2.3.2. Agua cruda para el abastecimiento de agua potable**

Los criterios de calidad del agua describen los requisitos que se exigen al agua destinada al consumo humano y se aplican solo al agua tratada antes de su uso. En países en desarrollo, gran parte de la población se abastece de agua cruda sin ningún tipo de tratamiento. Estos criterios incluyen requisitos microbiológicos, así como sustancias orgánicas e inorgánicas que son significativas para la salud humana.

Generalmente los criterios de calidad del agua cruda siguen los criterios del agua potable e incluso se esfuerzan por cumplirlos, especialmente cuando el agua cruda es conducida directamente a las plantas de tratamiento de agua potable sin almacenamiento previo. Los criterios de calidad del agua potable definen una calidad que permite a los seres humanos consumir agua con seguridad a lo largo de su vida. Estos criterios han sido desarrollados por organizaciones internacionales e incluyen los *Lineamientos de la OMS para la calidad del agua potable* (OMS, 1984, 1993) y la *Directiva del Consejo de la UE del 15 de julio de 1980 en relación con la calidad del agua destinada al*

*consumo humano*) (80/778/EEC), que cubre cerca de 60 variables de calidad. Estos lineamientos y directivas son usados por los países, según convenga, para establecer estándares nacionales para el agua potable.

Los criterios de calidad del agua usados para el tratamiento y abastecimiento de agua potable dependen del potencial de los diversos métodos de tratamiento del agua para reducir la concentración de contaminantes en el nivel establecido por esos criterios. El tratamiento del agua potable puede variar desde un simple tratamiento físico y desinfección hasta el tratamiento químico y desinfección, o hasta el tratamiento físico y químico intensivos. Muchos países se esfuerzan por asegurar que la calidad del agua cruda sea tal que solo sea necesario usar procesos de acondicionamiento casi naturales (filtración lenta en arena) y desinfección para cumplir con los estándares del agua potable.

En los estados miembros de la Unión Europea, los criterios nacionales de calidad para el agua destinada al consumo humano sigue la *Directiva del Consejo de la UE del 16 de junio de 1975 en relación con la calidad del agua superficial destinada al agua potable en los estados miembros*(75/440/EEC). Esta directiva cubre 46 variables de calidad del agua directamente relacionadas con la salud pública (características microbiológicas, compuestos tóxicos y otras sustancias con efecto nocivo sobre la salud humana), variables que afectan el sabor y olor del agua (es decir, fenoles), variables con un efecto indirecto sobre la calidad del agua (como el amonio) y variables de importancia general para la calidad del agua (temperatura). Actualmente se están revisando algunas de estas variables.

### 2.3.3 Riego

La calidad deficiente del agua puede afectar los cultivos por acumulación de sales en la zona de la raíz, pérdida de permeabilidad del suelo debido al exceso de sodio o lixiviado de calcio o por la presencia de patógenos o contaminantes que son directamente tóxicos para las plantas o los consumidores. Los contaminantes presentes en el agua de riego pueden acumularse en el suelo y después de un período pueden hacer que el suelo sea inapropiado para la agricultura. Aun cuando la presencia de plaguicidas u organismos patógenos en el agua de riego no afecte directamente el crecimiento de las plantas, puede influir en la aceptabilidad del producto agrícola para su venta o consumo. La Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO), además de una serie de países, ha publicado criterios sobre el tema. En el cuadro 2.3 se presentan algunos ejemplos. Los criterios de calidad también pueden diferir considerablemente entre países debido a las diferentes tasas anuales de aplicación del agua de riego.

Usualmente, los criterios de calidad del agua consideran, entre otros factores, características tales como la tolerancia del cultivo a la salinidad, concentración de sodio y trazas fitotóxicas. El efecto de la salinidad sobre la presión osmótica en la zona no saturada del suelo es una de las consideraciones más importantes de la calidad del agua, ya que influye sobre la disponibilidad del agua para el consumo de la planta. El sodio en las aguas de riego puede afectar adversamente la estructura del suelo y reducir la tasa del movimiento del agua a través del suelo. El sodio también produce perjuicio a las frutas. Las trazas fitotóxicas, tales como el boro, metales pesados y plaguicidas pueden impedir el crecimiento de las plantas o hacer que el cultivo sea inapropiado para el consumo humano u otros usos.

**Cuadro 2.3** Criterios seleccionados para la calidad del agua de riego (mg l<sup>-1</sup>)

Elemento	FAO	Canadá	Nigeria
Aluminio	5,0	5,0	5,0
Arsénico	0,1	0,1	0,1
Cadmio	0,01	0,01	0,01
Cinc	2,0	1,0-5,0 <sup>2</sup>	0,0-5,0 <sup>2</sup>
Cobre	0,2	0,2-0,1 <sup>1</sup>	0,2-1,0 <sup>1</sup>
Cromo	0,1	0,1	0,1
Manganeso	0,2	0,2	0,2
Níquel	0,2	0,2	0,2

<sup>1</sup> Valores para cultivos sensibles y tolerantes, respectivamente

Fuentes: FAO, 1985; CCREM, 1987; FEPA, 1991

<sup>2</sup> Valores para suelo con ph < 6,5 y > 6,5, respectivamente

Como se ha indicado en el capítulo cuatro, dedicado a las aguas residuales como un recurso, y el estudio de caso sobre uso de aguas residuales en el Valle del Mezquital, México, (estudio de caso 7), las aguas residuales tratadas y no tratadas se están usando para el riego de cultivos. En estos casos se debe consultar los *Lineamientos de salud de la OMS para el uso de aguas residuales en la agricultura y la acuicultura* (OMS, 1989) para prevenir impactos adversos sobre la salud y el ambiente (Hespanhol, 1994).

**Cuadro 2.4** Criterios seleccionados para la calidad del agua para ganado (mg l<sup>-1</sup>)

Variable de calidad del agua	Criterios canadienses	Criterios nigerianos
Nitrato más nitrito	100	100
Sulfatos	1.000	1.000
Sólidos disueltos	3.000	3.000
Algas azul verdosas	Evitar el crecimiento excesivo de algas azul verdosas	Evitar el crecimiento excesivo de algas azul verdosas
Patógenos y parásitos	Usar agua de buena calidad	Usar agua de buena calidad (clorada, si fuese necesario, poner énfasis en el saneamiento y manejo de excretas para prevenir la contaminación de fuentes de abastecimiento de agua)

Fuente: CCREM, 1987; FEPA, 1991; ICPR, 1991

### 2.3.4 Agua para la ganadería

El agua de pobre calidad podría causar la muerte, enfermedad o crecimiento deficiente del ganado. Las variables perjudiciales incluyen nitratos, sulfatos, sólidos disueltos totales (salinidad), varios metales y microcontaminantes orgánicos, como plaguicidas. Además, las algas azul verdosas y los agentes patógenos en el agua pueden ocasionar problemas. Algunas sustancias, o su degradación, presentes en el agua para ganado pueden ser transmitidas a los seres humanos. Por ello, el propósito de los criterios de calidad del agua destinada al ganado es proteger al ganado y al consumidor.

Generalmente, los criterios del agua para ganado consideran el tipo de ganado, los requisitos diarios para cada especie, los productos químicos agregados al alimento para mejorar su crecimiento y reducir los riesgos de enfermedades, así como información sobre toxicidad de sustancias específicas para diferentes especies. En el cuadro 2.4 se presentan algunos ejemplos de los criterios del agua para ganado.

### 2.3.5 Uso recreativo

Los criterios de calidad del agua recreativa se usan para evaluar la inocuidad del agua para la natación y otras actividades acuáticas. La inquietud primaria es proteger la salud humana al prevenir la contaminación del agua con material fecal o microorganismos que podrían causar infecciones gastrointestinales y

afecciones al oído, ojo o piel. Por ello, generalmente los criterios se fijan para indicadores de contaminación fecal, tales como coliformes fecales y agentes patógenos. En los últimos años se ha realizado considerable investigación para desarrollar otros indicadores de contaminación microbiológica, incluidos los virus que podrían afectar a nadadores. Generalmente, los organismos de salud del gobierno establecen los criterios de calidad para el agua recreativa.

Por ejemplo, la *Directiva del Consejo de la UE del 8 de diciembre de 1975 en relación con la calidad de las aguas de baño* (76/160/EEC) estableció criterios de calidad que contenía valores normativos y valores admisibles máximos para parámetros microbiológicos (coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos, Salmonella, virus entéricos) junto con parámetros fisicoquímicos, tales como pH, aceites minerales y fenoles. Esta directiva también prescribe que los estados miembros deben establecer criterios de manera individual para los parámetros relacionados con la eutroficación, metales tóxicos y microcontaminantes orgánicos.

A menudo, el uso recreativo del agua no recibe la atención adecuada. Por ejemplo, en la región de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe de las Naciones Unidas (CEPAL), varias áreas turísticas tienen diversos grados de contaminación del agua, incluidos centros vacacionales populares, tales como la Bahía de Guanabara en Brasil, Viña del Mar en Chile y Cartagena en Colombia. Los olores fuertes, materia flotante (particularmente sólidos del desagüe) y otros contaminantes pueden crear condiciones repelentes estéticamente para los usos recreativos del agua y reducir el atractivo visual. La elevada contaminación bacteriológica y, en menor grado, otros tipos de contaminación hacen que las masas de agua no sean apropiadas para la recreación. Esto es de particular preocupación en aquellos países donde el turismo es una fuente importante de divisas y de empleo. En general, dentro de la región de la CEPAL no se da mucha importancia al agua de recreación y apenas se le considera en el proceso de manejo del agua a pesar de la información disponible que sugiere que la contaminación en áreas recreativas es un grave problema. Esto es de especial interés, ya que el uso recreativo del agua es muy popular en la Región y está concentrado en masas de agua cercanas a las grandes metrópolis. Muchas de éstas se contaminan cada vez más con aguas residuales y efluentes industriales (CEPAL, 1989).

### **2.3.6 Uso paisajístico**

En algunos países se han establecido criterios para la protección de las propiedades estéticas del agua (aspectos visuales). Estos criterios son descriptivos por naturaleza y pueden especificar, por ejemplo, que las aguas

deben estar libres de aceite flotante u otros líquidos inmiscibles, detrito flotante, turbiedad excesiva y olores desagradables. Los criterios no son cuantificables debido principalmente a la diferente percepción sensorial de los individuos y a la variabilidad de las condiciones locales.

### 2.3.7 Protección de la vida acuática

Dentro de los ecosistemas acuáticos existe una interacción compleja entre los ciclos físicos y químicos. El estrés antropogénico, en particular la introducción de productos químicos al agua, puede perjudicar a muchas especies de la fauna acuática que dependen de las condiciones abióticas y bióticas. Los criterios de calidad del agua para la protección de la vida acuática pueden tomar en cuenta solo los parámetros fisicoquímicos que tienden a definir una calidad que protege y mantiene la vida acuática, idealmente en todas sus formas y etapas de vida, o pueden considerar todo el ecosistema acuático.

Tradicionalmente, los parámetros de calidad del agua de interés son el oxígeno disuelto (ya que puede causar la muerte de peces a bajas concentraciones), así como fosfatos, amonio y nitrato (que pueden causar cambios significativos en la estructura comunitaria si se descargan en cantidades excesivas). Los metales pesados y los productos químicos sintéticos también pueden ser ingeridos y absorbidos por los microorganismos y si no se metabolizan o excretan, se pueden bioacumular en los tejidos de los organismos. Algunos contaminantes también pueden causar efectos carcinógenos e influir en la reproducción y en el desarrollo.

Cuando se elaboran criterios para la protección de la vida acuática, idealmente debe existir información completa sobre el destino de los productos químicos dentro de los organismos y sus relaciones de exposición-efecto. En Canadá, los criterios para la vida acuática se basan en la concentración más baja de una sustancia que afecta a los organismos estudiados (nivel de efecto observable más bajo). En Norteamérica, para la prueba se usan diferentes especies residentes de peces, invertebrados y plantas. Otros países usan un enfoque similar con algunas diferencias en los requisitos de los datos. En Alemania, por ejemplo, se realizan estudios de toxicidad en productores primarios (alga verde *Scenedesmus subspicatus*), consumidores primarios (*Daphnia magna*), consumidores secundarios (peces) y reductores (*Pseudomonas putida*). También se usa otra información (contaminación de peces), incluidas las propiedades organolépticas de la sustancia, su movilidad y distribución a través de diferentes medios ambientales y su comportamiento biodegradable (persistencia).

Más recientemente, con el enfoque del ecosistema para el manejo de agua, se han hecho esfuerzos para establecer criterios que indiquen las condiciones de los ecosistemas acuáticos saludables. Además de los criterios tradicionales, los nuevos criterios tratan de describir el estado de las especies residentes y la estructura o función de los ecosistemas en su totalidad. Al desarrollar estos criterios, se ha supuesto que deben de ser de naturaleza biológica. En algunos países, se está investigando el desarrollo de biocriterios que expresen criterios de calidad del agua cuantitativamente en términos de estructura y función de la comunidad acuática residente.

Los biocriterios se definen como medidas de "integridad biológica" que pueden ser usados para evaluar el impacto ecológico acumulativo de múltiples fuentes y agentes de estrés. En el Reino Unido, los criterios de calidad para la protección de los ecosistemas acuáticos se basan en el índice de calidad ecológica. En otros países se han hecho esfuerzos considerables para identificar las especies claves que pueden servir como indicadores útiles de la integridad funcional de los ecosistemas acuáticos. La investigación en curso sugiere que esos criterios e indicadores deben incluir especies sensibles de corta vida e información sobre los cambios en la estructura comunitaria que resultan de la eliminación de los predadores claves.

Entre otras características, los organismos candidatos para servir como indicadores de la calidad del ecosistema deben (CEPE, 1993):

- Tener una amplia distribución en el ecosistema.
- Recolectarse y medirse fácilmente en términos de biomasa.
- Ser nativos y mantenerse mediante la reproducción natural.
- Interactuar directamente con muchos componentes de su ecosistema.
- Tener información retrospectiva, de preferencia cuantificada, sobre su abundancia y otros factores críticos relevantes sobre el estado del organismo.
- Exhibir una respuesta gradual a una variedad de estrés inducido por los seres humanos.
- Servir como una herramienta de diagnóstico para diferentes tipos de estrés específicos.
- Responder al estrés de manera que pueda identificarse y cuantificarse.
- Ser especies apropiadas para investigaciones en laboratorios.
- Servir para indicar aspectos de la calidad del ecosistema a diferencia de las variables actualmente aceptadas.

Los biomarcadores son cada vez más útiles para identificar el impacto del deterioro de la calidad del agua en una etapa temprana. Un biomarcador es una variación en la estructura de las células o en un proceso o función bioquímica inducida por un contaminante y que puede ser medida, por ejemplo, por cambios



en la actividad enzimática. Idealmente, un biomarcador debe responder a un contaminante con un cambio cuantitativo en la dosis-respuesta sensible a las concentraciones encontradas en el ambiente y que pertenece a una clase o clases específicas de contaminantes. Por ello, para metales tóxicos, la inhibición del ácido delta-aminolevulínico deshidratado señala un problema potencial y es un indicador definitivo de contaminación por metales. También es un indicador que predice efectos adversos a largo plazo.

### **2.3.8 Pesca comercial y recreativa**

Los criterios de calidad del agua para la pesca comercial y recreativa consideran particularmente la bioacumulación de los contaminantes a través de niveles sucesivos de la cadena alimentaria y su posible biomagnificación en niveles tróficos más elevados que pueden tornar al pescado inapropiado para el consumo humano. La concentración debe ser tal que la bioacumulación y biomagnificación de cualquier sustancia no exceda los criterios para el consumo de pescado a fin de que no resulte dañino al consumidor humano. Por ejemplo, la European Inland Fisheries Advisory Commission de la FAO (EIFAC) ha investigado estos aspectos y ha publicado pautas relevantes (Alabaster and Lloyd, 1982).

### **2.3.9 Partículas suspendidas y sedimentos**

En algunos países, el desarrollo de criterios para partículas suspendidas y sedimentos están destinados a alcanzar cierta calidad del agua para que cualquier sedimento dragado de la masa de agua pueda ser aplicado en el terreno como mejorador del suelo. Otra meta de estos criterios de calidad es proteger a los organismos que viven en el sedimento y la cadena alimentaria relacionada. Se ha demostrado que los contaminantes persistentes en los sedimentos se acumulan y biomagnifican a través de la cadena alimentaria acuática, lo cual conlleva a concentraciones inaceptables en peces y aves que se alimentan de peces.

El desarrollo de criterios para sedimentos aún no ha alcanzado una etapa avanzada y existen pocos disponibles. Bajo los auspicios de la Comisión Internacional para la Protección del Rin contra la Contaminación, por ejemplo, los criterios relacionados con metales en materia suspendida se han convertido en objetivos de la calidad del agua (cuadro 2.5). Actualmente, los objetivos de la calidad del agua se basan principalmente en valores límites que se aplican al lodo de aguas residuales en áreas agrícolas y consideran, si estuviese disponible, la información relacionada con los impactos adversos de esos lodos sobre los organismos del suelo. En una etapa posterior se revisarán los objetivos de la

**Cuadro 2.5** Objetivos de la calidad del agua del río Rin en relación con los metales en partículas suspendidas

Variable de calidad del agua	Objetivo de calidad (mg kg <sup>-1</sup> )
Cadmio	1,0
Cinc	50,0
Cobre	50,0
Cromo	100,0
Plomo	100,0
Mercurio	0,5
Níquel	50,0

Fuente: ICPR, 1991

calidad a fin de proteger a los organismos que viven en los sedimentos, así como para proteger el ecosistema marino (cuando el sedimento dragado se dispone en el mar).

Recientes experiencias en Alemania y Países Bajos sugieren que existe un mayor número de sustancias que las anteriormente consideradas, lo que representa una amenaza potencial para la vida acuática y terrestre. Por ello, los criterios actuales de calidad del agua para sedimentos están en revisión.

#### 2.4 Objetivos de la calidad del agua

Una ventaja importante del enfoque de los objetivos de la calidad del agua para el manejo de recursos hídricos es que se centra en la solución de conflictos planteados por las diversas demandas de los recursos hídricos, particularmente en relación con su habilidad para asimilar la contaminación. El enfoque de los objetivos de la calidad del agua es sensible no solo a los efectos de una descarga individual, sino a los efectos combinados de una amplia variedad de descargas en una masa de agua. Permite fijar un límite global para los niveles de contaminantes dentro de una masa de agua de acuerdo con su uso.

La ventaja del enfoque de emisión fija (capítulo 5) es que trata a la industria de manera equitativa y requiere el uso de la mejor tecnología disponible para tratar sustancias peligrosas, así como contaminantes convencionales del agua donde quiera que se ubique la industria. Esto se ve como una gran ventaja para las áreas de captación transfronteriza donde se exige que todos los países ribereños cumplan con los mismos estándares y que ningún país tenga una ventaja comercial no equitativa.

**Recuadro 2.2** Ejemplos de objetivos de la calidad del agua**Canadá y Estados Unidos de América**

Los objetivos de la calidad del agua para aguas superficiales también pueden considerar los requisitos de lagos y reservorios aguas abajo. Por ejemplo, los objetivos de la calidad del agua para concentraciones de nutrientes en los tributarios de los Grandes Lagos consideran los requisitos de calidad de esas aguas, así como el sistema del lago. De manera similar, los requisitos para la protección del ambiente marino, en particular, de los mares circundados relativamente pequeños, necesitan ser considerados cuando se establecen objetivos de la calidad para aguas superficiales (así se ha hecho, por ejemplo, al establecer los objetivos de la calidad del agua para los ríos canadienses que desembocan en el mar).

**Alemania**

Un comité especial de Alemania ha formulado una metodología para establecer objetivos de la calidad del agua para comunidades acuáticas, pesquería, partículas suspendidas, sedimentos, abastecimiento de agua potable, riego y recreación (véase la sección 2.3.1). Más adelante, este comité ampliará esta metodología, por ejemplo, para comparar los valores numéricos establecidos con los resultados del monitoreo de 18 sustancias tóxicas y carcinógenas en aguas superficiales. Una vez estipulados los objetivos de la calidad del agua, éstos serán usados por las autoridades regionales como una base para planificar los recursos hídricos. Sin embargo, estos objetivos de la calidad del agua no serán considerados como obligatorios en general, sino que las autoridades regionales deberán decidir, caso por caso, qué usos del agua deben aplicarse. Los valores límites obligatorios solo serán establecidos por autoridades competentes en la medida que se implementen los planes de manejo del agua. Las autoridades decidirán sobre los usos específicos del agua que deben protegerse y sobre los objetivos relevantes de la calidad del agua que deben usarse considerando los usos del agua permitidos.

Fuentes: McGirr y otros, 1991; UNECE, 1993.

Generalmente se reconoce que los objetivos de la calidad del agua, el establecimiento de límites de emisión sobre la base de la mejor tecnología disponible y el uso de la mejor práctica ambiental deben formar parte de un enfoque integral de prevención, control y reducción de la contaminación de aguas superficiales interiores. En la mayoría de los casos, los objetivos de la calidad del agua sirven como un medio para evaluar las medidas de reducción de la contaminación. Por ejemplo, si se fijan límites de emisión para una masa de agua determinada sobre la base de la mejor tecnología disponible, las comunidades acuáticas pueden experimentar efectos tóxicos bajo ciertas condiciones. Además, otros usos sensibles del agua, tales como la provisión de agua potable, pueden verse afectados negativamente. Por ello, los objetivos de la calidad del agua pueden ayudar a evaluar si se requieren esfuerzos adicionales cuando la protección de los recursos hídricos se basa en límites de emisión para fuentes puntuales de acuerdo con la mejor tecnología disponible o la mejor práctica ambiental para fuentes no puntuales.

La experiencia lograda por algunos países indica que la planificación de la captación juega un papel importante en el establecimiento de objetivos de la calidad del agua (véase el cuadro 2.2). La planificación brinda un contexto en el que las exigencias de todos los usuarios del agua pueden alcanzar un balance con los requisitos de la calidad del agua. También representa un mecanismo para evaluar y controlar la carga global de contaminantes dentro del área total de captación en el río y, en último término, en el mar, sin considerar los usos de esa agua. La necesidad de «responsabilizarse por la captación» se vuelve cada vez más importante porque asegura que los requisitos nacionales e internacionales para reducir las cargas de contaminantes se planifiquen apropiadamente.

La elaboración de los objetivos de la calidad del agua y la selección de la estrategia final para lograrlos, necesariamente implica analizar los aspectos técnicos, financieros y otros, asociados con las mejoras deseadas en la calidad del agua. Los medios técnicos disponibles para reducir la carga de contaminantes en las aguas tienen una influencia directa en la elaboración de los objetivos de la calidad del agua, pues identifican la factibilidad técnica de alcanzar valores umbrales establecidos en los objetivos. Los factores económicos también son considerados, ya que alcanzar ciertos objetivos puede requerir recursos financieros considerables y también pueden tener un impacto en la inversión, empleo e, inevitablemente, en los precios que pagan los consumidores.

El establecimiento de una fecha límite para lograr los objetivos de la calidad del agua está principalmente influenciada por la calidad del agua existente, la urgencia de las medidas de control y las condiciones económicas y sociales imperantes. En algunos países, se aplica un enfoque por etapas para establecer los objetivos de la calidad del agua.

Probablemente, esta introducción gradual es también el mejor enfoque para los países en desarrollo. Por ejemplo, a fin de establecer una línea base para las medidas de control de la contaminación del agua, se debe dar prioridad al establecimiento de objetivos para variables relacionadas con el régimen del oxígeno y nutrientes (oxígeno disuelto, DBO,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ) ya que muchos ríos en el mundo están contaminados con materia orgánica (Meybeck y otros, 1989). La experiencia también sugiere que establecer objetivos de la calidad del agua inicialmente solo para un número limitado de variables puede centrar la atención en atributos claves y mejorar la calidad de manera eficiente en función de los costos. Es importante que los objetivos sean comprendidos por todas las partes involucradas en el control de la contaminación y que puedan convertirse en medidas operativas y eficiente en función de los costos para reducir la contaminación. También debe ser posible monitorear, a través de redes y equipo

existente, el cumplimiento de esos objetivos. Debe evitarse objetivos vagos o muy sofisticados y debe fijarse fechas límite realistas.

Frecuentemente, los objetivos para mejorar la calidad del agua se establecen en dos niveles. El primero representa la meta última donde no ocurriría ningún efecto adverso sobre los usos del agua por seres humanos y donde se mantendrían y protegerían las funciones de los ecosistemas acuáticos. Este nivel corresponde, en la mayoría de los países, al criterio más estricto de calidad entre todos los usos del agua considerados, con algunas modificaciones de acuerdo con las condiciones propias del lugar. También se debe definir un segundo nivel a ser alcanzado en un período establecido y que debe ser un balance entre lo deseable desde un punto de vista ambiental y lo factible desde un punto de vista técnico y económico. Este segundo nivel permite un enfoque por pasos que finalmente conduce al primer nivel. Adicionalmente, algunos países recomiendan un enfoque por fases que se inicia con los ríos y captación de las aguas sensibles y se extiende progresivamente a otras masas de agua durante una segunda fase.

En muchos países, los objetivos de la calidad del agua están sujetos a revisiones regulares a fin de ajustarlos, entre otras cosas, al potencial de reducción de la contaminación que ofrecen las nuevas tecnologías, al avance científico sobre criterios de calidad del agua y a los cambios en el uso del agua.

Los enfoques actuales para elaborar y establecer objetivos de la calidad del agua difieren entre los países. Estos enfoques pueden agruparse como sigue:

- Establecimiento de objetivos de la calidad del agua para masas de agua individuales (incluidas aguas transfronterizas) u objetivos generales de la calidad del agua aplicables a todas las aguas dentro de un país.
- Establecimiento de objetivos de la calidad del agua basados en esquemas de clasificación de la calidad del agua.

El primer enfoque considera las características propias de una determinada masa de agua y su aplicación requiere la identificación de todos los usos actuales y potenciales del agua. Los usos designados de las aguas o "bienes" que deben ser protegidos incluyen: extracción directa para el abastecimiento de agua potable, extracción a una represa antes del abastecimiento de agua potable, riego de cultivos, agua para ganado, recreación, paisaje, peces y otros organismos acuáticos.

Al adoptar los objetivos de la calidad del agua para una masa de agua determinada, se consideran las condiciones físicas, químicas, hidrológicas y biológicas propias del lugar. Estas condiciones pueden estar relacionadas con la composición química general (dureza, pH, oxígeno disuelto), características físicas (turbiedad, temperatura, régimen de mezcla), especies acuáticas,

estructura biológica de la comunidad y concentraciones naturales de ciertas sustancias (metales o nutrientes). Estos factores propios del lugar pueden afectar la exposición de los organismos acuáticos a algunas sustancias o el uso del agua para consumo humano, para ganado, riego y recreación.

En algunos países se fijan objetivos generales de la calidad del agua para todas las aguas superficiales del país sin considerar las condiciones locales. Pueden representar un balance entre los requisitos de calidad del agua planteados por los usos individuales del agua y los medios económicos, tecnológicos y otros disponibles para cumplir estos requisitos en el nivel nacional. Otro enfoque es seleccionar criterios de calidad del agua establecidos para los usos más sensibles (consumo humano o vida acuática) como objetivos generales de la calidad del agua.

#### **2.4.1 Esquemas de clasificación de la calidad del agua**

Muchos países de las regiones de la CEPE y CESPAP han establecido objetivos de la calidad del agua para aguas superficiales basados en esquemas de clasificación (véase el cuadro 2.3). Algunos de estos países requieren, como una meta política, alcanzar las clases I y II de calidad del agua (es decir, excelente o buena, dentro de un sistema de cuatro a cinco calidades del agua) durante un período determinado. En el Reino Unido, este enfoque ha conllevado a objetivos estatutarios de calidad del agua para Inglaterra y Gales bajo la Ley del Agua de 1989 (NRA, 1991). Generalmente, antes de establecer objetivos de la calidad del agua basados en sistemas de clasificación, se deben realizar encuestas integrales sobre la calidad del agua.

Recientemente, la CEPE adoptó una *Clasificación estadística estándar de calidad del agua fresca superficial para el mantenimiento de la vida acuática* (CEPE, 1994). Los límites de la clase se derivan principalmente de consideraciones ecotoxicológicas y se basan en investigaciones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Como regla general, la orientación del sistema de clasificación hacia la vida acuática implica que los límites de la clase sean más conservadores de lo que serían si estuviesen orientados hacia otros usos del agua. Además de las variables que caracterizan el régimen de oxígeno, la eutroficación y la acidificación de las aguas, el sistema incluye sustancias peligrosas tales como aluminio, arsénico, metales pesados, dieldrín, diclorodifeniltricloroetano (DDT) y sus metabolitos, endrín, heptacloro, lindano, pentaclorofenol, bifenilos policlorados (BPC) y amoníaco libre. También incluye una alta actividad a y b. La concentración de sustancias peligrosas en las clases I y II debe estar por debajo de los límites actuales de detección. En la clase III, su presencia puede ser detectada pero las

concentraciones deben estar por debajo de los valores crónicos y agudos. Para la clase IV, las concentraciones pueden exceder ocasionalmente los valores pero no deben crear condiciones crónicas tóxicas, ya sea con respecto a la concentración, duración o frecuencia (cuadro 2.6).

El sistema se aplica a una serie de aguas internas y transfronterizas dentro de la región europea y se espera que constituya la base para establecer objetivos de la calidad del agua en los límites de aguas transfronterizas bajo la *Convención sobre la Protección y Uso de Aguas Superficiales y Lagos Internacionales* (CEPE, 1992). Se espera que el sistema se complemente con objetivos de la calidad para sustancias peligrosas específicas, así como por un sistema de objetivos de la calidad del agua basado en aspectos biológicos.

#### **2.4.2 Aguas transfronterizas**

Hasta la fecha, solo existen pocos casos de aguas transfronterizas para las cuales se hayan establecido objetivos de la calidad del agua. Los ejemplos incluyen los Grandes Lagos y algunos ríos transfronterizos en Norte América (St. Croix, St. John, St. Lawrence, río Poplar, río Rainy, Red River del Norte) y el río Rin en Europa (cuadros 2.5 y 2.7 y recuadro 2.4). Después de las disposiciones de la *Convención sobre la Protección y Uso de Aguas Superficiales Transfronterizas y Lagos Internacionales* (CEPE, 1992) se han desarrollado objetivos de la calidad del agua para otras aguas superficiales transfronterizas de Europa, incluidos los ríos Danubio, Elba y Oder y sus tributarios. En la región de la CESPAP, los países cercanos al río Mekong han desarrollado en conjunto objetivos de la calidad del agua para el río principal y otras aguas superficiales en el área de captación.

#### **2.4.3 El enfoque del ecosistema**

La aplicación del enfoque del ecosistema en el manejo del agua ha conllevado al desarrollo de objetivos para salvaguardar la integridad funcional de los ecosistemas acuáticos. La integridad funcional se caracteriza por una serie de factores físicos, químicos, hidrológicos y biológicos, y su interacción.

Los objetivos del ecosistema tratan de describir una condición deseada para un ecosistema determinado mediante un conjunto de variables que consideran las características y usos ecológicos del agua. Los objetivos del ecosistema pueden especificar el nivel o condición de ciertas propiedades biológicas que pueden servir como indicadores de la condición general o "salud" del ecosistema acuático. Los objetivos del ecosistema se usan junto con objetivos de la calidad del agua y objetivos relacionados con las condiciones hidrológicas.

**Recuadro 2.3** Ejemplos de esquemas de clasificación de la calidad del agua**India**

En la India, se han designado cinco clases de calidad del agua (A-E) basadas en los requisitos particulares de uso:

Aguas de *clase A* para ser usadas como fuente de agua potable sin tratamiento convencional pero después de la desinfección.

Aguas de *clase B* para el baño ritual organizado.

Aguas de *clase C* para ser usadas como fuente de agua potable con tratamiento convencional seguida de la desinfección.

Aguas de *clase D* para mantener la vida acuática (propagación de la fauna silvestre y peces).

Aguas de *clase E* para riego, enfriamiento industrial y disposición controlada de residuos.

Las cinco clases se han usado para establecer objetivos de la calidad del agua en tramos de los ríos Yamuna y Ganges, habiéndose realizado estudios para comparar la clasificación real de la calidad del río con la requerida para mantener el mejor uso designado. Cuando un río tiene múltiples usos, los objetivos de la calidad se fijan teniendo como punto de partida el uso más estricto (el mejor). Después de comparar la calidad del agua ambiental con el objetivo de la calidad del agua designado, cualquier deficiencia requerirá medidas apropiadas de control sobre las descargas, incluidas las descargas aguas arriba. Este sistema también es útil para la planificación y ubicación de la industria. No se permite que ninguna industria descargue efluentes en los tramos de los ríos clasificados en la Clase A.

En 1984 se formuló un plan de acción de control de la contaminación para el Ganges y en 1985 se estableció el Directorio del Proyecto del Ganges bajo la Autoridad Central del Ganges. Esta Dirección supervisa el control y reducción de la contaminación (CESPAP, 1990). El siguiente cuadro muestra las mejoras que se lograron en la clasificación de la calidad del agua en 1987. Recientemente, también se realizó la clasificación y zonificación de otros 12 ríos principales.

Comparación entre los objetivos de la calidad del agua para el Ganges y los resultados de la clasificación de 1982 y 1987

Zona	Longitud del río	Objetivo de la calidad del agua por clase	Resultados de la clasificación de la calidad del agua		Características críticas de calidad del agua
			1982	1987	
Fuente de Rishikesh	250	A	B	B	Coliforme total
Rishikesh a Kannauj	420	B	C	B	Coliforme total, DBO
Kannauj a Trighat	730	B	D	B	Coliforme total, DBO
Trighat a Kalyani	950	B	C	B	Coliforme total
Kalyani al puerto Diamond	100	B	D	B	Coliforme total

**Tailandia**

En Tailandia, la legislación para el control y manejo de la calidad del agua incluye leyes, actas, reglamentos y notificaciones ministeriales generados por diversos organismos, dependiendo del área de responsabilidad. Los objetivos de establecer requisitos de calidad del agua en Tailandia son: controlar y mantener la calidad del agua de acuerdo con las actividades de los interesados, proteger la salud pública y conservar los recursos naturales y el ambiente natural.



El Ministerio de Agricultura y Cooperativas, por ejemplo, estableció reglamentos en relación con la calidad del agua para el riego, vida silvestre y pesca. La Oficina de la Junta Nacional del Ambiente, ONEB, es responsable de definir los requisitos de calidad para aguas frescas, efluentes domésticos y descargas agrícolas puntuales (granjas de cerdos y acuicultura). Estos estándares se basan en conjuntos de criterios de calidad del agua. Por ejemplo, a fin de proteger la pesca comercial, la ONEB ha establecido las siguientes concentraciones permisibles de plaguicidas en organismos acuáticos: 5,0 mg kg<sup>-1</sup> para el DDT; 0,5 mg kg<sup>-1</sup> para el endrín; 0,5 mg kg<sup>-1</sup> para el lindano; 0,3 mg kg<sup>-1</sup> para el heptacloro; y 0,2 mg kg<sup>-1</sup> para el paratión (CESPAP, 1990).

El sistema de clasificación y estándares de las aguas superficiales en Tailandia se basa en la idea de que las concentraciones de los parámetros de calidad del agua de la clase I deben corresponder a las concentraciones naturales. También se consideran las variables que caracterizan los regímenes de oxígeno y nutrientes, y la presencia de bacterias coliformes, fenoles, metales pesados, plaguicidas y la radiactividad.

Fuentes: CESPAP, 1990; Venugopal, 1994

#### **Reino Unido**

Mediante el Acta de Recursos Hídricos de 1991, el Gobierno del Reino Unido prescribió un sistema para clasificar la calidad de las aguas controladas de acuerdo con requisitos específicos. Estos requisitos (para cualquier clasificación) incluyen uno o más de los siguientes:

- Requisitos generales a los cuales se aplica la clasificación.
- Requisitos específicos con respecto a las sustancias presentes o ausentes en el agua y con respecto a las concentraciones de sustancias que están o se requiere que estén presentes en el agua.
- Requisitos específicos en relación con otras características de esas aguas.

Los reglamentos futuros describirán si esos requisitos deben ser satisfechos con referencia a procedimientos específicos de muestreo. Luego, con el propósito de mantener o mejorar la calidad de las aguas controladas, el Gobierno puede, mediante notificación a la National Rivers Authority (NRA), establecer con referencia a una o más de las clasificaciones ya descritas, los objetivos de la calidad del agua para cualquier agua y la fecha en que deben ser aplicados.

El propósito del nuevo sistema es brindar un marco más estable para decidir la política que autorizará las descargas en cada tramo de las aguas controladas y los medios mediante los cuales se puede manejar la contaminación de fuentes dispersas. El sistema debe extenderse a las aguas costeras, lagos y aguas subterráneas y servir como base para mejorar la calidad de las aguas contaminadas.

Los reglamentos (clasificación) de las aguas superficiales de 1994 introdujeron un componente para hacer que los objetivos de la calidad del agua sean obligatorios. La NRA ha establecido objetivos todos los ríos y éstos se conocen como objetivos de la calidad del río (OCR) y establecen un nivel definido de protección para la vida acuática. Se usan para planificar el mantenimiento y mejora de la calidad del río, proveer una base para autorizar la descarga de efluentes en los ríos y orientar a la NRA en el control y prevención de la contaminación. Si se cumplen con los OCR requeridos se podrá mantener el uso de los ríos para la recreación, pesca y vida silvestre, y se protegerá el interés de quienes usan los ríos. El esquema de clasificación de la calidad del agua usado para fijar objetivos de planificación de los OCR se conoce como el esquema del ecosistema del río y provee una base consistente para establecer OCR en el nivel nacional. El esquema incluye cinco clases que reflejan los requisitos de la calidad química de las comunidades de plantas y animales de los ríos. Los estándares que definen estas clases reflejan diferentes grados de contaminación por materia orgánica y otros contaminantes comunes.

Fuentes: NRA, 1991; CEPE, 1993.

**Cuadro 2.6** Clasificación estadística estándar de la CEE para la calidad de las aguas frescas a fin de mantener la vida acuática

Variables	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
<i>Régimen de oxígeno</i>					
OD (%)					
Epilimnion (aguas estratificadas)	90-110	70-90 ó 110-120	50-70 ó 120-130	30-50 ó 130-150	<30 ó >150
Hipolimnion (aguas estratificadas)	90-70	70-50	50-30	30-10	<10
aguas no estratificadas	90-70	70-50 ó 110-120	50-30 ó 120-130	30-10 ó 130-150	<10 ó >150
OD (mg l <sup>-1</sup> )	> 7	7-6	6-4	4-3	<3
DQO-Mn (mg O <sub>2</sub> l <sup>-1</sup> )	< 3	3-10	10-20	20-30	>30
DQO-Cr (mg O <sub>2</sub> l <sup>-1</sup> )	-	-	-	-	-
<i>Eutroficación</i>					
P total (µg l <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	< 10 (< 15)	10-25 (15-40)	25-50 (40-75)	50-125 (75-190)	>125 (>190)
N total (µg l <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	< 300	300-750	750-1.500	1.500-2.500	>2.500
Clorofila a (µg l <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	< 2,5 (< 4)	2,5-10 (4-15)	10-30 (15-45)	30-110 (45-165)	>110 (>165)
<i>Acidificación</i>					
Ph <sup>2</sup>	9,0-6,5	6,5-6,3	6,3-6,0	6,0-5,3	<5,3
Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> l <sup>-1</sup> )	>200	200-100	100-20	20-10	<10
<i>Metales</i>					
Aluminio (µg l <sup>-1</sup> , pH 6,5)	<1,6	1,6-3,2	3,2-5	5-75	>75
Arsénico (µg l <sup>-1</sup> ) <sup>3</sup>	<10	10-100	100-190	190-360	>360
Cadmio (µg l <sup>-1</sup> ) <sup>4</sup>	<0,07	0,07-0,53	0,53-1,1	1,1-3,9	>3,9
Cromo (µg l <sup>-1</sup> ) <sup>3</sup>	<1	1-6	6-11	11-16	>16

Continuación

**Cuadro 2.6** Continuación

Variable	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
<i>Metales</i>					
Cobre ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) <sup>4</sup>	< 2	2-7	7-12	12-18	> 18
Plomo ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) <sup>4</sup>	< 0,1	0,1-1,6	1,6-3,2	3,2-82	> 82
Mercurio ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) <sup>4</sup>	< 0,003	0,003-0,007	0,007-0,012	0,012-2,4	> 2,4
Níquel ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) <sup>4</sup>	< 15	15-87	87-160	160-1.400	> 1.400
Cinc ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) <sup>4</sup>	< 45	45-77	77-110	110-120	> 120
<i>Microcontaminantes clorados y otras sustancias peligrosas</i>					
Dieldrín ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	na	na	< 0,0019	0,0019-2,5	> 2,5
DDT y metabolitos ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	na	na	< 0,001	0,001-1,1	> 1,1
Endrín ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	na	na	< 0,0023	0,0023-0,18	> 0,18
Heptacloro ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	na	na	< 0,0038	0,0038-0,52	> 0,52
Lindano ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	na	na	< 0,08	0,08-2,0	> 2,0
Pentaclorofenol ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	na	na	< 13	13-20	> 20
BPC ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	na	na	< 0,014	0,014-2,0	> 2,0
Amoniaco libre ( $\text{NH}_3$ )	na	na	-	-	-
<i>Radiactividad</i>					
Actividad alfa ( $\text{mBq l}^{-1}$ )	< 50	50-100	100-500	500-2.500	> 2.500
Actividad beta ( $\text{mBq l}^{-1}$ )	< 200	200-500	500-1.000	1.000-2.500	> 2.500

Las medidas que se encuentran en el límite entre dos clases deben clasificarse dentro de la más baja.

na No aplicable

- No se han establecido valores

<sup>1</sup> Los datos entre paréntesis se refieren a las aguas que fluyen

<sup>2</sup> Los valores >9,0 no se consideran en la clasificación de la acidificación

<sup>3</sup> Aplicable a la dureza de cerca de 0,5 a 8 meq l<sup>-1</sup>. El arsénico V y el cromo III deben

convertirse a arsénico III y cromo VI, respectivamente.

<sup>4</sup> Aplicable a la dureza de cerca de 0,5 a 8 meq l<sup>-1</sup>.

Fuente: CEPE, 1994.

**Cuadro 2.7** Objetivos de la calidad del agua para el río Rin relacionados con sustancias orgánicas

Variable de la calidad del agua	Objetivo de la calidad del agua ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	Base para la elaboración <sup>1</sup>
Tetraclorometano	1,0	Ab+Va
Triclorometano	0,6	Va
Aldrín, dieldrín, endrín, isodrín	0,0001 (por sustancia)	Va+Vt
Endosulfán	0,003	Va
Hexaclorobenceno	0,0005	Va
Hexaclorobutadieno	0,001	Va
BPC 28, 52, 101, 180, 138, 153	0,001 (por sustancia)	Va
1-Cloro-4-nitro-benceno	1,0	Ab
1-Cloro-2-nitro-benceno	1,0	Ab+Va
Triclorobenceno	0,1	Va
Pentaclorofenol	0,001	Va+Vt
Tricloroetano	1,0	Ab
Tetracloroetano	1,0	Ab
3,4-Dicloroanilina	0,1	Va
2-Cloroanilina	0,1	Ab+Va
3-Cloroanilina	0,1	Ab
4-Cloroanilina	0,01	Va
Paratión (-etil)	0,0002	Va
Paratión (-metil)	0,01	Va
Benceno	0,1	Va
1,1,1-Tricloroetano	1,0	Ab
1,2-Dicloroetano	1,0	Va
Metil-azinfos	0,001	Va
Bentazona	0,1	Ab
Simazina	0,1	Ab+Va
Atrazina	0,1	Ab+Va
Diclorvos	0,001	Va
2-Clorotolueno	1,0	Ab
4-Clorotolueno	1,0	Ab
Sustancias del tributil estaño	0,001	Va
Sustancias del trifenil estaño	0,001	Va
Trifluralín	0,1	Va
Fentión	0,01	Va

<sup>1</sup> Los objetivos de la calidad del agua se establecieron basados en criterios de calidad para el agua de bebida (Ab), agua de bebida y vida acuática (Ab+Va) y/o vida acuática (Va), así como en pruebas de

toxicidad para especies seleccionadas de vida acuática y terrestre (Va+Vt).

**Recuadro 2.4** Ejemplo de objetivos de la calidad del agua para ríos transfronterizos: el Rin

Los objetivos de la calidad del agua establecidos para el río Rin están basados en los cuatro elementos principales del Programa de Acción del Rin:

- Mejorar el ecosistema del río, de tal manera que retornen las especies sensibles que vivían en el río.
- Garantizar el río Rin para el abastecimiento de agua potable.
- Reducir la contaminación del agua por sustancias peligrosas, de tal manera que los sedimentos puedan aplicarse al terreno o puedan ser dispuestos en el mar sin causar daño.
- Proteger el mar del Norte de los efectos negativos del agua del Rin.

Actualmente, los objetivos de la calidad del agua del río Rin cubren 50 sustancias prioritarias, tales como metales pesados, microcontaminantes orgánicos, así como amoníaco y fósforo provenientes de las industrias, de fuentes domésticas y de la agricultura. La lista de estas sustancias tomó como base los inventarios de fuentes de descargas puntuales y no puntuales al río Rin. Los objetivos establecidos de la calidad del agua deben cumplirse en el año 2000.

Fuente: ICPR, 1994

Los objetivos del ecosistema se expresan por un conjunto de especies, conocidos como variables meta. Generalmente, las variables meta representan un corte transversal del ecosistema acuático y brinda una imagen representativa de las condiciones del ecosistema e incluyen, por ejemplo:

- especies de todos los tipos de hábitats acuáticos;
- especies del bentos, columna de agua, superficie del agua y orillas;
- especies de las partes altas y bajas de la cadena alimentaria;
- plantas y animales;
- sesiles, especies migratorias y no migratorias.

Para asegurar la integridad funcional del lago Ontario, por ejemplo, se desarrollaron objetivos específicos del ecosistema que permiten que las aguas del lago mantengan diversas comunidades saludables, reproductoras y sostenibles en un equilibrio dinámico. En este proceso también se consideraron aspectos de salud humana, ya que el lago se usa como fuente de agua potable y recreación, así como para el consumo humano seguro de peces y animales silvestres.

Para determinar la integridad funcional del ecosistema se requiere un conjunto de indicadores cuantitativos y de medición. Se realizaron amplios estudios para seleccionar indicadores biológicos apropiados que complementarían las mediciones físicas y químicas convencionales de la calidad del agua. El Comité de Objetivos del Ecosistema Acuático, establecido dentro del marco del Acuerdo de 1978 para la Calidad del Agua de los Lagos, elaboró criterios integrales para juzgar la conveniencia de los organismos candidatos que sirven como indicadores de la calidad del ecosistema.

Basado en estos criterios, varios organismos fueron considerados apropiados para los Grandes Lagos. Para los sistemas oligotrópicos del Lago Superior, se seleccionó la trucha del lago *Salvelinus namaycush* (el depredador acuático más grande) y el anfípodo *Pontoporeia hoyi* (el principal macroinvertebrado béntico de agua fría). Para sistemas mesotrópicos, recientemente se eligió el *Stizostedion vitreum*, que tiene características comunes con la trucha del lago, junto con el *Hexagenia limbata* considerado representativo de comunidades bénticas debido a sus requisitos de sedimentos limpios y bien oxigenados. Se están realizando trabajos para seleccionar especies de mamíferos, aves y reptiles.

La ausencia o presencia del salmón del Atlántico se usa como un indicador de la integridad funcional del ecosistema fluvial del Rin y de la calidad de su agua. También se está observando otras especies de indicadores y grupos de especies. En los Países Bajos se desarrolló un método de evaluación ecológica y biológica conocido como AMOEBA, acrónimo holandés para "método general de descripción y evaluación del ecosistema" (ten Brink y otros, 1990). Como indicadores de los ecosistemas del Rin, por ejemplo, se han seleccionado 30 especies. Para cada especie, se calculó la abundancia durante el período 1900-1930 (una selección pragmática para representar una situación no afectada) y se comparó con la actual, demostrándose una desviación de la situación cuasinatural. Otros ecosistemas acuáticos también se han caracterizado por la elección de cerca de 30 especies que pueden considerarse representativas de su ecosistema específico.

#### **2.4.4 Implementación y cumplimiento del monitoreo**

Generalmente, para cumplir con los objetivos de la calidad del agua se aplica un enfoque de dos pasos. La urgencia de las medidas de control, por ejemplo, tiene relación directa con el cronograma de los objetivos de la calidad del agua para sustancias peligrosas específicas. Por ejemplo, la *Directiva 86/280/EEC del Consejo de la UE del 12 de junio de 1986 sobre valores límites y objetivos de la calidad para descargas de ciertas sustancias incluidas en la lista I del anexo de la directiva 76/464/EEC* estipuló la reducción inmediata y significativa

de las emisiones de tres sustancias orgánicas (tetracloruro de carbono, DDT y pentaclorofenol). El plazo para cumplir con los objetivos de la calidad del agua para estas sustancias fue de año y medio (hasta enero de 1988). En algunos países y para otras sustancias peligrosas, se fijó un período de 5 a 10 años para lograr los objetivos de la calidad del agua mediante la reducción sustancial de emisiones de fuentes puntuales. Algunos países, en particular, aquellos que participan en el Programa de Acción del Rin, han elegido el año 2000 como la fecha límite para lograr los objetivos de la calidad del agua. La reducción progresiva del uso de ciertas sustancias, la disminución de descargas de nutrientes y el cambio de prácticas agrícolas generalmente requiere un período más largo, por ello, el cumplimiento de los objetivos de la calidad del agua debe considerar este hecho.

Los objetivos de la calidad del agua pueden estar sujetos a revisiones y cambios a fin de considerar la capacidad de la nueva tecnología para reducir la contaminación, el conocimiento científico en los cuales se basan los criterios de calidad del agua y el cambio en el uso del agua. Sin embargo, la experiencia indica que no se debe pedir a los contaminadores que examinen frecuentemente sus prácticas basados en objetivos de la calidad del agua recién elaborados, o poco después de establecer prácticas diseñadas para cumplir con los objetivos anteriores. En el Reino Unido, por ejemplo, la Ley del Agua de 1991 permite la revisión de los objetivos de la calidad del agua, aunque ese examen solo se realiza a intervalos de por lo menos cinco años o si la NRA solicita dicha revisión después de consultar con los usuarios del agua y entidades relevantes.

La adaptación de los programas de monitoreo, sistemas de vigilancia y prácticas de laboratorio es necesaria para implementar los objetivos de la calidad del agua. En ese sentido, se deben considerar dos problemas: el límite de detección del equipo de laboratorio y el acuerdo sobre un criterio para cumplir con los objetivos de la calidad del agua. La experiencia en muchos países muestra que las técnicas de laboratorio deben tener un límite de detección que, de preferencia, tenga un orden de magnitud inferior al objetivo de la calidad del agua para determinada sustancia. En el caso de sustancias peligrosas, esto puede requerir equipo de laboratorio sofisticado, personal especialmente capacitado y altos costos para los análisis de laboratorio.

Los criterios de calidad del agua usados como base para elaborar los objetivos de la calidad del agua usualmente incorporan un margen de seguridad para que cierto número de datos del monitoreo pueda exceder el objetivo de la calidad del agua establecido y advertir cierto riesgo, sin requerir acción inmediata. En la mayoría de los casos, esta advertencia asegura que pueda tomarse acción antes de que ocurra un daño real. Para sustancias peligrosas,

algunos países consideran que se ha alcanzado el objetivo de la calidad del agua si al menos 90 por ciento de todas las mediciones (en un período de tres años) cumplen con el objetivo de la calidad del agua o si el valor medio de la concentración de la sustancia es menor o igual que la mitad del valor de la concentración del objetivo de la calidad del agua. Otro enfoque requiere el uso de la concentración media de la sustancia como criterio de evaluación. Este enfoque, por ejemplo, lo sigue la Directiva del Consejo 86/280/CEE. En algunos países, el valor medio para el fósforo se toma como un criterio para evaluar el cumplimiento del objetivo de la calidad del agua.

## 2.5 Conclusiones y recomendaciones

Muchas sustancias químicas emitidas por fuentes antropogénicas representan una amenaza para el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y para los diversos usos del agua. La necesidad de contar con medidas más estrictas para prevenir y controlar la descarga de estas sustancias en el ambiente acuático ha llevado a muchos países a desarrollar e implementar políticas y estrategias de manejo del agua basadas en criterios y objetivos de la calidad del agua, entre otros. A fin de proporcionar una orientación adicional para la elaboración de criterios y objetivos de la calidad del agua para aguas superficiales interiores y para fortalecer la cooperación internacional, se han propuesto las siguientes recomendaciones (UNECE, 1993):

- Debe aplicarse el principio preventivo al seleccionar parámetros de calidad del agua y al establecer criterios de calidad del agua para proteger y mantener los diferentes usos del agua.
- Al fijar los criterios de calidad del agua se debe prestar atención específica a la protección de las fuentes de abastecimiento de agua potable. Además, el objetivo debe ser proteger la integridad de los ecosistemas acuáticos e incorporar requisitos específicos para aguas sensibles y especialmente protegidas y su ambiente asociado, tales como áreas pantanosas y circundantes de las aguas superficiales que sirven como fuente de alimento y hábitat para diversas especies de flora y fauna.
- Las autoridades responsables de la gestión del agua, en consulta con las industrias, municipios, asociaciones de agricultores, público en general y otros, deben acordar los usos del agua en el área de captación que será protegida. Las categorías de uso, tales como abastecimiento de agua potable, riego, agua para la ganadería, pesca, actividades recreacionales, paisajísticas, mantener la vida acuática y proteger la integridad de los ecosistemas acuáticos, deben considerarse donde fuera aplicable.



- Se debe requerir que las autoridades responsables de la gestión del agua cuenten con el asesoramiento apropiado de las autoridades sanitarias para asegurar que los objetivos de la calidad del agua sean apropiados para proteger la salud humana.
- Al fijar los objetivos de la calidad del agua para determinada masa de agua se debe considerar sus requisitos de uso, así como los de aguas abajo. En las aguas transfronterizas, los objetivos de la calidad del agua deben considerar los requisitos de la calidad del agua en el área pertinente de captación. En la medida de lo posible, se debe considerar los requisitos de calidad para los usos del agua en toda el área de captación.
- Bajo ninguna circunstancia, el establecimiento de los objetivos de la calidad del agua (o modificación de factores propios del lugar) debe conllevar al deterioro de la calidad del agua existente.
- Los objetivos de la calidad del agua para múltiples usos deben establecerse en el nivel que contemple la protección del uso más sensible. Entre todos los usos identificados del agua, se debe adoptar el criterio más estricto como objetivo de la calidad del agua.
- Los objetivos de la calidad del agua deben ser considerados como la meta última o valor objetivo que indica un riesgo mínimo de efectos adversos sobre el uso del agua y sobre las funciones ecológicas de las aguas.
- El establecimiento de los objetivos de la calidad del agua debe estar acompañado de un cronograma de cumplimiento y debe considerar acciones técnicas económicamente factibles y legalmente ejecutables. Si fuese necesario, se debe adoptar un enfoque para lograr los objetivos de la calidad del agua y considerar la disponibilidad de medios financieros y técnicos para la prevención, control y reducción de la contaminación, así como la urgencia de las medidas de control.
- El establecimiento de límites de emisión sobre la base de la mejor tecnología disponible, el uso de las mejores prácticas ambientales y el establecimiento de objetivos de la calidad del agua como instrumentos integrales de prevención, control y reducción de la contaminación, deben aplicarse de manera que propicien la acción. Se deben diseñar planes de acción que cubran las fuentes puntuales y dispersas, que permitan un enfoque por etapas para controlar la contaminación del agua y que sean técnica y económicamente factibles.
- Los objetivos de la calidad del agua y el cronograma para su cumplimiento deben estar sujetos a revisión periódica para adaptarlos de acuerdo con los nuevos conocimientos científicos sobre criterios de calidad del agua, a los cambios en el uso del agua en el área de captación y a los logros en el control de la contaminación de fuentes puntuales y no puntuales.

- El público debe mantenerse informado sobre los objetivos de la calidad del agua establecidos y sobre las medidas tomadas para lograr estos objetivos.

## 2.6 Referencias

- Alabaster, J.S. y Lloyd, 1982 *Water Quality Criteria for Fresh Water Fish*. 2a. edición. Publicado a solicitud de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura por Butterworth, Londres, 361 pp.
- Brink, B.J.E. ten, Hosper, S.H. y Colijn F. 1990 *A Quantitative Method for Description and Assessment of Ecosystems: the AMOEBA Approach*. ECE Seminar on Ecosystems Approach to Water Management, Oslo, mayo de 1991. ENVWA/SEM.5/R.33, Comisión Económica para Europa, Naciones Unidas, Ginebra.
- CCREM 1997 *Canadian Water Quality Guidelines*. Preparado por el grupo de trabajo sobre Lineamientos de Calidad del Agua del Canadian Council of Resources and Environment Ministers, Ottawa.
- CEPAL 1989 *The Water Resources of Latin America and the Caribbean; Water Pollution*. LC/L.499, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Naciones Unidas, Santiago.
- CEPE 1992 *Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes*, Helsinki, 17 de marzo de 1992, Comisión Económica para Europa, Naciones Unidas, Nueva York y Ginebra
- CEPE 1993 *Protection of Water Resources and Aquatic Ecosystems*. Water Series No. 1. ECE/ENVWA/31. Comisión Económica para Europa, Naciones Unidas, Nueva York.
- CEPE 1994 *Standard Statistical Classification of Surface Freshwater Quality for the Maintenance of Aquatic Life*. En: *Reading in International Environment Statistics*, Comisión Económica para Europa, Naciones Unidas, Nueva York y Ginebra.
- CEPE 1995 *Protection and Sustainable Use of Waters: Recommendations to ECE Governments*. Water Series No. 2. ECE/CEP/10, Comisión Económica para Europa, Naciones Unidas, Nueva York y Ginebra.
- CESPAP 1990 *Water Quality Monitoring in the Asian and Pacific Region*. Water Resources Series No. 67, Comisión Económica y Social para Asia y el Pacífico, Naciones Unidas, Nueva York.
- Chiaudani, G. Y Premazzi, 1988 *Water Quality Criteria in Environmental Management*. Informe EUR 11638 EN, Comisión de las Comunidades Europeas, Luxemburgo.
- CNUMAD 1992 *Agenda 21, Chapter 18. Protection of the Quality and Supply of Freshwater Resources: Application of Integrated Approaches to the*

- Development, Management and Use of Water Resources*. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Río de Janeiro, 14 de junio de 1992.
- Dick, R.I. 1975 *Water Quality Criteria, Goals and Standards*. Second WHO Regional Seminar on Environmental Pollution: Water Pollution, Manila, WPR/W.POLL/3, Oficina Regional para el Pacífico Occidental, Manila.
- Enderlein, R.E. 1995 Protecting Europe's water resources: policy issues. *Wat. Sci. Tech.*, **31**(8), 1-8.
- Enderlein R.E. 1996 Protection and sustainable use of waters: agricultural policy requirements in Europe. *HRVAT.VODE*, **4**(15), 69-76.
- EPA 1976 *Quality Criteria for Water*. EPA-440/9-76-023, Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, Washington, D.C.
- EPA 1995 *Ambient Water Quality Criteria for Ammonia*. EPA-440/5-85-001, Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, Washington, D.C.
- EPA 1986 *Ambient Water Quality Criteria for Dissolved Oxygen*. EPA 440/5-86-003, Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, Washington, D.C.
- FAO 1985 *Water Quality for Agriculture*. Irrigation and Drainage Paper No. 29, Rev. 1. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- FEPA 1991 *Proposed National Water Quality Standards*. Organismo Federal para la Protección del Medio Ambiente, Nigeria.
- Hespanhol, I. 1994 WHO Guidelines and National Standards for Reuse and Water Quality. *Wat Res.* **28**(1), 119-124.
- ICPR 1991 *Konzept zur Ausfüllung des Punktes A.2 des APR über Zielvorgaben. Lenzbourg, den 2. Juli 1991 (Methodology to implement item A.2. of the Rhine Action Program related to water quality objectives, prepared at Lenzbourg on 2 July 1991)*. PLEN 3/91, International Commission for the Protection of the Rhine against pollution, Coblenza, Alemania.
- ICPR 1994 Contribución inédita de la secretaria de la International Commission for the Protection of the Rhine against Pollution, Coblenza (Alemania), para el proyecto de la CEPE sobre políticas y estrategias para proteger las aguas transfronterizas. Comisión Económica para Europa, Naciones Unidas, Ginebra.
- ICWE 1992 *The Dublin Statement and Report of the Conference, Development Issues for the 21<sup>st</sup> Century*. International Conference on Water and Environment, 26 al 31 de enero de 1992, Dublín, Irlanda.
- McGirr, D., Gottschalk, Ch. Y Lindholm, O. 1991 Contribuciones inéditas de los relatores designados por el Gobierno de Canadá, Alemania y Noruega

- para el proyecto de la CEPE sobre criterios y objetivos de la calidad del agua. Comisión Económica para Europa, Ginebra.
- Meybeck, M., Chapman, D. Y Helmer, R. 1989 *Global Freshwater Quality. A First Assessment*. Publicado para la OMS y PNUMA por Blackwell Reference, Oxford, 306 pp.
- Naciones Unidas, 1994 *Consolidated List of Products Whose Consumption and/or Sale Have Been Banned, Withdrawn, Severely Restricted or Not Approved by Governments*. Fifth issue, ST/ESA/239, Naciones Unidas, Nueva York.
- NRA 1991 *Proposals for Statutory Water Quality Objectives*. Informe de la National Rivers Authority, England and Gales, Water Quality Series No. 5, HMSO, Londres.
- NRA 1994 *Water Quality Objectives. Procedures used by the National River Authority for the Purpose of the Surface Waters (River Ecosystem) (Classification) Regulation 1994*. National Rivers Authority, England and Gales, Bristol.
- OMS 1984 *Guidelines for Drinking-Water Quality, Volume 2, Health Criteria and Other Supporting Information*. Organización Mundial de la Salud, Ginebra.
- OMS 1989 *Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. Report of a Scientific Group Meeting*. Technical Report Series No. 778, Organización Mundial de la Salud, Ginebra.
- OMS 1993 *Guidelines for Drinking-Water Quality, Volume 1, Recommendations*. 2a. edición, Organización Mundial de la Salud, Ginebra.
- Pham Thi Dung, 1994 Residue pesticides monitoring in the Mekong basin. En: *Mekong Water Quality Monitoring and Assessment Expert Meeting*. Bangkok, 29 al 30 de noviembre de 1993. Informe preparado por la Secretaría del Mekong, MKG/R 94002, Mekong Secretariat, Bangkok.
- UNESCO/OMS 1978 *Water Quality Surveys. A Guide for the Collection and Interpretation of Water Quality Data*. Studies and Reports in Hydrology, No. 23, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, París, 350 pp.
- Venugopal, T. 1994 *Water and air quality monitoring programme in India: An overview for GEMS/Water*. Informe inédito de la Central Pollution Control Board, Ministerio del Ambiente y Bosques de la India, Nueva Delhi.

## Capítulo 3\*

### SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS

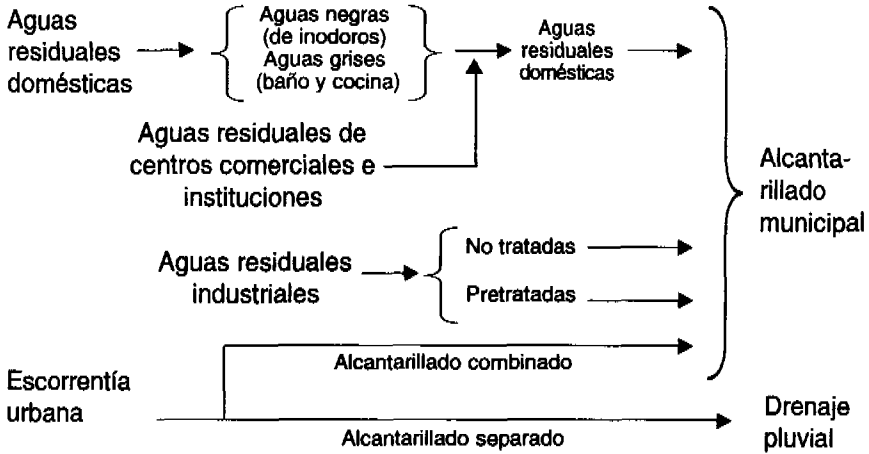
#### 3.1 Manejo integral de los residuos y del agua

En la mayoría de los países se ha producido un notable crecimiento económico, especialmente en los recientemente industrializados. Casi toda la actividad económica ha creado presión sobre la capacidad del ambiente para tolerar la contaminación. Muchos de los sistemas hidrológicos de las regiones en desarrollo están o se están acercando al punto límite del estrés ambiental, pasado el cual, la capacidad de renovación del ambiente se ve seriamente comprometida. La contaminación industrial, las descargas domésticas descontroladas de las áreas urbanas, la contaminación proveniente de la agricultura y ganadería y las diversas alteraciones en el uso de la tierra e infraestructura hídrica pueden contribuir al uso no sostenible de los recursos hídricos y, con el tiempo, pueden producir impactos negativos en el desarrollo económico de muchos países e inclusive continentes. Las manifestaciones típicas de este tipo de desarrollo son la disminución del nivel freático (por ejemplo, en Medio Oriente y México), la contaminación irreversible del agua superficial y los cambios asociados en la salud pública y ambiental.

La tecnología se ha desarrollado paralelamente al crecimiento económico, principalmente en términos de rendimiento y disponibilidad de opciones para el tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, no se puede esperar que la tecnología resuelva todos los problemas de la contaminación. Por lo general, una planta de tratamiento de aguas residuales convierte 1 m<sup>3</sup> de aguas residuales en 1 ó 2 litros de lodo concentrado. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales usualmente demandan alta inversión de capital y requieren operadores especializados y costosos. Por lo tanto, al seleccionar e invertir en una tecnología de tratamiento de aguas residuales, es recomendable investigar si es posible minimizar o prevenir la contaminación. En cualquier iniciativa de control de la contaminación es necesario analizar la eficiencia en función de los costos y compararla con todas las alternativas concebibles. El objetivo de este capítulo es orientar a los planificadores urbanos y responsables de tomar decisiones sobre cómo proceder al seleccionar tecnologías. Antes de tomar cualquier decisión, se deben abordar varios temas desde la perspectiva de la planificación:

\* *Este capítulo fue preparado por S. Veenstra, G.J. Alaerts y M. Bijlsma*

- *¿Es el tratamiento de aguas residuales una prioridad para proteger la salud pública y ambiental?* En China, cerca de Wuhan, el Banco Mundial no financió la planta de lodos activados para el alcantarillado municipal debido a que el gran río Yangtse podía absorber la carga de residuos existente. El préstamo se usó para la conservación de energía, medidas de mitigación de la contaminación del aire (calderas, hornos) y para el manejo de efluentes industriales. En Wakayama, Japón, se dio mayor prioridad al drenaje que al alcantarillado debido a que muchas áreas urbanas eran propensas a inundaciones periódicas; las excretas humanas se recolectan por medio de camiones con sistema de succión y se convierten en abono granulado seco. La salud pública está protegida eficazmente y no se ha invertido la cantidad requerida para el alcantarillado (dos a tres veces el costo del presente enfoque).
- *¿Se puede minimizar la contaminación mediante tecnologías de recuperación o la toma de conciencia de la comunidad?* Corea del Sur planificó la expansión del tratamiento de aguas residuales de Seúl y Pusan tomando como base el crecimiento lineal del consumo de agua de grifo (de  $120 \text{ l cap}^{-1} \text{ d}^{-1}$  a más de  $250 \text{ l cap}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ). Como esta extrapolación demandaba una alta inversión, los fondos se asignaron a la promoción del ahorro de agua en los hogares, lo que permitió reducir a la mitad el diseño final del alcantarillado y plantas de tratamiento.
- *¿El tratamiento es más factible en instalaciones centralizadas o descentralizadas?* Por lo general, la función del tratamiento centralizado es remover solo contaminantes comunes y no componentes específicos de los residuos. Sin embargo, las economías de escala hacen que el tratamiento centralizado sea económico, en tanto que el descentralizado, a pesar de ser más especializado, pierde las economías de escala. El tratamiento general es mucho más efectivo cuando se cumplen las normas sobre el uso de la tierra y zonificación o cuando se separan o tratan las descargas industriales antes de que ingresen al alcantarillado municipal.
- *¿Se puede recuperar el valor intrínseco de las aguas residuales mediante el reúso?* Las aguas residuales son un recurso mal valorado. En muchas regiones áridas, las aguas residuales domésticas e industriales solo necesitan ser “condicionadas” para luego ser utilizadas en el riego, como agua de enfriamiento y procesamiento en industrias o en acuicultura o piscicultura (capítulo 4). De esta manera, los costos de tratamiento se reducen considerablemente, se minimiza la contaminación y se genera actividad económica y trabajo. Lamentablemente, muchas de estas alternativas potenciales todavía no se han investigado suficientemente y aún no se ha demostrado que sean las más factibles.



**Figura 3.1** Origen y flujos de las aguas residuales en un medio urbano

En última instancia, cada problema de contaminación en función de su aceptabilidad técnica, accesibilidad económica y adaptación social, debiera contar con una estrategia y tecnología apropiadas. Esto se aplica tanto para los países en vías de desarrollo como para los industrializados. En los países en vías de desarrollo, donde el capital es escaso y abunda la mano de obra no calificada, las soluciones para el tratamiento de aguas residuales deben estar orientadas, de preferencia, hacia la tecnología simple, lo cual implica que sea menos mecanizada, con un menor grado de control en los procesos automáticos y que en la construcción, operación y mantenimiento se trabaje con mano de obra local en lugar de importar maquinaria. Estas tecnologías requieren mano de obra intensiva antes que capital y maquinaria. Sin embargo, la selección final de la tecnología de tratamiento puede depender del origen de las aguas residuales y de los objetivos del tratamiento (ver figura 3.2).

### 3.2 Origen, composición e importancia de las aguas residuales

#### 3.2.1 Flujo de las aguas residuales

Por lo general, las aguas residuales municipales provienen de fuentes domésticas e industriales y pueden incluir la escorrentía urbana (figura 3. 1). Las aguas residuales domésticas provienen de áreas residenciales y comerciales, incluidas las instituciones y zonas recreativas. En el ámbito rural, los efluentes industriales y los sistemas de recolección de aguas de lluvia son menos comunes (aunque algunas veces, a las industrias les resulta atractivo descargar descontroladamente

**Cuadro 3.1** Abastecimiento típico de agua de uso doméstico y producción de aguas residuales en regiones industriales, en vías de desarrollo y semiáridas (l cap<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)

Servicio de abastecimiento de agua	Regiones industriales	Regiones en vías de desarrollo	Regiones semiáridas
Bomba de mano o pozo	na	< 50	< 25
Fuente pública	na	50-80	20-40
Conexiones domiciliarias	100-150	50-125	40-80
Conexiones múltiples	150-250	100-250	80-120
Flujo promedio de aguas residuales	85-200	65-125	35-75

na: no aplicable

sus residuos en áreas rurales). En las zonas rurales los problemas de aguas residuales generalmente se relacionan con la materia fecal que transporta agentes patógenos. Es frecuente que las aguas residuales industriales se originen en determinadas zonas de desarrollo o, como ocurre en muchos países en vías de desarrollo, en numerosas pequeñas industrias ubicadas en áreas residenciales. En el alcantarillado combinado, la contaminación urbana expandida surge principalmente por la escorrentía de las calles y el rebose del alcantarillado “combinado” durante lluvias fuertes; y la contaminación rural proviene principalmente de la escorrentía de campos agrícolas que transporta plaguicidas, fertilizantes, material en suspensión y estiércol de ganado.

En los hogares, el agua de grifo se utiliza para diversos propósitos, tales como para el lavado, higiene, cocina y descarga de residuos. Las aguas residuales del inodoro se denominan “negras” y las de la cocina y el baño se les llama “grises”. Ambas pueden eliminarse por separado o juntas. Por lo general, mientras más recursos económicos tenga una comunidad, mayor es la cantidad de residuos que desecha por descarga de agua fuera del sitio. Tales descargas pueden significar un problema público para las áreas que se encuentran aguas abajo.

Usualmente, la generación de aguas residuales domésticas se expresa en litros per cápita por día (l cap<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) o como un porcentaje de la tasa específica del consumo de agua. El consumo doméstico de agua y, en consecuencia, la producción de aguas residuales dependen del nivel del servicio de abastecimiento de agua, de la disponibilidad del agua y del clima (cuadro 3.1). En los climas moderados y en los países industrializados, 75% del consumo de agua de grifo termina como aguas residuales. En las regiones más áridas esta



**Cuadro 3.2** Principales tipos de contaminantes de aguas residuales municipales, su importancia y origen

Contaminante	Importancia	Origen
Sólidos sedimentables (arena, grava)	Los sólidos sedimentables pueden crear depósitos de lodo y condiciones anaerobias en el alcantarillado, plantas de tratamiento o cursos de agua	Doméstico, escurrentía
Materia orgánica (DBO); nitrógeno Kjeldahl	La degradación biológica consume oxígeno y puede alterar el balance de oxígeno del agua superficial; si se consume el oxígeno del agua, se producirán condiciones anaerobias, malos olores, muerte de peces y desbalance ecológico	Doméstico, industrial
Microorganismos patógenos	Riesgos severos para la salud pública por la transmisión de enfermedades de origen hídrico como el cólera	Doméstico
Nutrientes (N y P)	Los altos niveles de nitrógeno y fósforo en el agua superficial favorecen el crecimiento excesivo de algas (eutroficación). La muerte de algas contribuye a la formación de materia orgánica (ver anterior)	Doméstico, escurrentía rural, industrial
Microcontaminantes (metales pesados, componentes orgánicos)	Los componentes no-biodegradables pueden ser tóxicos, cancerígenos o mutagénicos en concentraciones muy bajas (en plantas, animales y seres humanos). Algunos pueden acumularse en cadenas alimentarias, tales como el cromo (VI), cadmio, plomo, la mayoría de los plaguicidas y herbicidas y los bifenilos policlorados	Industrial, escurrentía rural (plaguicidas)
Sólidos disueltos totales (sales)	En niveles altos puede restringir el uso del agua para el riego o acuicultura	Industrial, (intrusión salina)

Fuente: Metcalf y Eddy Inc., 1991

proporción puede ser menos de 50% debido a la alta evaporación, pérdidas por infiltración y prácticas de uso del agua doméstica.

La demanda de agua industrial y la producción de aguas residuales dependen del sector específico. Las industrias pueden requerir grandes volúmenes de agua para enfriamiento (centrales de energía, siderurgia, destilación), para el procesamiento (cerveza, pulpa y papel), para la limpieza (textiles, mataderos), para el transporte de productos (ingenios azucareros) y limpieza de residuos. La concentración y composición de los residuos puede variar significativamente de acuerdo con el proceso industrial. Las aguas residuales industriales pueden contener gran variedad de microcontaminantes que añaden complejidad al tratamiento de aguas residuales. El tratamiento combinado de muchos contaminantes puede conllevar a una baja eficiencia y altos costos por unidad de tratamiento (US\$ m<sup>-3</sup>).

El flujo horario, diario, semanal o estacional y las fluctuaciones de descarga de contaminantes industriales (expresado como m<sup>3</sup> e<sup>-1</sup> ó m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> y como kg e<sup>-1</sup> ó

**Cuadro 3.3** Variación en la composición de las aguas residuales domésticas

Contaminante	Producción específica (g cap <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )**	Concentración* (mg l <sup>-1</sup> )**
Sólidos disueltos totales	100-150	400-2.500
Sólidos suspendidos totales	40-80	160-1.350
DBO	30-60	120-1.000
BQO	70-150	280-2.500
Nitrógeno Kjeldahl (como N)	8-12	30-200
Fósforos totales (como P)	1-3	4-50
Coliformes fecales (N <sup>o</sup> . Por 100 ml)	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>9</sup>	4 x 10 <sup>6</sup> - 1,7 x 10 <sup>7</sup>

DBO Demanda bioquímica de oxígeno  
DQO Demanda química de oxígeno

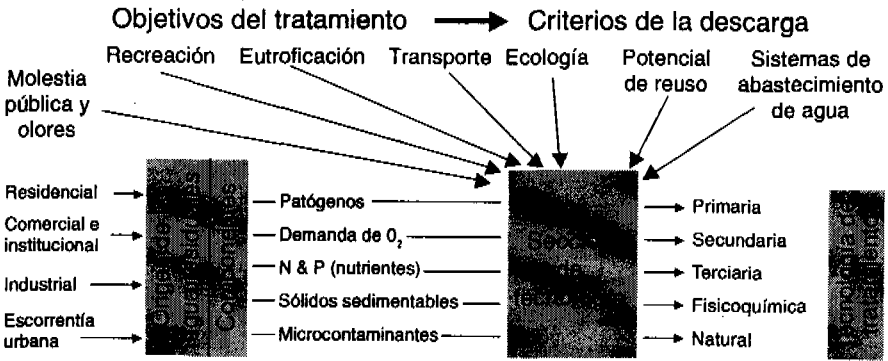
\* Se asume una tasa de consumo de agua de 60-250 l cap<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>

\*\* Excepto para coliformes fecales

kg d<sup>-1</sup> de contaminante, respectivamente) pueden ser considerables, según los procedimientos que se realicen en la planta, tales como turnos de trabajo y limpieza del lugar. En consecuencia, las plantas de tratamiento confrontan variaciones en las tasas de descarga, lo que puede reducir la eficiencia de remoción de los procesos. La remoción de contaminantes peligrosos o de lenta biodegradación requieren una carga constante y operación de la planta de tratamiento para asegurar la estabilidad y funcionamiento del proceso. Para regular las posibles fluctuaciones se construyen tanques reguladores para nivelar los flujos pico. Por lo general, las fluctuaciones de flujo de las aguas residuales domésticas son repetitivas y los picos se presentan en la mañana y en la noche, siendo el flujo mínimo el de la noche.

### 3.2.2 Composición de las aguas residuales

Las aguas residuales se pueden caracterizar por sus contaminantes principales (cuadro 3.2), los que pueden causar impactos negativos en los cuerpos receptores de agua. Al mismo tiempo, los sistemas de tratamiento generalmente son específicos, es decir, están diseñados para remover una clase de contaminante, lo que hace que su rendimiento disminuya en presencia de otros contaminantes, tales como los efluentes industriales. Particularmente el aceite, los metales pesados, el amoníaco, el sulfuro y los componentes tóxicos pueden dañar las alcantarillas (por corrosión, por ejemplo) y disminuir la eficacia de las plantas de tratamiento. Por lo tanto, las municipalidades deben establecer criterios adicionales para aceptar residuos industriales en el alcantarillado.



**Figura 3.2** Selección de la tecnología de tratamiento según el origen de las aguas residuales, sus componentes y objetivos del tratamiento en función de los criterios de descarga.

Las aguas residuales contaminadas pueden resultar inadecuadas para su uso productivo. En las industrias existen varias tecnologías de tratamiento que permiten la remoción selectiva de contaminantes y su recuperación con un alto grado de pureza. Si tal recuperación se aplica a residuos concentrados, puede cubrir una parte de la inversión. Por ejemplo, en las fábricas de textiles se puede recuperar pigmentos y soluciones cáusticas mediante ultrafiltración y evaporación, mientras que en las curtiembres se puede recuperar el cromo (IV) por precipitación química. En otros casos, las aguas residuales pueden ser adecuadas para el riego o reúso en la industria.

La producción de residuos domésticos per cápita suele ser constante, pero la concentración de contaminantes varía según la cantidad de agua de grifo que se consume (cuadro 3.3). Por ejemplo, las aguas residuales en Sana'a, Yemen (80 l cap<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> de consumo de agua) son cuatro veces más concentradas en términos de demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST) que las de las ciudades latinoamericanas (donde el consumo de agua es aproximadamente de 300 l cap<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>). Además, se puede producir percolación o infiltración de aguas subterráneas debido probablemente a que el sistema de alcantarillado no es impermeable. De manera similar, muchas alcantarillas en las áreas urbanas reciben el rebose de tanques sépticos, lo que afecta la calidad de las aguas residuales. Los parámetros convencionales para los residuos deben adaptarse a las condiciones y hábitos locales (tales como el nivel de nutrición, composición de los alimentos básicos y hábitos de cocina). La composición de las aguas residuales también puede alterarse si se permiten descargas industriales en el sistema de alcantarillado municipal.

**Cuadro 3.4** Parámetros típicos para efluentes de acuerdo con el uso de las aguas receptoras

Variable	Descarga en aguas superficiales		Descarga en aguas sensibles a la eutroficación	Uso de efluentes en el riego y acuicultura
	Alta calidad	Baja calidad		
DBO (mg/l <sup>1</sup> )	20	50	10	100 <sup>1</sup>
SST (mg/l <sup>1</sup> )	20	50	10	< 50 <sup>1</sup>
Nitrógeno Kjeldahl- (mg/l <sup>1</sup> )	10	-	5	-
N total (mg/l <sup>1</sup> )	-	-	10	-
P total (mg/l <sup>1</sup> )	1	-	0,1	-
Coliformes fecales (No. por 100 ml)	-	-	-	< 1.000
Huevos de nematodos por litro	-	-	-	< 1
Razón de adsorción de sodio (RAS)	-	-	-	< 5
Sólidos disueltos totales (sales) (mg/l <sup>1</sup> ) (SDT)	-	-	-	< 500 <sup>2</sup>

- No hay normas establecidas

DBO Demanda bioquímica de oxígeno

SST Sólidos suspendidos totales

RAS Razón de adsorción de sodio

SDT Sólidos disueltos totales

1 Norma agronómica

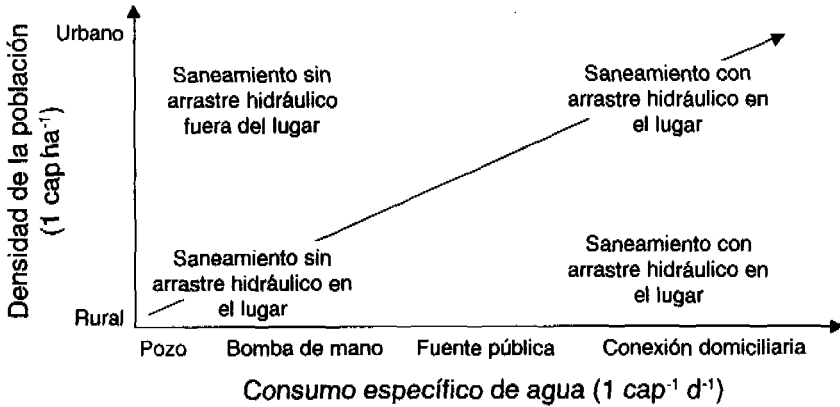
2 No hay restricción en la selección de los cultivos

Fuentes: Ayers y Westcot, 1985; OMS, 1989

### 3.3 Manejo de aguas residuales

#### 3.3.1 Objetivos del tratamiento

La selección de tecnologías depende de las características de las aguas residuales y objetivos del tratamiento expresados en términos de la calidad deseada del efluente. Esto último depende del uso esperado de las aguas receptoras. Por lo general, el objetivo del control de la calidad del efluente es proteger la salud pública (para recreación, irrigación, abastecimiento de agua), preservar el contenido de oxígeno del agua, prevenir la eutroficación y sedimentación, evitar la introducción de compuestos tóxicos en el agua y cadena alimentaria y promover el reúso del agua (figura 3.2). Estos usos del agua se expresan en las normas de emisión o, en muchos países, como "clases" que describen la calidad deseada de las aguas receptoras (ver capítulo 2). Se pueden establecer normas de emisión o del efluente que consideran la viabilidad técnica y financiera del tratamiento de aguas residuales. De esta manera, se puede adoptar una tecnología de tratamiento u otra acción para remover o prevenir la descarga de



**Figura 3.3** Clasificación de las estrategias básicas de saneamiento. La tendencia en saneamiento es usar instalaciones con arrastre hidráulico fuera de lugar (Veenstra, 1996)

los contaminantes de interés. Las normas o criterios pueden variar entre los países. El cuadro 3.4 presenta algunas normas comunes de descarga que se aplican en muchos países industrializados y en vías de desarrollo en relación con la calidad esperada o el uso de las aguas receptoras.

**3.3.2 Soluciones sanitarias para las aguas residuales domésticas**

La creciente población mundial tiende a concentrarse en centros urbanos. En las áreas densamente pobladas, la recolección, tratamiento y disposición de las aguas residuales son esenciales para controlar la transmisión de enfermedades de origen hídrico. Así mismo, son importantes para impedir la degradación irreversible del ambiente urbano y de los sistemas acuáticos que mantienen el ciclo hidrológico, así como para proteger la producción y biodiversidad de alimentos en la región que rodea el área urbana. En el caso de las poblaciones rurales, que todavía constituyen 75% de la población total en los países en vías de desarrollo (OMS, 1992), el interés por la salud pública es la principal justificación para invertir en el mejoramiento del agua y saneamiento. En ambos casos, las tecnologías deben ser sostenibles desde un punto de vista ambiental, apropiadas para las condiciones locales, aceptables para los usuarios y accesibles para quienes tienen que pagarlas. Las soluciones sencillas que se pueden reproducir fácilmente, que pueden ser mejoradas posteriormente de acuerdo con el desarrollo y que pueden ser operadas y mantenidas por las comunidades locales, son las que se consideran las más adecuadas y eficientes en función de los costos.

**Cuadro 3.5** Expansión y mejoramiento gradual de las plantas de tratamiento de aguas residuales en países industrializados para cumplir con las normas sobre efluentes

Década	Objetivo del tratamiento	Tratamiento	Operaciones incluidas
1950-1960	Remoción de sólidos en suspensión/gruesos	Primario	Tamizado, remoción de arena, sedimentación
1970	Degradación de la materia orgánica	Secundario	Oxidación biológica de la materia orgánica
1980	Reducción de nutrientes (eutroficación)	Terciario	Reducción del N y P totales
1990	Remoción de microcontaminantes	Avanzado	Remoción físicoquímica de microcontaminantes

El primer tema que se aborda es si el tratamiento y disposición sanitaria debiesen ser realizados en la propia vivienda o edificio, o si es mejor la recolección y tratamiento centralizado fuera de la localidad. Independientemente de si el área es urbana o rural, el principal criterio de decisión es la densidad de la población (habitantes por hectárea) y el volumen de aguas residuales ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) (figura 3.3). La densidad de la población determina la posibilidad de disponer los desagües localmente y afecta drásticamente el costo unitario por vivienda. Los sistemas de saneamiento pueden ser del tipo seco o con arrastre hidráulico, en este último caso se requerirá de alcantarillado o un método de disposición en el terreno. La presente tendencia de incrementar el consumo de agua de grifo ( $1 \text{ cap}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) junto a la creciente densidad de la población urbana, parece favorecer el saneamiento in situ como futura estrategia principal para la recolección, tratamiento y disposición de aguas residuales.

En las zonas urbanas de mayores recursos económicos, las soluciones fuera del lugar son, por lo general, las más adecuadas debido a que la densidad de la población no permite la percolación de grandes cantidades de aguas residuales en el terreno. Además, el riesgo de contaminar las aguas subterráneas, registrado en muchas ciudades de África y el Medio Oriente, desalienta la aplicación del saneamiento in situ. Por lo general, los distritos y ciudades no pueden absorber soluciones muy costosas debido a la baja densidad de la población por hectárea y a los altos costos unitarios implicados. Las circunstancias locales físicas y socioeconómicas son las que determinan el saneamiento in situ, pero cuando éste no resulta satisfactorio, se dispone de tecnologías intermedias como el alcantarillado de pequeño diámetro. Este último enfoque combina la recolección de aguas residuales en un tanque séptico seguido de disposición del efluente

sedimentado fuera del lugar mediante alcantarillado de pequeño diámetro. Los sólidos sedimentados se acumulan en el tanque séptico y son removidos periódicamente (remoción de lodos). La ventaja de este sistema es que el costo unitario del alcantarillado de pequeño diámetro es mucho más bajo (Sinnatamby y otros, 1986).

### 3.3.3 Nivel de tratamiento de las aguas residuales

Para lograr los objetivos de la calidad del agua se debe desarrollar y mantener una amplia infraestructura. Se debe establecer una ley basada en el principio "el que contamina paga" para obligar a los contaminadores industriales y domésticos a que paguen el alto costo que implica tal infraestructura. Durante los últimos diez años, los objetivos y prioridades del tratamiento en los países industrializados se han hecho cada vez más estrictos. Esto ha dado lugar a las llamadas plantas de tratamiento de primera, segunda y tercera generación (cuadro 3.5). Este enfoque gradual permitió determinar la calidad "óptima" del efluente y cómo lograrla mediante el tratamiento de aguas residuales a escala completa. Como resultado, las plantas de tratamiento de aguas residuales se han ido expandiendo y perfeccionando; las de tratamiento primario se extendieron con una etapa secundaria, mientras que las plantas de tratamiento secundario se están completando con fases de tratamiento terciario.

Por lo general, el número disponible de tecnologías y sus combinaciones es ilimitado. Cada problema de contaminación requiere una solución específica y óptima que reúna una serie de operaciones y procesos unitarios en un diagrama de flujo (cuadro 3.6).

El tratamiento primario generalmente consiste en procesos físicos que incluyen el tamizado mecánico, remoción y sedimentación de grava cuya finalidad es remover aceites y grasas, sólidos sedimentables en suspensión y flotantes; se remueve simultáneamente por lo menos 30% de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y 25% del nitrógeno Kjeldahl y P total. El número de coliformes fecales se reduce solo a uno o dos órdenes de magnitud, pero para que sea apto para el reúso agrícola se requiere cinco a seis órdenes de magnitud.

El tratamiento secundario principalmente convierte la materia biodegradable (con lo cual reduce la DBO) y el nitrógeno Kjeldahl en dióxido de carbono, agua y nitratos a través de procesos microbiológicos. Estos procesos aerobios requieren de oxígeno que por lo general es suministrado por aeración mecánica intensiva. En el caso de aguas residuales con temperaturas relativamente elevadas también se pueden aplicar procesos anaerobios. En ese caso, la materia orgánica se transforma en una mezcla de metano y dióxido de carbono (biogás).

**Cuadro 3.6** Clasificación de los procesos comunes de tratamiento de aguas residuales por nivel de avance

Primario	Secundario	Terciario	Avanzado
Tamices de barraso curvados	Lodo activado	Nitrificación	Tratamiento químico
Remoción de arena	Aireación extendida	Desnitrificación	Ósmosis inversa
Sedimentación primaria	Estanque aireado	Precipitación química	Electrodialisis
Trituración	Filtro de percolación	Desinfección	Adsorción de carbón
Remoción de aceites/grasas	Contadores biológicos rotatorios	Filtración (directa)	Intercambio de iones selectivos
Regulación de flujo	Tratamiento anaerobio/RAFA	Oxidación química	Hiperfiltración
Neutralización del pH	Filtro anaerobio	Remoción biológica del pH	Oxidación
Tanque Imhoff	Lagunas de estabilización	Biofiltros (pantanos construidos)	Desintoxicación
	Biofiltros (pantanos construidos)	Acuicultura	
	Acuicultura		

RAFA: Reactores anaerobios de flujo ascendente

En los tratamientos primario y secundario, el volumen de lodos que se produce es menor de 0,5% del flujo de aguas residuales. Los metales pesados y otros microcontaminantes tienden a acumularse en el lodo debido a que, por lo general, son adsorbidos por las partículas en suspensión. Actualmente, los problemas asociados con el tratamiento de aguas residuales en los países industrializados han pasado gradualmente del tratamiento de aguas residuales en sí al tratamiento y disposición de los lodos generados.

El tratamiento no mecanizado de aguas residuales mediante lagunas de estabilización, biofiltros (pantanos construidos) o acuicultura con macrofitas puede, en gran medida, proporcionar un tratamiento secundario y terciario adecuados. Como los procesos biológicos no se aceleran mediante equipo mecánico, se requiere áreas grandes para proporcionar un tiempo de retención suficiente que permita un alto grado de remoción de contaminantes.

El tratamiento terciario está diseñado para remover nutrientes, N total (nitrógeno Kjeldahl, nitrato y nitrito) y P total (fósforo en partículas y soluble) de los efluentes secundarios. Mediante estos procesos, se logra la remoción adicional de los sólidos en suspensión y la reducción de la DBO. El objetivo



principal del tratamiento terciario es reducir el potencial de eutroficación en aguas superficiales sensibles.

Por lo general, los procesos de tratamiento avanzado solo se aplican en aguas residuales industriales para remover contaminantes específicos. El tratamiento avanzado generalmente está precedido por la coagulación y floculación fisicoquímica. Cuando se requiere un efluente de alta calidad para la recuperación de aguas subterráneas por recarga o para la descarga en aguas recreativas, se debe agregar algunos pasos al tratamiento convencional.

El cuadro 3.7 examina el grado de remoción de los contaminantes mediante procesos y operaciones de tratamiento. En realidad, la mayoría de los procesos de tratamiento son realmente eficaces solo para remover un pequeño número de contaminantes.

### **3.3.4 La mejor tecnología disponible**

Al tomar medidas preventivas en relación con el tratamiento al final del proceso industrial las autoridades deben, mediante normas, exigir a los contaminadores, principalmente a las industrias, que hagan uso de la mejor tecnología disponible (MTD), la mejor tecnología disponible sin costos excesivos (MTDSCE), las mejores prácticas ambientales (MPA) y la mejor opción ambiental práctica (MOAP) (capítulo 5).

Por lo general, la mejor tecnología disponible es la tecnología accesible y la más eficaz para prevenir o minimizar las emisiones contaminantes. También puede referirse a la tecnología más moderna de tratamiento disponible. Para determinar la mejor tecnología disponible se debe realizar una evaluación comparativa de los distintos procesos de tratamiento, sus instalaciones y métodos de operación aplicados con éxito recientemente, por un largo período y a escala completa.

La MTDSCE agrega a la noción de mejor tecnología disponible un análisis explícito de costo-beneficio. "Sin costo excesivo" implica que el costo financiero no debe exceder la capacidad financiera del sector industrial involucrado en relación con la reducción de la descarga o protección del respectivo ambiente.

Las mejores prácticas ambientales, MPA, y las mejores opciones ambientales prácticas, MOAP, tienen un mayor alcance. La MOAP requiere identificar el método menos perjudicial para descargar contaminantes en el ambiente, mientras que los requisitos para el uso de los procesos de tratamiento deben basarse en la MTDSCE. Las mejores políticas para elegir la mejor opción ambiental práctica también requieren que las medidas de tratamiento impidan la transmisión de la contaminación o de contaminantes de un medio a otro (por ejemplo, del agua al lodo). Por lo tanto, la MOAP considera las repercusiones

de la tecnología seleccionada para controlar la contaminación sobre los diversos ambientes y la relación entre ellos.

### 3.3.5 Criterios de selección

Para la selección de tecnologías se puede aplicar los siguientes criterios generales:

- *Eficiencia y rendimiento promedio de la tecnología.* Por lo general, se considera que este es el mejor criterio para los estudios comparativos. La posibilidad de que la tecnología elimine otros contaminantes, además de los previstos, se debe considerar como una ventaja. De igual manera, se debe analizar las vías y el destino de los contaminantes removidos después del tratamiento, especialmente con respecto a las opciones de disposición de lodos en los que tienden a concentrarse los microcontaminantes.
- *Confiabilidad de la tecnología.* El proceso debe, de preferencia, ser estable y resistente a cargas repentinas, es decir, debe ser capaz de continuar la operación y producir un efluente aceptable bajo condiciones no comunes. Por consiguiente, el sistema debe adaptarse a las variaciones del afluente, así como a condiciones poco frecuentes o extremas aunque previstas. Esto se refiere a las características de las aguas residuales (descargas ilegales ocasionales, variaciones en el flujo y concentraciones, temperaturas altas o bajas) así como a las condiciones operacionales (corte de energía eléctrica, interrupción de la bomba, mantenimiento pobre). Durante la fase de diseño se deben considerar diversos escenarios y sus posibilidades. Una vez que se ha interrumpido el proceso, debe ser fácil reparar y reiniciar.
- *Manejo institucional.* En los países en vías de desarrollo existen pocos organismos gubernamentales capacitados para el manejo de las aguas residuales. Es necesario contar con personal que tenga experiencia técnica y administrativa para planificar, diseñar, construir, operar y mantener plantas de tratamiento. Ello requeriría disponer de un gran número de ingenieros con estudios de posgrado en ingeniería de aguas residuales, acceder a una red local de investigación para el apoyo científico y solución de problemas, acceso a laboratorios de buena calidad y experiencia en el manejo y recuperación de costos. Además, todas las tecnologías (incluidas las consideradas “simples”) requieren el trabajo de operadores dedicados y con experiencia formados a partir de una educación y capacitación extensivas.
- *Sostenibilidad financiera.* Cuanto menores sean los costos financieros, más atractiva será la tecnología. Sin embargo, aunque la opción sea de bajo costo puede no ser económicamente sostenible, ya que su sostenibilidad

está determinada por la disponibilidad real de los fondos proporcionados por el contaminador. En el caso del saneamiento domiciliario, la gente podría estar dispuesta y tener la posibilidad de cubrir al menos el costo de operación y mantenimiento. La recuperación total de los costos debe ser la meta final aunque para ello, en un principio, se requieran esquemas especiales de financiación, tales como el subsidio cruzado, fondos rotatorios y programas escalonados de inversión.

- *Aplicación en los esquemas de reúso.* La recuperación de recursos contribuye a la sostenibilidad tanto ambiental como financiera. Puede incluir el riego agrícola, acuicultura y piscicultura, reúso industrial del agua de enfriamiento y de otros procesos industriales o usos que requieren agua de baja calidad, tales como para la descarga de inodoros. Los lodos generados solo pueden ser utilizados como abono o para la recuperación de suelos cuando la concentración de microcontaminantes no es significativa o cuando los riesgos para la salud son aceptables.
- *Determinantes de la reglamentación.* Los reglamentos sobre la calidad deseada de las aguas receptoras se determinan según la factibilidad técnica y económica. El organismo que reglamenta impone el uso de una tecnología específica y actualizada (MTD o MTDSCE) para las descargas municipales o industriales, antes que prescribir las normas de descarga requeridas.

### 3.4 Prevención y minimización de la contaminación

El enfoque de tratar los efluentes al final del proceso industrial han reducido la descarga directa de algunos contaminantes en las aguas superficiales pero se han encontrado varias limitaciones. Por ejemplo, el tratamiento al final del proceso industrial transfiere contaminantes de la fase líquida a una fase de lodos o gaseosa. Después de la disposición de lodos, los contaminantes pueden migrar al suelo o al nivel freático. Durante los últimos años, se ha tomado conciencia de que muchas soluciones de tratamiento al final del proceso industrial no han sido tan efectivas para mejorar el ambiente acuático como se esperaba. Como resultado, actualmente el enfoque está cambiando del “manejo de residuos” a la “prevención de la contaminación y minimización de residuos”, también conocido como “producción más limpia”.

La prevención de la contaminación y la minimización de residuos abarca una variedad de medidas técnicas y no técnicas cuya finalidad es prevenir la generación de residuos y contaminantes. Se trata de un enfoque conceptual de producción industrial que demanda que el objetivo de todas las etapas del ciclo de vida del producto estén orientadas a evitar o minimizar los riesgos de corto y largo plazo para los seres humanos y el ambiente. Este enfoque incluye la

**Cuadro 3.7** Eficiencia del porcentaje de remoción potencial de contaminantes de diferentes procesos de tratamiento y recuperación de aguas residuales

Variable o contaminante	Tratamiento primario	Lodos activados (LA)	Nitrificación	Desnitrificación	Filtro percolador	CBR	Coag-floc. -sedim. <sup>1</sup>	Filtración después del AS	Adsorción de carbón
DBO	25-50	>50	>50	25	>50	>50	>50	25-50	>50
DQO	25-50	>50	>50	25	>50		>50	25-50	25-50
SST	>50	>50	>50	25	>50	>50	>50	>50	>50
NH <sub>3</sub> -N	25	>50	>50	25-50		>50	25	25-50	25-50
NO <sub>3</sub> -N				>50				25-50	25
Fósforo	25	25-50	>50	>50			>50	>50	>50
Alcalinidad		25-50					25-50	>50	
Aceite y grasa	>50	>50	>50				25-50		25-50
Coliformes totales		>50	>50		25		>50		>50
SDT									
Arsénico	25-50	25-50	25-50				25-50	>50	25
Bario		25-50	25				25-50	25	
Cadmio	25-50	>50	>50		25	25-50	>50	25-50	25
Cromo	25-50	>50	>50		25	>50	>50	25-50	25-50
Cobre	25-50	>50	>50		>50	>50	>50	25	25-50
Fluoruro							25-50		25
Hierro	25-50	>50	>50		25-50	>50	>50	>50	>50
Plomo	>50	>50	>50		25-50	>50	>50	25	25-50
Manganeso	25	25-50	25-50		25		25-50	>50	25-50
Mercurio	25	25	25		25	>50	25	25-50	25
Selenio	25	25	25				25	>50	25
Plata	>50	>50	>50		25-50		>50		25-50
Cinc	25-50	25-50	>50		>50	>50	>50		>50
Color	25	25-50	25-50		25		>50	25-50	>50
Espumantes	25-50	>50	>50		>50		25-50		>50
Turbiedad	25-50	>50	>50	25	25-50		>50	>50	>50
COT	25-50	>50	>50	25	25-50		>50	25-50	>50

El porcentaje está relacionado con la concentración en el afluente. Cuando no se indica el porcentaje de la eficiencia es porque no se dispone de datos, los resultados están inconclusos o hay un aumento.

<sup>1</sup> Coagulación-floculación-sedimentación  
CBR Contactores biológicos rotatorios  
DQO Demanda química de oxígeno

**Cuadro 3.7** Continuación

Variable o contaminante	Agotamiento del amoniaco	Intercambio de iones selectivos	Cloración al punto de quiebre	Ósmosis inversa	Escurrentia superficial	Riego	Infiltración – percolación	Cloración	Ozono
DBO		25-50	>50	>50	>50	>50	>50		25
DQO	25	25-50	>50	>50	>50	>50	>50		>50
SST		>50	>50	>50	>50	>50	>50		
NH <sub>3</sub> -N	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50		
NO <sub>3</sub> -N					25-50				
Fósforo				>50	>50	>50	>50		
Alcalinidad							25-50		
Aceite y grasa					>50	>50	>50		
Coliformes totales			>50		>50	>50	>50	>50	>50
SDT				>50					
Arsénico									
Bario									
Cadmio							25		
Cromo									
Cobre							>50		
Fluoruro							25-50		
Hierro									
Plomo							25-50		
Manganeso				>50					
Mercurio									
Selenio									
Plata									
Cinc							>50		
Color			>50	>50	>50	>50	>50		>50
Espumantes			>50	>50	>50	>50	>50		25
Turbiedad			>50	>50	>50	>50	>50		
COT	25	25	>50	>50	>50	>50	>50		>50

SST Sólidos suspendidos totales  
 SDT Sólidos disueltos totales  
 COT Carbón orgánico total

Fuente: Metcalf y Eddy, 1991

etapa de diseño del producto, la selección, producción y preparación de materias primas, producción y ensamblaje de productos finales y manejo de todos los productos usados al final de su vida útil. Este enfoque permitirá generar menor cantidad de desechos y reducirá el tratamiento al final del proceso y las emisiones. Se reducen las pérdidas de materiales y recursos en el alcantarillado y, por consiguiente, la materia prima se usa eficientemente en el proceso de producción, lo que por lo general permite un ahorro financiero sustancial para la fábrica.

Anteriormente, la prevención y minimización de la contaminación era un resultado indirecto, aunque beneficioso de la implementación de medidas de conservación del agua. El manejo de la demanda de agua tenía por finalidad ahorrar este escaso recurso y disminuir su tasa de consumo. Este tema fue importante y pertinente en el sector industrial, municipal y agropecuario debido al rápido aumento de la demanda de agua en regiones densamente pobladas.

Con respecto a la generación de aguas residuales, principalmente en el sector industrial, se implementaron tecnologías de prevención y minimización de la contaminación (cuadro 3.1). La minimización de aguas residuales provenientes de fuentes domésticas solo es posible en un grado limitado y se logra principalmente mediante la introducción de equipos que ahorran agua en las duchas, inodoros y jardinería. En los Países Bajos se ha desarrollado un nuevo concepto para áreas residenciales donde se utilizan aguas grises para la descarga de los inodoros después del tratamiento a través de biofiltros (pantanos construidos) (gráfico 3.4). En el sector agropecuario, las medidas se refieren principalmente a la conservación del agua mediante la aplicación de técnicas de riego que ahorran el agua.

La minimización de residuos no solo incluye tecnología sino también planificación, buen mantenimiento e implementación de prácticas adecuadas de manejo ambiental. Existen muchos obstáculos que impiden la introducción de estos nuevos conceptos en las plantas existentes o incluso en las nuevas, tales como la falta de conciencia sobre los efectos ambientales del proceso de producción, desconocimiento de los verdaderos costos de manejo de residuos, falta de acceso al asesoramiento técnico, conocimiento insuficiente sobre la implementación de nuevas tecnologías, falta de recursos financieros y en último orden, aunque no en importancia, la resistencia social al cambio.

Anteriormente, los requisitos de la mayoría de los organismos de reglamentación centraban su atención en el tratamiento y control de los efluentes industriales antes de descargarlos en el alcantarillado municipal o en aguas superficiales. Como resultado, durante los últimos 20 años, el número de industrias que vierten contaminantes directamente a los ambientes acuáticos

**Recuadro 3.1** Ejemplos de minimización exitosa de residuos en el sector industrial**Ejemplo 1**

El curtido es un proceso químico que convierte la piel y revestimientos putrescibles en cuero estable. Se usan vegetales, minerales y otros agentes de curtido (separados o combinados) para producir cuero de diferentes calidades y cantidades. El cromo trivalente es el principal agente de curtido y produce un cuero moderno, delgado y liviano. Se han establecido límites para la descarga del cromo. Para recuperar el ion de cromo trivalente de los licores usados y reusarlos en el proceso de curtido, se aplicó la estrategia de producción más limpia, la que redujo el costo del tratamiento al final del proceso para remover el cromo de las aguas residuales.

El curtido del cuero se realiza con sulfato de cromo básico,  $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$ . El proceso de recuperación consiste en la recolección y tratamiento de la solución de curtido después de su uso, en lugar de simplemente desecharla. El licor usado se tamiza para eliminar las partículas y fibras. Cuando se agrega óxido de magnesio, el cromo valioso se precipita como un lodo de hidróxido. Cuando se agrega ácido sulfúrico concentrado, este lodo se disuelve y produce la solución de sal de cromo ( $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$ ), la que puede ser reusada. Mientras que en un proceso convencional de curtido, 20 a 40% del cromo usado se pierde en las aguas residuales, mediante este proceso de minimización de residuos se puede reciclar 95 a 98% de los residuos del cromo.

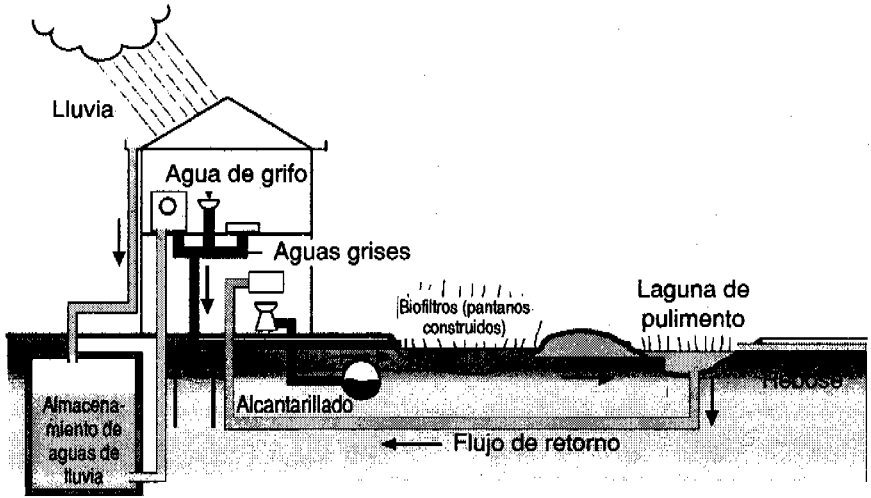
Esta técnica de recuperación se desarrolló y aplicó primero en una tenería griega. Los crecientes costos anuales de operación de aproximadamente \$30.000 fueron compensados por los ahorros de cromo anuales de aproximadamente \$74.000. La inversión de capital de \$40.000 se recuperó en solo 11 meses.

**Ejemplo 2**

En la industria textil, se prefieren los colorantes de azufre pero ocasionan un grave problema de aguas residuales. Los colorantes de azufre son compuestos insolubles en el agua que primero se deben transformar en compuestos solubles para luego ser reducidos a una forma compatible con la fibra que se va a teñir. El método tradicional para hacerlo es el tratamiento con una solución acuosa de sulfuro de sodio. El uso del sulfuro de sodio produce niveles de sulfuro que exceden los criterios de descarga. Por lo tanto, es necesario una tecnología de tratamiento al final del proceso.

Para evitar inversiones de capital en el tratamiento de aguas residuales, se realizó un estudio en la India sobre los métodos disponibles de tintura con azufre de color negro y las alternativas para el sulfuro de sodio. Se descubrió un producto químico alternativo para el sulfuro de sodio en forma de hydrol, un subproducto de la industria del almidón de maíz. Solo fue necesario realizar algunas adaptaciones mínimas en el proceso de tintura textil. La introducción del hydrol no significó ningún gasto de capital y el nivel del sulfuro en las aguas residuales de las fábricas se redujo de 30 ppm a menos de 2 ppm. Al no haber instalado un tratamiento adicional al final del proceso para reducir el nivel de sulfuro en las aguas residuales, se ahorró aproximadamente \$20.000 en inversión y \$3.000 anuales en costos de funcionamiento.

se ha reducido sustancialmente. Sin embargo, la mayoría de las medidas de protección ambiental implementadas consistían en tecnologías que trataban los desechos al final del proceso, y el "final" estaba ubicado dentro de la fábrica o zona industrial o en la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales. En consecuencia, la industria paga una parte del costo del tratamiento y mantenimiento del alcantarillado. En ambos casos, la industria debería responsabilizarse por el tratamiento y manejo que debe realizarse fuera de la



**Figura 3.4** Reúso potencial de aguas grises para la descarga de inodoros después del tratamiento a través de biofiltros (pantanos construidos) (Basado en van Dinther, 1995).

fábrica, principalmente en las plantas de tratamiento municipal. Este cobro debe basarse en el costo real y total del tratamiento. Según este principio, a las industrias se les alienta a:

- Disminuir la producción de residuos en cada etapa del proceso de producción.
- Reducir la producción de cargas máximas orgánicas o hidráulicas que puedan hacer que un sistema de tratamiento municipal sea más costoso o vulnerable.
- Tratar los residuos para cumplir los requisitos de descarga, prevenir daños en el alcantarillado municipal y ahorrar costos en el tratamiento municipal.

El cuadro 3.8 proporciona ejemplos sobre los criterios de descarga en el alcantarillado municipal. En el recuadro 3.2 se señala un método para calcular la carga de contaminación en el alcantarillado o en el ambiente.

### 3.5 Recolección de aguas residuales

#### 3.5.1 Drenaje de aguas de lluvia

En muchos países en vías de desarrollo, el drenaje pluvial debe estar incluido en el manejo de aguas residuales porque los canales transportan gran cantidad de aguas residuales o porque estas aguas ingresan a las plantas de tratamiento con el alcantarillado combinado. En los países industrializados se presta especial



**Cuadro 3.8** Valores típicos para la descarga de efluentes industriales en el alcantarillado del Reino Unido, Hungría y Países Bajos

Variable	RU	Hungría	Países Bajos
pH	6-10	6,5-10	6,5-10
Temperatura (°C)	< 40	Sin normas	< 30
Sólidos suspendidos (mg l <sup>-1</sup> )	< 400	Sin normas	- <sup>1</sup>
Metales pesados (mg l <sup>-1</sup> )	< 10	Específico	- <sup>1</sup>
Cadmio (mg l <sup>-1</sup> )	< 100	< 10.000	- <sup>1</sup>
Cianuro total (mg l <sup>-1</sup> )	< 2	< 1	- <sup>1</sup>
Sulfato (mg l <sup>-1</sup> )	< 1.000	< 400	< 300
Aceite y grasa (mg l <sup>-1</sup> )	< 100	< 60	- <sup>1</sup>

<sup>1</sup> No se permiten sólidos gruesos, explosivos ni inflamables. Los contaminantes que puedan interferir en el tratamiento biológico deben estar en

concentraciones que no difieran de las aguas residuales domésticas.

Fuentes: NU CCE, 1984; Appleyard, 1992.

atención al drenaje de aguas de lluvia porque pueden estar contaminadas con sedimentos, aceites y metales pesados que interfieren en las etapas del tratamiento secundario y terciario.

En las áreas urbanizadas, la capacidad local de infiltración del suelo por lo general no es suficiente para absorber las descargas máximas de las aguas pluviales. Muchas veces se transporta un flujo voluminoso durante períodos cortos (de 20 a 100 minutos) a través de largas distancias (de 500 a 5.000 m). El costo del drenaje depende, en gran medida, de la tasa de flujo real del momento y, por consiguiente, la retención en los reservorios para amortiguar los flujos pico permite el uso de conductos más pequeños, lo que hace que el costo de drenaje por área superficial sea menor. En los países tropicales, es probable que la reducción de los flujos pico por infiltración no sea posible debido a que estos pueden exceder la capacidad local de infiltración.

### 3.5.2 Alcantarillado separado y combinado

En los sistemas separados, las aguas pluviales y las residuales son conducidas por drenajes y alcantarillado sanitario, respectivamente. Los sistemas de alcantarillado combinado transportan aguas residuales y pluviales por el mismo conducto. El alcantarillado sanitario y combinado están cerrados a fin de reducir los riesgos para la salud pública. Los sistemas separados requieren inversión, operación y mantenimiento de las dos redes. Sin embargo, permiten el diseño del alcantarillado sanitario y de la planta de tratamiento en relación con los

**Recuadro 3.2** Cálculo del cobro por cargas de contaminación basado en la "población equivalente".

El cálculo del cobro por descargas industriales en los Países Bajos se basa en la población equivalente estándar (pe):

$$\text{pe por descarga industrial} = \frac{Q \times [DQO + 4,75NKT]}{136}$$

- donde
- Q = tasa de flujo de aguas residuales ( $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$ )
  - DQO = concentración proporcional de la DQO en un flujo de 24 h ( $\text{mg DQO l}^{-1}$ )
  - NKT = concentración proporcional de nitrógeno Kjeldahl ( $\text{mg N l}^{-1}$ ) en un flujo de 24 horas
  - 136 = carga de residuos de un contaminador doméstico (consumo diario de sustancias 136 g  $\text{O}_2$ ) establecida para una población equivalente.

Las descargas de metal pesado se cobran separadamente:

- Cada 100 g Hg o Cd por día equivale a 1 pe.
- Cada kg de otro metal total por día (As, Cr, Cu, Pb, Ni, Ag, Zn) equivale a 1 pe.

La Junta de Control de la Contaminación del Agua exige un promedio de cobro anual de \$25-50 (1994) por equivalente de población; el cobro es por región específica y según los gastos anuales generales de la Junta.

flujos picos bajos. Además, a la planta de tratamiento ingresan aguas residuales más constantes y concentradas, lo que favorece el desempeño fiable y uniforme de los procesos. Por consiguiente, incluso en los países con clima moderado, donde el patrón de lluvias favorecería el alcantarillado combinado (precipitación bien distribuida durante el año y con flujos pico limitados), las áreas residenciales que se construyen están provistas de alcantarillado separado. El alcantarillado combinado es, por lo general, el menos apropiado para los países en vías de desarrollo por las siguientes razones:

- El alcantarillado y el tratamiento son comparativamente costosos, especialmente en las regiones con alta intensidad pluvial durante períodos cortos del año.
- Requiere inversión simultánea para el drenaje, alcantarillado y tratamiento.
- Por lo general, no hay control de la erosión en las áreas no pavimentadas.

El alcantarillado combinado es el más apropiado para las regiones más industrializadas que tienen un desarrollo urbano gradual, un patrón regular de precipitación durante el año y control de la erosión del suelo por el pavimento. La ventaja del alcantarillado combinado es que la primera parte de la escorrentía, que suele tener alta contaminación, se trata junto con las aguas residuales. Por lo general, las plantas de tratamiento de aguas residuales tienen que estar diseñadas para recibir dos a cinco veces la tasa promedio del flujo en tiempo

seco, lo cual aumenta el costo y la complejidad del control de los procesos. La desventaja del alcantarillado combinado es que no se puede manejar flujos pico extremos y el rebose se descarga en el agua superficial que se contamina con las aguas residuales diluidas. Este rebose puede crear problemas locales serios sobre la calidad del agua.

El alcantarillado sanitario solo es factible en áreas densamente pobladas porque disminuye el costo unitario por vivienda. Aunque la mayoría de las alcantarillas públicas transportan solo pequeñas cantidades de aguas residuales, el costo de construcción es alto porque requieren una profundidad mínima para protegerlas de las cargas provenientes del tránsito (cobertura mínima de 1 m), una inclinación para asegurar la resuspensión y arrastre hidráulico del sedimento al final de la alcantarilla y un diámetro mínimo para evitar el bloqueo por materia fecal y otros sólidos (de preferencia 25 cm de diámetro). La velocidad necesaria de expulsión (mínimo de  $0,6 \text{ m s}^{-1}$  por lo menos una vez al día) se produce cuando la tasa de consumo en el área de drenaje excede los  $60 \text{ l cap}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ).

Para reducir los costos, el alcantarillado debe ser de diámetro más pequeño, estar instalado a una profundidad menor y tener una pendiente menos inclinada. Sin embargo, estas medidas requieren que los sólidos sedimentables sean retenidos en tanques sépticos antes de la descarga en el alcantarillado. Las alcantarillas de pequeño diámetro solo son eficientes en función de los costos cuando la localidad se responsabiliza por su mantenimiento. Ello exige un alto y sostenido nivel de participación comunitaria. Por último, el alcantarillado de pequeño diámetro puede descargar en el alcantarillado sanitario o en una planta de tratamiento municipal. Otra opción para las áreas llanas con suelos inestables y baja densidad de población, aunque no está considerada como una opción de "bajo costo", es la instalación de alcantarillado de pequeño diámetro de poca presión o al vacío.

En Brasil, Colombia, Egipto, Pakistán y Australia se ha tenido éxito con el alcantarillado de pequeño diámetro de bajo costo. En áreas con más de 200 habitantes por hectárea, estos sistemas tienden a ser más eficientes en función de los costos que el saneamiento in situ. La Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP, São Paulo, Brasil) calcula que el costo de construcción promedio (1988) para los pueblos pequeños varía entre 150 y 300 dólares americanos per cápita para el alcantarillado convencional y 80 y 150 dólares americanos per cápita para el alcantarillado simplificado de diámetro pequeño (Bakalian, 1994). Por lo general, en los países en vías de desarrollo, no se hace una remoción periódica ni adecuada del lodo de los tanques o fosos sépticos. Los ejemplos de Indonesia e India muestran que los

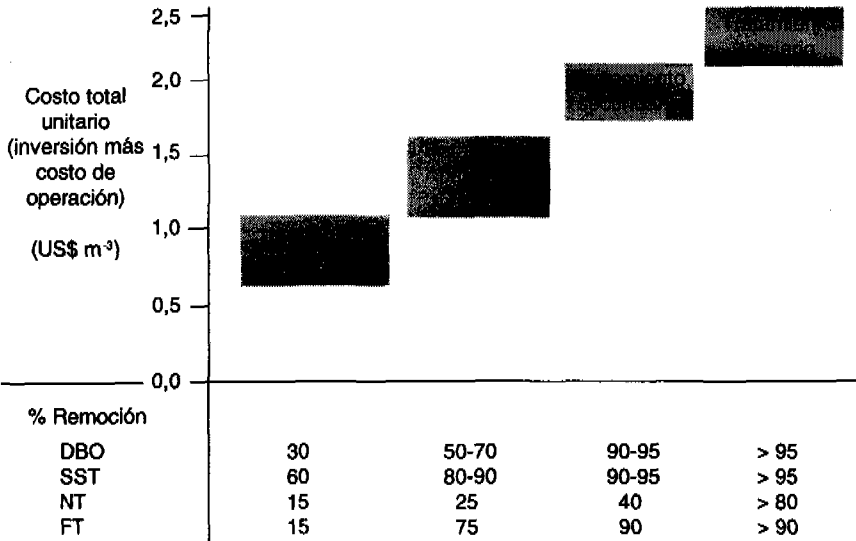
tanques sépticos que rebosan, algunas veces están conectados ilegalmente a drenajes abiertos o alcantarillado público y que durante la remoción del lodo solo se extrae el líquido y los sólidos permanecen en el tanque séptico. Por consiguiente, la implementación del alcantarillado de pequeño diámetro requiere una inversión sustancial para la comunidad a fin de evitar el colapso de esta tecnología.

### 3.6 Costos, operación y mantenimiento

Los costos de inversión cubren principalmente el costo del terreno, los cimientos, equipo electromecánico y la construcción. Los costos recurrentes están relacionados principalmente con el reembolso de los préstamos (de interés y capital), y los costos para las remuneraciones, energía, almacén, laboratorios, reparación y disposición de lodos. Ambos tipos de costo pueden variar considerablemente de un país a otro, así como de un período a otro. Todo análisis de factibilidad requiere tomar en cuenta el factor de descuento o actualización. Este factor depende de las tasas de interés e inflación y también está sujeto a fluctuaciones substanciales. Por lo tanto, es difícil comparar las distintas tecnologías y se requiere un análisis experto y extenso. Sin embargo, la figura 3.5 muestra costos comparativos típicos de los países industrializados para el tratamiento primario, secundario y terciario de aguas residuales domésticas. El cuadro 3.9 compara los costos unitarios de construcción para el saneamiento en y fuera del lugar para diferentes regiones del mundo.

La operación y mantenimiento constituye una parte esencial del manejo de aguas residuales e influye en la selección de tecnologías. Muchos proyectos de tratamiento de aguas residuales fracasan o funcionan mal después de la construcción debido a una operación y mantenimiento inadecuados. Anualmente, los gastos de operación y mantenimiento del tratamiento y recolección de aguas residuales se encuentran generalmente dentro del mismo orden de magnitud que la amortización de la inversión. La operación y mantenimiento requieren:

- Planificación exhaustiva y cuidadosa.
- Personal capacitado, calificado y dedicado a su trabajo.
- Un sistema amplio y operacional que proporcione repuestos e instalaciones de operación y mantenimiento.
- Un cronograma de mantenimiento y reparación, personal y facilidades.
- Una administración cuya finalidad sea asegurar un servicio confiable con interrupciones mínimas.
- Un presupuesto anual sustancial dedicado únicamente a la operación y mantenimiento, así como al mejoramiento del servicio.



**Figura 3.5** Costos totales unitarios promedio para el tratamiento de aguas residuales basados en la experiencia de Europa Occidental y Estados Unidos (Somlyody, 1993).

**Cuadro 3.9** Costo unitario de construcción promedio (US\$ cap<sup>-1</sup>) para la disposición de aguas residuales domésticas en diferentes regiones del mundo (valores medianos de promedios nacionales)

Región	Conexión al alcantarillado urbano	Saneamiento in situ en zonas rurales
África	120	22
Américas	120	25
Asia Sudoriental	152	11
Mediterráneo Oriental	360	73
Pacífico Occidental	600	39

Fuente: OMS, 1992

La política de mantenimiento puede ser correctiva, es decir, la reparación o acción correctiva se realiza al producirse una falla, pero esto conlleva a la interrupción del servicio, lo que genera descontento en los clientes. Idealmente, el mantenimiento debe ser preventivo. Es decir, se reemplazan las partes mecánicas al final del ciclo de vida previsto. Esto permite preparar presupuestos óptimos y cronogramas de mantenimiento con una repercusión mínima sobre

la calidad del servicio. En resumen, los requisitos de la O&M son factores importantes para seleccionar una tecnología y el diseño de los procesos debe proporcionar una operación y mantenimiento óptimos y de bajo costo.

Por lo general, las fallas en la operación y mantenimiento son consecuencia de presupuestos insuficientes debido a la baja recuperación de costos, escasa planificación de las actividades de servicio y reparación, manejo inadecuado de los repuestos y falta de capacitación del personal de operación.

### **3.7 Selección de la tecnología**

El proceso de selección de tecnologías implica el aprovechamiento óptimo de múltiples criterios, incluidos los factores tecnológicos, logísticos, ambientales, financieros e institucionales en un horizonte de planificación de 10 a 20 años. Los factores claves son:

- El tamaño de la comunidad que se va a cubrir (incluidos los equivalentes industriales).
- Las características del sistema de alcantarillado (combinado, separado, de pequeño diámetro).
- La generación de aguas residuales (doméstica, industrial, pluvial y por infiltración)
- Las futuras oportunidades para minimizar las cargas de contaminación.
- Las normas de descarga para efluentes tratados.
- La disponibilidad de la capacidad local para el diseño, construcción, operación y mantenimiento.
- Condiciones ambientales, tales como la disponibilidad de terreno, geografía y clima.

Las consideraciones para seleccionar tecnologías industriales tienden a ser relativamente directas porque los factores que interfieren en la selección se relacionan principalmente con el desempeño previsto y potencial de expansión. Ambos están directamente relacionados con los costos.

#### **3.7.1 Tecnologías de saneamiento in situ**

Para las aguas residuales domésticas, la idoneidad de las distintas tecnologías de saneamiento debe estar relacionada con el tipo de comunidad, es decir si es un pueblo pequeño, o un área rural o urbana (cuadro 3.10). Por lo general, en las áreas rurales y periurbanas de bajos ingresos los sistemas de saneamiento in situ son los más apropiados porque:

- Son de bajo costo (debido a que no se requiere alcantarillado).
- La construcción, reparación y operación pueden ser realizadas por la comunidad o el propietario del terreno.

**Cuadro 3.10** Opciones comunes de saneamiento para áreas rurales, pueblos pequeños y áreas urbanas residenciales

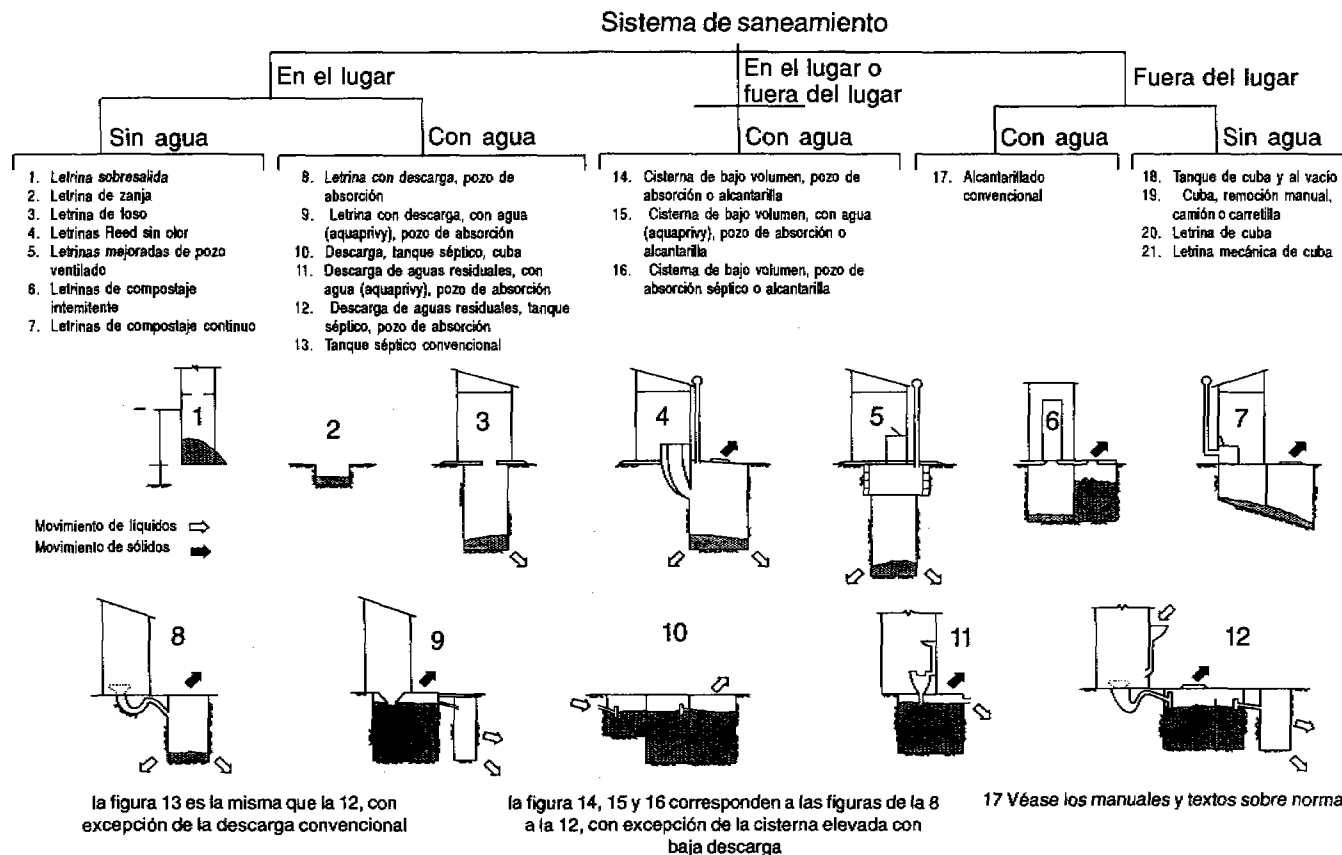
	Área rural	Pueblo	Área urbana
Tamaño de la comunidad	< 10.000 pe	10.000-50.000 pe	> 50.000 pe
Densidad (habitantes por hectárea)	< 100	> 100 - < 200	> 200
Servicio de abastecimiento de agua	Pozo, bomba de mano	Fuente pública	Conexión domiciliaria
Consumo de agua	< 50 l cap <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	50-100 l cap <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	> 100 l cap <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>
Producción de aguas residuales	< 5 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	5-20 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	> 20 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>
Opciones de tratamiento	Saneamiento in situ sin arrastre hidráulico; por LMV o letrinas de compostificación	Saneamiento in situ sin o con arrastre hidráulico; el alcantarillado de pequeño diámetro puede ser viable según la densidad de la población y las condiciones del suelo	Centro: alcantarillado más tratamiento fuera del lugar. Periurbano: saneamiento con arrastre hidráulico in situ con alcantarillado de pequeño diámetro y manejo de aguas de tanques sépticos

**LMV** Letrinas mejoradas de pozo ventilado

■ Reducen de manera efectiva los problemas de salud pública más urgentes. Además, muchas veces el nivel de consumo de agua es tan bajo que no se justifica el alcantarillado convencional.

El saneamiento in situ implica que las aguas negras del inodoro se descargan en letrinas, fosos o tanques sépticos (figura 3.6) y que el efluente se infiltra en el suelo o fluye por el sistema de drenaje. Las aguas grises pueden infiltrarse directamente o pueden fluir por canales de drenaje o quebradas debido al bajo contenido de sólidos suspendidos y patógenos. Los sólidos que se acumulan en la letrina o tanque (aproximadamente 40 l cap<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) deben ser removidos periódicamente o se debe cavar una nueva letrina (de doble fosa). Es posible que el lodo se estabilice o no, dependiendo del sistema. El lodo puede ser considerado libre de patógenos después de un tiempo mínimo de retención de sólidos de seis meses y puede ser usado en la agricultura como fertilizante o mejorador de suelos. La digestión del lodo puede llevarse a cabo por varios meses en la segunda fosa o tanque, mientras se llena la primera fosa o tanque.

Los residuos que se acumulan en los tanques sépticos se deben recolectar y descargar periódicamente. Después del secado y descarga en lagunas o lechos de secado, pueden ser dispuestos en un relleno o compostificados con residuos



**Figura 3.6** Clasificación de los sistemas de saneamiento in situ y fuera del lugar (de acuerdo con la densidad de la población) y del saneamiento con y sin arrastre hidráulico (basado en el abastecimiento de agua) (Kalbermatten y otros, 1980).



domésticos. El reúso en la agricultura solo es factible después de la remoción adecuada de patógenos y cuando las aguas de los tanques sépticos no están contaminadas con metales pesados. Otra alternativa es disponer el contenido de los tanques sépticos en una planta de tratamiento de aguas residuales o puede estabilizarse y remover los patógenos si se agrega cal (hasta alcanzar  $\text{pH} > 10$ ) o por aeración prolongada. Sin embargo, estos dos últimos métodos son costosos.

### 3.7.2 Opciones de saneamiento in situ comparado con las opciones fuera del lugar

En las zonas urbanas densamente pobladas la generación de aguas residuales puede exceder la capacidad local de infiltración. Además, el riesgo de contaminación de aguas subterráneas y desestabilización de los suelos muchas veces requiere el alcantarillado para evacuar las aguas fuera del área. Si la tasa de carga superficial es mayor de  $50 \text{ mm d}^{-1}$  y el flujo de aguas subterráneas no saturadas está a menos de 2 mm, se puede producir nitratos y, en un período posterior, contaminación por coliformes fecales (Lewis y otros, 1980).

El costo unitario del saneamiento fuera del lugar disminuye significativamente con el aumento de la población, sin embargo, proveer alcantarillado a una ciudad completa suele resultar muy costoso. En las ciudades donde no se coordina la planificación urbana, la implementación de una combinación equilibrada de saneamiento in situ y fuera del lugar es más eficiente en función de los costos. Por ejemplo, en América Latina la población para la cual el alcantarillado de pequeño diámetro sería competitivo con el saneamiento in situ es de aproximadamente 200 habitantes por hectárea (Sinnatamby y otros, 1986). El factor decisivo en estos cálculos es el costo del sistema de recolección y conducción.

El recuadro 3.3 ofrece una guía para la toma de decisión preliminar con respecto al saneamiento in situ o fuera del lugar. Donde hay una alta producción de aguas residuales por hectárea al día, se requiere de alcantarillado para transportar solamente líquidos (en el caso de alcantarillado de pequeño diámetro) o líquidos y sólidos suspendidos (en el caso de alcantarillado convencional). Algunos parámetros adicionales son: la necesidad de proteger los pozos poco profundos utilizados para el abastecimiento de agua, la densidad de la población, la permeabilidad del suelo y el costo unitario. Para minimizar la contaminación de las aguas subterráneas, se recomienda una tasa promedio de carga superficial de  $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  (Lewis y otros, 1980), siempre que los niveles freáticos aseguren al menos 2 m de flujo no saturado en dirección vertical.

Cuando la tasa de producción de aguas residuales excede los  $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , el alcantarillado sanitario convencional es factible para el manejo de aguas residuales municipales, con o sin aguas pluviales. Los estudios indican que cuando hay 200 a 300 habitantes por hectárea, el alcantarillado por gravedad se torna económicamente factible en los países en vías de desarrollo. En los países industrializados, la densidad de población equivalente es aproximadamente de 50 habitantes por hectárea.

Cuando no es necesario proteger las aguas subterráneas, la tasa de infiltración puede exceder los  $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , siempre que la permeabilidad y estabilidad del suelo lo permitan. Si la permeabilidad del suelo es baja, se debe considerar el saneamiento fuera del lugar. La viabilidad del alcantarillado de pequeño diámetro depende de las condiciones socioeconómicas y del grado de participación comunitaria que se pueda lograr. En tales casos se debe proveer drenaje de aguas de lluvia.

Además de los criterios técnicos, logísticos y financieros, el funcionamiento sostenible del sistema requiere la gestión fiable de una entidad local o estatal municipal. La mayoría de las tecnologías de tratamiento fuera del lugar se benefician de las economías de escala, aunque las tecnologías anaerobias tienden a disminuir en el nivel local o pueblos sin que el costo unitario aumente significativamente. Esto hace que las tecnologías anaerobias sean apropiadas para comunidades urbanas (Alaerts y otros, 1990). Esta opción de "saneamiento in situ" puede estimular una operación más disciplinada y remoción de lodos comparada con el bajo rendimiento de las unidades individuales. Además tiene la ventaja de que puede ser manejada por un comité local y operadores semicalificados.

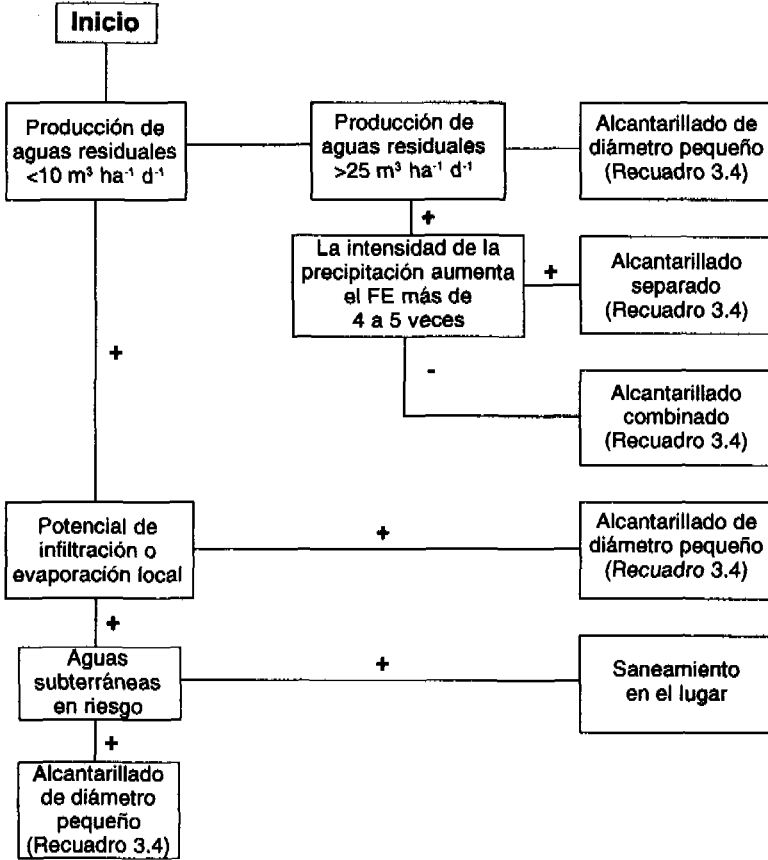
### **3.7.3 Tecnologías de tratamiento centralizado fuera del lugar**

Existe una gran variedad de tecnologías de tratamiento fuera del lugar. La selección de la tecnología más apropiada se determina por la composición de las aguas residuales que llegan a la planta de tratamiento y por los requisitos de descarga.

Para evaluar la composición y comportamiento previstos de las aguas residuales que se van a tratar se debe formular las siguientes preguntas:

- ¿En qué medida se incluyen las aguas residuales industriales?
- ¿El alcantarillado será separado, combinado o de diámetro pequeño?
- ¿Se prevé que las aguas subterráneas se infiltren en el alcantarillado?
- ¿Los tanques sépticos remueven los sólidos sedimentables antes de descargarlos en el sistema de conducción?
- ¿Cuál es el modelo específico de consumo de agua y de alimentos?
- ¿Cuál es la calidad del agua potable?

**Recuadro 3.3** Evaluación preliminar para el saneamiento en el lugar, alcantarillado intermedio de diámetro pequeño o alcantarillado convencional fuera del lugar para la disposición de aguas residuales municipales



- No válido  
Producción de aguas residuales  
Infiltración local

Aguas subterráneas en riesgo

+ Válido FE flujo de estiaje ( $m^3 d^{-1}$ )  
densidad de la población ( $pe ha^{-1}$ ) x producción específica de aguas residuales (PAR) ( $1 pe^{-1} d^{-1}$ )  
área de infiltración disponible ( $m^2 ha^{-1}$ ) x potencial aplicable a largo plazo (PLP): tasa de infiltración ( $m^3 m^{-2} d^{-1}$ ); PLP al menos igual a la PAR.

Esto puede ocurrir cuando: la profundidad de la zona no saturada es inferior a 2 m, la carga hidráulica excede los  $50 mm d^{-1}$ , o los pozos superficiales para el abastecimiento de agua potable se encuentran a una distancia (en metros) de 10 veces la velocidad horizontal del flujo de las aguas subterráneas ( $m d^{-1}$ )

Cada planta de tratamiento realiza procesos y operaciones unitarias que permiten que la calidad del efluente cumpla los criterios establecidos por el organismo regulador. Por consiguiente, el primer paso cuando se selecciona una tecnología es desarrollar un diagrama de flujo completo donde todos los procesos y operaciones unitarias se presenten de manera lógica. Por lo general, los sistemas de tratamiento están compuestos por un tratamiento primario, generalmente seguido por una fase secundaria y, en algunos casos, de una fase de tratamiento terciario o avanzado. El cuadro 3.7 resume el funcionamiento potencial de las tecnologías comunes que pueden aplicarse en el tratamiento de aguas residuales.

### *Tratamiento primario*

En la mayoría de las plantas de tratamiento, el tratamiento primario mecánico precede al tratamiento biológico o fisicoquímico y se usa para remover arena, grava, fibras, objetos flotantes y otros que pueden obstruir las fases posteriores del tratamiento. En particular, la grava y la arena transportadas por el alcantarillado combinado pueden sedimentarse, bloquear los canales y ocupar espacio en el reactor. Se puede diseñar instalaciones adicionales para regular los flujos pico. Principalmente por la sedimentación y a un costo moderado se remueve aproximadamente 50 a 75% del material en suspensión, 30 a 50% de la DBO y 15 a 25% de nitrógeno Kjeldahl y el P total. Los tanques de sedimentación que incluyen instalaciones para la retención de lodos o sólidos pueden facilitar la estabilización del lodo y, en consecuencia, son convenientes para comunidades pequeñas.

Los procesos fisicoquímicos pueden ser incorporados en la etapa de tratamiento primario para mejorar aún más la eficiencia de la remoción, neutralizar el pH o remover cualquier compuesto tóxico o inhibitorio que pueda afectar el funcionamiento de las siguientes etapas del tratamiento. Por lo general en la floculación se utiliza aluminio o sales de hierro. Este tratamiento primario mejorado es comparativamente económico en función de la inversión de capital pero los costos de operación son elevados porque requiere productos químicos y por la producción adicional de lodos. Este enfoque es atractivo cuando se necesita ampliar la capacidad de la planta debido a una sobrecarga temporal (por ejemplo, estacional).

### *Tratamiento secundario*

La tecnología más utilizada en el tratamiento secundario de aguas residuales depende de la conversión microbiológica de las sustancias que consumen oxígeno, tales como la materia orgánica representada como DBO o DQO, y el

**Cuadro 3.11** Clasificación de la tecnología de tratamiento secundario

Método de conversión	Tecnología mecanizada	Tecnología no mecanizada
Aerobio	Lodos activados	Lagunas de estabilización facultativas
	Filtro de percolación	Lagunas de maduración
	Contactores biológicos rotatorios	Acuicultura (por ejemplo, algas, lentejas de agua o peces) Biofiltros (pantanos construidos)
Anaerobio	Reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA)	Lagunas anaerobias
	Filtro anaerobio (ascendente)	

nitrógeno Kjeldahl. Las tecnologías pueden clasificarse principalmente como aerobias o anaerobias según requieran o no oxígeno para su desempeño, o como mecanizadas o no mecanizadas según tengan o no equipo. El cuadro 3.11 es una matriz que clasifica las tecnologías de tratamiento microbiológico disponibles. En Metcalf y Eddy (1991) y Arceivala (1986) se puede encontrar información más detallada.

Para seleccionar entre tecnologías aerobias y anaerobias se debe considerar principalmente la complejidad del suministro de oxígeno que requieren las tecnologías aerobias. El suministro de grandes cantidades de oxígeno mediante un sistema de aeración superficial o la dispersión por burbujas incrementa sustancialmente el costo del equipo de aeración y el costo de operación porque el consumo anual de energía (que puede alcanzar 30 kWh por población equivalente (pe) es bastante alto).

La elección entre tecnologías mecanizadas y no mecanizadas se basa en la infraestructura disponible en el nivel local o nacional para asegurar la mano de obra calificada, producción local, operación y reparación del equipo y confiabilidad del suministro (energía, insumos químicos, repuestos). Algunas consideraciones importantes son los requerimientos de terreno y el potencial para la recuperación de la biomasa. En general, las tecnologías no mecanizadas dependen de un mayor tiempo de retención para obtener un alto grado de remoción del contaminante, mientras que las mecanizadas utilizan equipo para acelerar el proceso de conversión. Si el terreno cuesta más de \$20 por m<sup>2</sup>, los sistemas no mecanizados pierden su ventaja competitiva sobre los sistemas mecanizados. La recuperación de recursos es posible cuando, por ejemplo, la biomasa generada de algas o macrofitas se puede comercializar y genera ingresos

**Cuadro 3.12** Ventajas y desventajas del tratamiento fisicoquímico de aguas residuales domésticas o municipales

Ventajas	Desventajas
Tecnología compacta con requerimiento de poco terreno	La dosificación química requiere mano de obra intensiva debido a fluctuaciones de la carga y composición de las aguas residuales
Alta remoción de microcontaminantes y P	Generación de lodos con sustancias químicas
Inicio rápido	Alto costo unitario por m <sup>3</sup> de agua tratada
Insensible a compuestos tóxicos	

y empleo. Por ejemplo, las zonas pantanosas sembradas con *Cyperus papyrus* (que actúan como biofiltros) pueden generar entre 40 y 50 toneladas de biomasa permanente por hectárea al año, la cual puede usarse en actividades artesanales.

Para las aguas residuales no biodegradables (principalmente industriales) se han desarrollado alternativas que dependen de la remoción fisicoquímica de los contaminantes por coagulación y floculación química. Por lo general, los lodos generados están altamente contaminados, no tienen potencial de reúso y deben disponerse en rellenos sanitarios.

En resumen, el proceso para seleccionar la tecnología secundaria más apropiada debe decidirse mediante un análisis de criterios múltiples. Además de los costos unitarios generales se deben evaluar los riesgos de salud y estéticos implicados, las normas de calidad establecidas, los requerimientos de personal capacitado, de terreno y el potencial de recuperación mediante la tecnología para obtener un resultado total que indique la confiabilidad de cada tecnología para un país o ubicación específica (Handa y otros, 1990).

*Tratamiento fisicoquímico.* Las tecnologías fisicoquímicas pueden lograr una reducción significativa de la DBO, P y sólidos suspendidos, aunque generalmente no es la opción preferente para las aguas residuales domésticas debido a que en este caso se busca tasas de remoción más altas (cuadro 3.12). Por lo general se utiliza en el tratamiento de aguas residuales industriales para remover contaminantes específicos o reducir la carga en bruto de los contaminantes del alcantarillado municipal. El tratamiento fisicoquímico también puede combinarse con el tratamiento primario para mejorar los procesos de remoción y reducir la carga en la etapa posterior del tratamiento secundario. En el caso de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica, como las aguas residuales domésticas, por lo general se prefieren los métodos

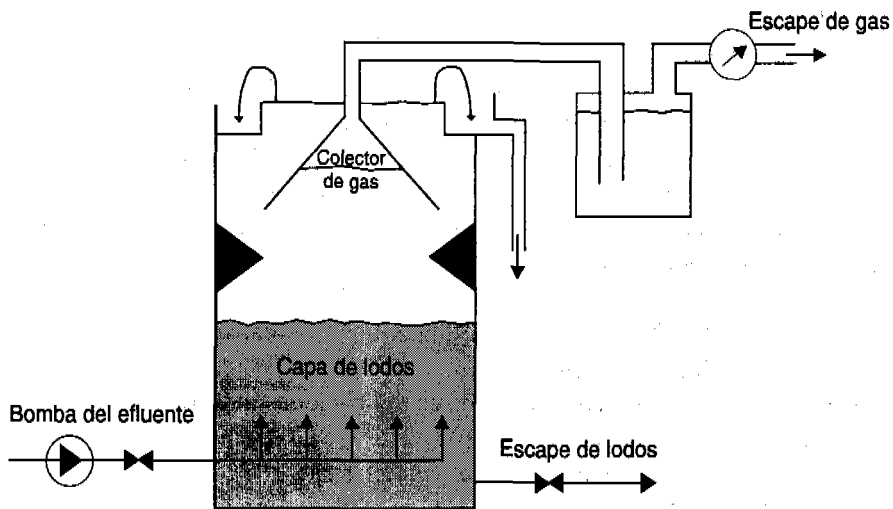
microbiológicos porque sus costos operacionales son menores y logran una reducción mayor de la DBO.

La capacidad necesaria para operar el equipo de dosificación química y la dificultad para asegurar la provisión confiable de sustancias químicas muchas veces obstaculizan la selección de tecnologías fisicoquímicas en los países en vías de desarrollo, donde los sistemas tienen una mayor tendencia a funcionar mal. En particular, las fluctuaciones en el flujo y composición de las aguas residuales hacen que sea necesario realizar ajustes frecuentes en la dosificación. Los sistemas de tratamiento biológico son más resistentes y aseguran una calidad constante del efluente debido a que tienen una alta capacidad interna para amortiguar los flujos y cargas pico.

Los procesos fisicoquímicos utilizados en aplicaciones industriales incluyen:

- Oxidación química con, por ejemplo,  $O_2$ ,  $O_3$  o  $Cl_2$  (remoción de cianuro y oxidación de compuestos orgánicos refractarios)
- Reducción química (por ejemplo, el  $H_2S$  ayudó a convertir el Cr (VI) en Cr (III)).
- Desorción (agotamiento) (remoción del  $NH_3$  y de gases olorosos).
- Adsorción con el carbón activado (remoción de sustancias orgánicas refractarias y metales pesados).
- Ultra y microfiltración (separación de compuestos coloidales y disueltos).

*Tratamiento anaerobio.* Los métodos de tratamiento aerobio son los que prevalecen en el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. Sin embargo, desde los años setenta, el tratamiento anaerobio se ha convertido en la tecnología predilecta para tratar aguas residuales orgánicas concentradas provenientes de cervecerías, destilerías de alcohol, industrias de fermentación, fábricas de envasado, de pulpa y papel (Hulshoff Pol y Lettinga, 1986). La principal característica de los procesos anaerobios es la degradación de los contaminantes orgánicos debido a la ausencia de oxígeno. Las bacterias producen considerables cantidades de gas metano. Además, el proceso continúa funcionando con tasas excepcionalmente altas de descarga hidráulica. Entre las diversas alternativas de diseño, los reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA) son el tratamiento de efluentes industriales más eficientes en función de los costos (figura 3.7). El reactor tiene un volumen vacío cubierto por una zona de placas de sedimentación para retener y reciclar la materia en suspensión que sale de la capa de lodo subyacente. El agua fluye hacia arriba por una capa de gránulos o flocúlos en suspensión que contienen biomasa activa. El metano y las burbujas de  $CO_2$  son retenidas debajo de las placas de sedimentación y retiradas del reactor en forma separada.



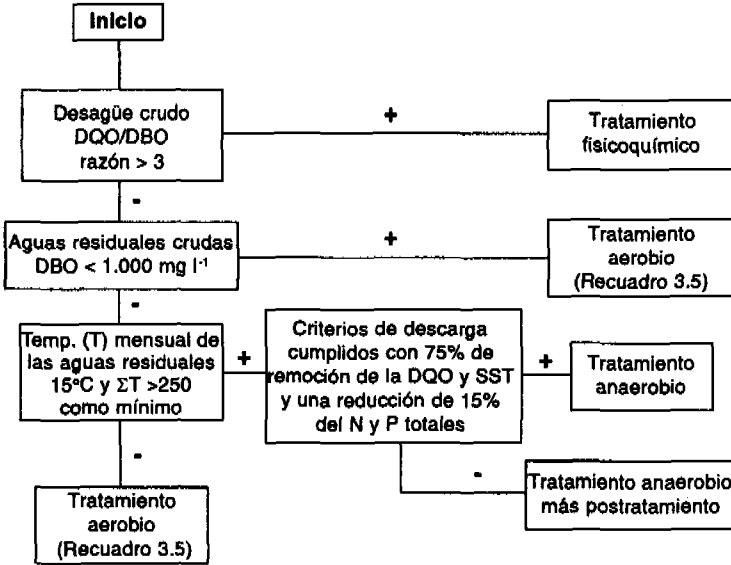
**Figura 3.7** Esquema de un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA)

Más de 400 plantas anaerobias en todo el mundo tratan efluentes industriales mientras que la experiencia operacional con aguas residuales domésticas se reduce a aproximadamente 10 plantas (RAFA) a escala completa (20.000 a 200.000 pe) en Colombia, Brasil e India (Alaerts y otros, 1990; Draaijer y otros, 1992; Schellinkhout y Collazos, 1992; van Haandel y Lettinga, 1994). Si bien el proceso aerobio logra entre 90 y 95% de remoción de la DBO, el proceso anaerobio logra solo entre 75 y 85% y, en la mayoría de los casos, requiere postratamiento para cumplir las normas del efluente. El tratamiento anaerobio proporciona una remoción mínima de N y P pero genera lodo en menor cantidad y mejor estabilizado. La recuperación de biogás solo es factible a gran escala o en un contexto industrial. Muchos países tropicales en vías de desarrollo podrían preferir recurrir a procesos anaerobios debido al gran número de agroindustrias y (por lo general) altas temperaturas de las aguas residuales domésticas.

La elección entre el tratamiento aerobio y anaerobio depende principalmente de las características de las aguas residuales (recuadro 3.4). Si la temperatura promedio de las aguas residuales es superior a 20 °C (con un mínimo de 18 °C en un periodo máximo de 2 meses) y es altamente biodegradable (tasa de DQO:DBO inferior a 2,5) y concentrado (por lo general DBO > 1.000 mg<sup>-1</sup>), el tratamiento anaerobio tiene ventajas económicas claras. Si no se cumple ninguna de las condiciones, la única opción es el tratamiento aerobio. Cuando solo se cumple una condición, la elección se determina por consideraciones tales como:



**Recuadro 3.4** Pasos para decidir entre las tecnologías de tratamiento fisicoquímico, aerobio y anaerobio para el tratamiento secundario



ST Total del promedio mensual de las temperaturas de aguas residuales (en °C)

N total Contenido total de nitrógeno en el efluente tratado (mg N l<sup>-1</sup>)

P total Contenido total de fósforo en el efluente tratado (mg P l<sup>-1</sup>)

- Calidad deseada del efluente: las tecnologías anaerobias son menos eficientes para la remoción. La presencia en el efluente de DBO residual, amonio y, en algunos casos, sulfuro pueden necesitar postratamiento.
- Manejo y disposición de lodos: la cantidad de lodo en el tratamiento anaerobio es menos de la mitad del producido en las plantas de tratamiento aerobio y, como ya está estabilizado, su proceso posterior es más fácil.
- Uso de efluentes: el tratamiento anaerobio retiene más nutrientes (N, P, K) y, por lo tanto, el efluente tiene un mayor potencial de uso en el riego.
- Confiabilidad en el suministro de energía: el funcionamiento del tratamiento aerobio depende en gran medida del suministro de energía para la aeración y mezcla. La interrupción de energía eléctrica puede hacer que las plantas aerobias funcionen mal rápidamente, mientras que los sistemas anaerobios son bastante resistentes a períodos en los que no hay suministro de energía.

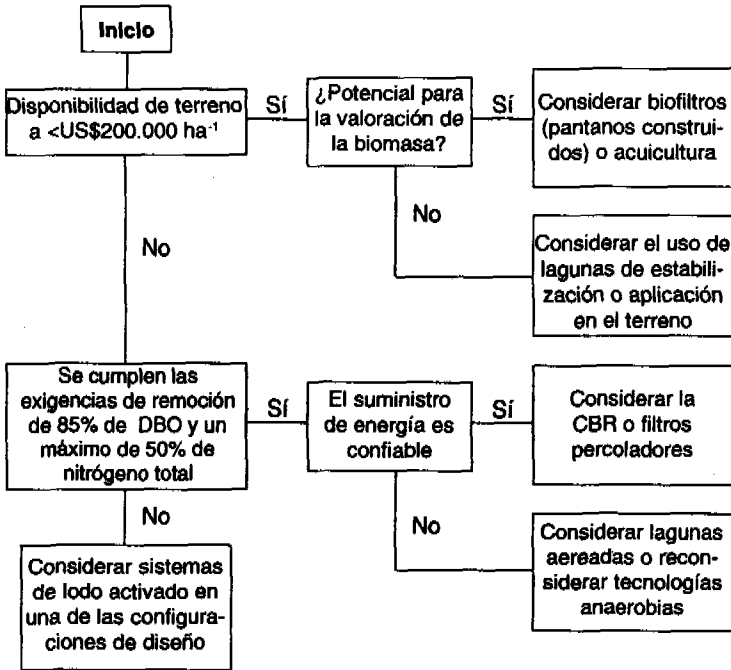
- Venta potencial de biogás.

Cuando el efluente debe cumplir normas estrictas y el costo del terreno es de moderado a alto, la combinación de una planta RAFA con postratamiento aerobio es muchas veces más eficiente en función de los costos que el tratamiento aerobio convencional.

*Tratamiento no mecanizado.* La disponibilidad de un terreno llano es un criterio decisivo para seleccionar entre tecnologías no mecanizadas y mecanizadas (recuadro 3.5). Los sistemas que requieren gran extensión de terrenos, tales como las lagunas de estabilización, acuicultura, piscicultura y biofiltros (pantanos construidos), son viables solo cuando los costos del terreno son inferiores a US\$5 por m<sup>2</sup>. Por lo general, tales sistemas requieren entre 5 y 10 m<sup>2</sup> por población equivalente y normalmente no exigen gran operación ni mantenimiento, siempre y cuando las aguas residuales sean de origen doméstico. El tratamiento que requiere una gran extensión de terreno puede, principalmente en los países en vías de desarrollo, encajar mejor en un esquema de recuperación de recursos, ya que la biomasa producida algunas veces puede ser recolectada y usada para generar ingresos. En todo el mundo se usan lagunas de estabilización con alta producción de biomasa para el tratamiento de aguas residuales o para el tratamiento adicional del efluente parcialmente tratado, a pesar de que algunas veces presentan sulfuro o amonio y un contenido comparativamente alto de sólidos en suspensión. Tales lagunas se caracterizan de acuerdo con su finalidad y dimensiones (cuadro 3.13). En la operación de las lagunas de estabilización no es necesario retener la biomasa activa y el oxígeno es provisto por la fotosíntesis de las algas presentes en las lagunas mediante la re-aeración del viento.

En los biofiltros (pantanos construidos) y en la acuicultura crecen macrofitas que disminuyen el crecimiento de algas porque interfieren el paso de la luz, absorben nutrientes y facilitan el transporte del oxígeno al agua. Principalmente las lentejas de agua (*Lemnaceae*) son beneficiosas para la acuicultura porque crece en abundancia y pueden cosecharse fácilmente. En los biofiltros (pantanos construidos), las aguas residuales fluyen horizontal o verticalmente a través de la zona de la raíz de un suelo permeable cultivado. Las plantas, cuando se cultivan regularmente, reducen los nutrientes mediante la absorción y asimilación de N y P. Es importante considerar que también crean nichos para bacterias que reducen la DBO y mejoran la nitrificación, desnitrificación y fijación del P. Así mismo, proveen nichos para organismos depredadores que contribuyen a la remoción de agentes patógenos. Tales biofiltros (pantanos construidos) son provechosos para realizar operaciones de pequeña escala en

**Recuadro 3.5 Pasos en la selección del tratamiento natural o mecanizado de aguas residuales**



**CBR** Contactores biológicos rotatorios (sistema de discos biológicos)

Según estudios realizados por asesores, si el costo del terreno de US\$20 por m<sup>2</sup>, el costo anual total para los sistemas de tratamiento de aguas residuales reducirá su viabilidad frente a las tecnologías de tratamiento mecanizadas. El costo elevado de la adquisición de tierras se compensará totalmente con el ahorro logrado al prescindir de equipo mecánico. (Taller del Banco Mundial realizado en diciembre de 1993).

Las tecnologías de tratamiento natural incluyen lagunas de estabilización, zonas pantanosas construidas y sistemas de acuicultura.

zonas tropicales, aunque este enfoque todavía no se ha demostrado a escala completa. En las lagunas de estabilización también se puede criar peces para controlar el crecimiento de algas, pero su consumo puede presentar riesgos para la salud pública. En China, Indonesia y otros países asiáticos se aplica la piscicultura en aguas residuales en pequeña escala; las aplicaciones en gran escala se pueden encontrar en Calcuta y Munich, entre otros lugares.

**Cuadro 3.13 Rasgos típicos de las lagunas de estabilización**

Rasgo típico	Laguna anaerobia	Laguna facultativa	Laguna de maduración
Objetivo	Remoción del SST	Remoción de la DBO	Remoción de nutrientes y patógenos
Tasa de descarga	0,1-0,3 kg DBO m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	100 a 350 kg DBO ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	Dos lagunas en serie de cinco días de retención para cada una como mínimo
Profundidad típica	2-5 m	1 a 2 m	1 a 1,5 m
Funcionamiento	SST: 50 a 70 % DBO: 30 a 60 % Coliformes: 1 orden de magnitud	SST: aumento DBO: 50 a 70 % Coliformes: 1 a 2 órdenes de magnitud	SST: 20 a 30 % DBO: 20 a 50 % Coliformes: 3 a 4 órdenes de magnitud
Problemas	Malos olores	Aumento de los SST de las algas	Requisitos de área

SST Sólidos en suspensión totales

DBO Demanda bioquímica de oxígeno

*Tratamiento aerobio mecanizado.* Cuando el terreno llano es escaso o costoso y las tecnologías anaerobias no son factibles, la única opción es utilizar tecnologías convencionales aerobias mecanizadas. Actualmente, la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales de todo el mundo son de este tipo, pero no son apropiadas para áreas de bajos recursos. Pueden clasificarse según el método de retención de lodos, es decir, en reactores de capas biológicas fijas o de crecimiento suspendido con reciclaje de lodos. En los reactores con capas biológicas, los microorganismos se inmovilizan al adherirse a un soporte inerte (por ejemplo, piedras de lava, anillos de plástico o discos biológicos) y están en contacto con las aguas residuales y el aire que circula por los poros abiertos. En los sistemas de crecimiento suspendido, los microorganismos y las aguas residuales están en contacto a través de la mezcla mecánica que también asegura la aeración.

Los reactores de capas biológicas retienen mejor la biomasa que los reactores de crecimiento suspendido y, por consiguiente, pueden manejar mejor las fluctuaciones hidráulicas y bajas concentraciones de la DBO. Sin embargo, el control operacional de los reactores de capas biológicas es bastante limitado. En cambio, los reactores de crecimiento suspendido permiten un mejor control y, por lo general, producen un efluente de alta calidad.

Los sistemas típicos de crecimiento suspendido son los lodos activados y la aeración prolongada; el filtro percolador y los contactores biológicos rotatorios se basan en sistemas de capas biológicas. Estos sistemas requieren menos de

**Cuadro 3.14** Normas de la Comunidad Europea para aguas residuales descargadas en masas de aguas superficiales sensibles basadas en la composición de las aguas residuales crudas

Variable	Composición de aguas residuales crudas	Norma de la CE	Porcentaje de remoción (%)
DBO <sub>5</sub> (mg l <sup>-1</sup> )	250	25	90
N total (mg l <sup>-1</sup> )	48	10	80
P total (mg l <sup>-1</sup> )	12	1	90

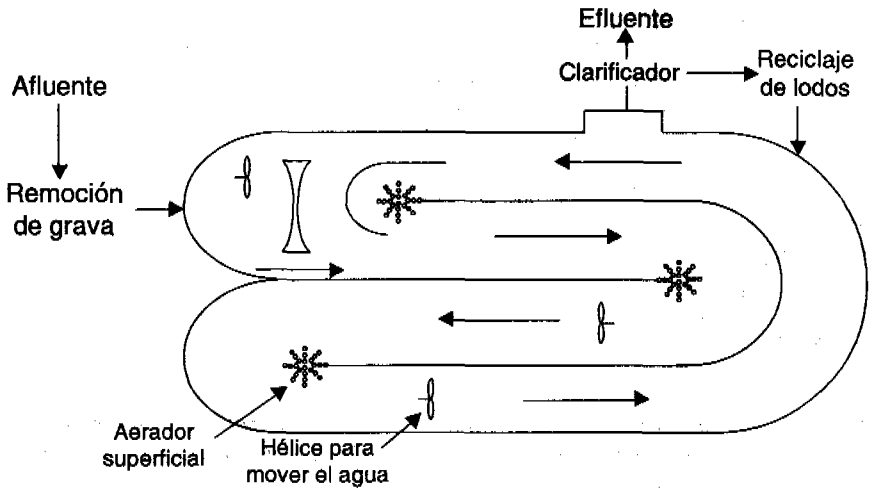
Fuente: CCE, 1991

**Cuadro 3.15** Análisis comparativo del funcionamiento del filtro percolador y el proceso de lodos activados para el tratamiento secundario de aguas residuales

Parámetro	Filtro percolador	Lodos activados
Remoción de la DBO (%) <sup>1</sup>	80-90	90-98
Remoción del nitrógeno Kjeldhal (%)	60-85	80-95
Remoción del N total (%)	20-45	65-90
Energía requerida (kWh cap <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	10-15	20-30
Requisito de operación y mantenimiento	Promedio	Alto
Remoción de patógenos	1 a 2 órdenes de magnitud	1 a 2 órdenes de magnitud

<sup>1</sup> No incluye la remoción de la DBO en las etapas de tratamiento primario

1 m<sup>2</sup> pe<sup>-1</sup> pero, dependiendo de la situación, necesitan más espacio que las tecnologías anaerobias. El sistema más aplicado, en sus diversos diseños, es el de lodos activados por su flexibilidad operacional, confiabilidad y gran resistencia. Otra ventaja es que permite tener varios procesos integrados en el sistema, tales como la oxidación de carbono, nitrificación, desnitrificación y remoción del P biológico. Esta es una gran ventaja para lograr efluentes de alta calidad que cumplan las normas de la Unión Europea (UE) (cuadro 3.14). Aunque los filtros percoladores son técnicamente factibles y atractivos porque son fáciles de operar y consumen menos energía, por lo general tienen una eficiencia de remoción inferior de la DBO y SST, son sensibles a temperaturas bajas y pueden estar infestados con moscas y mosquitos. Su remoción de N y P es demasiado baja para justificar su aplicación en países que establecen normas estrictas sobre la calidad del efluente (cuadro 3.15). Los contactores biológicos



**Figura 3.8** Novedosa configuración de carrusel de la zanja de oxidación, sistema de lodos activados para lograr un efluente con niveles bajos de N y P totales

rotatorios no se usan mucho debido a su baja flexibilidad operacional, problemas mecánicos potenciales y porque muchas veces es difícil desarrollar capas biológicas.

Un diseño característico de procesos de lodos activados que se está haciendo cada vez más popular en varios países industrializados es la zanja de oxidación. La carga baja de lodo (kg de DBO por kg de biomasa por día) asegura en un solo reactor la remoción de la DBO, nitrificación avanzada, desnitrificación sustancial, remoción del P biológico y la generación moderada de lodos bien estabilizados. Este diseño permite inclusive prescindir del tratamiento primario. El carrusel es una versión modificada de la zanja de oxidación con mayor capacidad (Figura 3.8).

Cuando la remoción de agentes patógenos es esencial, solo los sistemas no mecanizados con una retención hidráulica mayor de 20 a 30 días pueden remover coliformes fecales o huevos de nematodos para cumplir la norma estándar establecida por la OMS (OMS, 1989). Todos los sistemas de tratamiento mecanizados necesitan adicionalmente desinfección con cloro u otros oxidantes químicos o con rayos ultravioletas, lo cual incrementa el costo y complejidad operacional del tratamiento y eventualmente puede reducir la confiabilidad de la planta de tratamiento para proporcionar efluentes seguros.

### 3.8 Conclusiones y recomendaciones

En todos los países se está reconsiderando la actitud hacia el manejo sostenible de los recursos hídricos para el futuro. Se resalta, cada vez con mayor énfasis, la conservación de los recursos hídricos (en lo que se refiere a cantidad y calidad) para tratar el problema previsto de la escasez cada vez mayor de recursos hídricos en muchas partes del mundo. La conservación del agua es necesaria para satisfacer la creciente demanda doméstica, industrial y agrícola. La extrapolación de las crecientes tasas de consumo de agua durante los últimos diez años hace prever que habrá gran escasez en muchas partes del mundo, principalmente en las regiones áridas y semiáridas.

Es probable que en el futuro, para solucionar los problemas sanitarios ocasionados por los residuos humanos e industriales, principalmente en las áreas urbanas se tengan limitaciones para el uso de tecnologías que requieran el consumo de agua y el alcantarillado convencional para acarrear los residuos lejos de donde se generaron. Las tecnologías de ahorro, reciclaje y reúso del agua predominarán en el futuro y las políticas de control de la contaminación tendrán un giro hacia las políticas de prevención y minimización de residuos. Se promoverán las áreas con potencial para la recuperación de recursos valiosos a medida que se tornen más factibles para el manejo sostenible de los recursos hídricos.

Con el proceso de urbanización mundial, la atención se dirigirá al agua y saneamiento de las zonas urbanas y peri-urbanas densamente pobladas donde se están creando nuevos incentivos para el desarrollo de tecnologías. Estos incentivos estarán destinados solo a personas con limitados recursos financieros y con bajos niveles de abastecimiento de agua como para justificar el alcantarillado convencional.

La separación de flujos de aguas residuales (aguas negras y grises, aguas residuales domésticas e industriales y aguas de lluvia) y el desarrollo de tecnologías cuya finalidad es hacer que estos flujos sean adecuados al reúso o reciclaje, a la larga, contribuirán al manejo eficiente de los recursos hídricos. Además, tales enfoques reducirán los riesgos de salud pública y la contaminación ambiental y se disminuirá el estrés que se ejerce sobre la capacidad de recuperación del ambiente.

Por lo tanto, la selección de tecnologías para tratar residuos debe adoptar una perspectiva más amplia y no limitarse a cumplir los estándares de descarga actuales formulados para situaciones locales. Anticipar las tendencias anteriores puede estimular el uso de un criterio adicional en la selección de tecnologías, es decir, el uso sostenible de recursos escasos, tales como el agua, nutrientes, energía o espacio.

### 3.9 Referencias

- Alaerts, G.J., Veenstra, S., Bentvelsen, M. y van Duijl, L.A. 1990 *Feasibility of Anaerobic Sewage Treatment in Sanitation Strategies in Developing Countries*. IHE Report No 20, International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering (IHE), Delft.
- Appleyard, C. 1992 *Industrial Wastewater Treatment*. Lecture Notes for the International Post-Graduate Course in Sanitary Engineering, International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering (IHE), Delft.
- Arceivala, S.J. 1986 *Wastewater Treatment for Pollution Control*. Tata McGraw Hill Publ. Ltd, Nueva Delhi.
- Ayers, R.S. y Wescot, D.W. 1985 *Water Quality for Agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- Banco Mundial 1994 *World Development Report 1994 – Infrastructure for Development*. Oxford University Press, Oxford, Nueva York.
- Bakalian, A. 1994 *Simplified Sewerage: Design Guidelines*. PNUD/Banco Mundial, Water and Sanitation Programme Report 7, Banco Mundial, Washington D.C.
- CCE 1991 Directive concerning urban wastewater treatment (91/271/CEE). Comisión de las Comunidades Europeas, *Off. J.* L135/40.
- van Dinther, M. 1995 Greywater is good enough. *De Volkskrant*, abril 22.
- Draaijter, H., Maas, J.A.W., Schaapman, J.E. y Khan, A. 1992 Performance of the 5 MLD UASB reactor for sewage treatment at Kanpur, India. *Wat. Sci. Tech.*, **25**(7), 123-132.
- ECE 1984 *Strategies, Technologies and Economics of Wastewater Management in ECE Countries*. Informe E.84.II.E.18, UN European Commission for Europe, Ginebra.
- Eckenfelder, W.W., Patoczka, J.B. y Pulliam, G.W. 1988 Anaerobic versus aerobic treatment in the USA. En: E.R. Hall and P.N. Hobson [Eds] *Advances in Water Pollution Control*. 5<sup>th</sup> International IAWPRC Conference on Anaerobic Digestion, Boloña, International Association of Water Pollution Research and Control, Londres.
- van Haandel, A.C. y Lettinga, G. 1994 *Anaerobic Sewage Treatment. A Practical Guide for Regions with a Hot Climate*. John Wiley e Hijos, Chichester.
- Handa, B.K. 1990 Ranking of technology options for municipal wastewater treatment. *Asian Env.*, **12**(3), 28-40.
- Hulshoff Pol, L. y Lettinga, G. 1986 New technologies for anaerobic wastewater treatment. *Wat. Sci. Tech.*, **18**(12), 41-53.



- Kalbermatten, J.M., Julius DeAnne, S., Mara, D.D. y Gunnerson, G.G. 1980 *Appropriate Technology for Water Supply and Sanitation*. Volumen 2, Banco Mundial, Washington, DC.
- OMS 1989 *Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture*. WHO Technical Report Series No 517, Organización Mundial de la Salud, Ginebra.
- OMS 1992 *The International Drinking Water and Sanitation Decade. End of Decade Review* (as at December de 1990). OMS/CW5/92.12, Organización Mundial de la Salud, Ginebra.
- Otis, R.J. y Mara, D.D. 1985 *The Design of Small Bore Sewers*. TAG Technical Note No. 14, Technology Advisory Group, Banco Mundial, Washington D.C.
- Lewis, W.J., Foster, S.S.D. y Drasar, B.S. 1980 *The Risk of Groundwater Pollution by On-site Sanitation in Developing Countries*. IRCWD Informe No 01/82., International Reference Center for Waste Disposal, Duebendorf, Suiza.
- Metcalf y Eddy Inc. 1991. *Wastewater Engineering Treatment Disposal and Reuse*. 3ª edición, Mc-Graw Hill Book Co, Singapur
- Schellinkhout, A. y Collazos, C.J. 1992 Full-scale application of the UASB technology for sewage treatment. *Wat. Sci. Tech.*, 25(7), 159-166.
- Sinnatamby, G., Mara, D.D. y McGarry, M. 1986 Shallow sewers offer hope to slums. *World Wat.*, 9(1), 39-41.
- Somlyody, L. 1993 Looking over the environmental legacy. *Wat. Qual. Int.*, 4, 17-20.
- Veenstra, S. 1996 Environmental Sanitation. Lecture notes for the MSc course in Sanitary Engineering, International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering, (IHE), Delft.



## Capítulo 4\*

### LAS AGUAS RESIDUALES COMO RECURSO

#### 4.1 Introducción

En muchas regiones áridas y semiáridas del mundo, el agua se ha convertido en un factor limitador, principalmente para el desarrollo agrícola e industrial. Los planificadores de recursos hídricos buscan continuamente fuentes adicionales para complementar los escasos recursos disponibles en su región. Varios países del Mediterráneo Oriental, por ejemplo, en zonas donde la precipitación se encuentra dentro del rango de 100 a 200 mm a<sup>-1</sup>, dependen de pocos ríos de flujo permanente y acuíferos subterráneos pequeños que por lo general están ubicados en las regiones montañosas. El suministro de agua potable se realiza mediante sistemas costosos de desalinización y más de 50% de la demanda de alimentos se satisface mediante la importación.

En tales situaciones, la sustitución de las fuentes parece ser la alternativa más apropiada para los usos menos restrictivos, lo cual permite que las aguas de alta calidad se destinen al consumo doméstico. En 1958, el Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas proporcionó una política de manejo para apoyar este enfoque, según la cual *“no se debe usar agua de más alta calidad para un determinado uso que puede tolerar una calidad inferior, a menos que haya excedente”* (Naciones Unidas, 1958). En lo posible, las aguas de baja calidad, como las aguas residuales, de drenaje y salobres, se deben considerar como fuentes alternativas para usos menos restrictivos.

El uso agrícola de los recursos hídricos es muy importante debido a que se requieren altos volúmenes. La agricultura con riego desempeñará un papel predominante en la sostenibilidad de la producción de cultivos en los próximos años. Para el año 2000, la reducción de los recursos hídricos explotables y la demanda de agua para uso municipal e industrial, reducirán significativamente la disponibilidad del agua para la agricultura. El uso de tecnologías apropiadas para el desarrollo de fuentes alternativas de agua es probablemente el enfoque más adecuado a fin de resolver el problema mundial de la escasez de agua, así como para mejorar la eficiencia en el uso del agua y el control adecuado para reducir su consumo.

\* *Este capítulo fue preparado por I. Hespanhol*

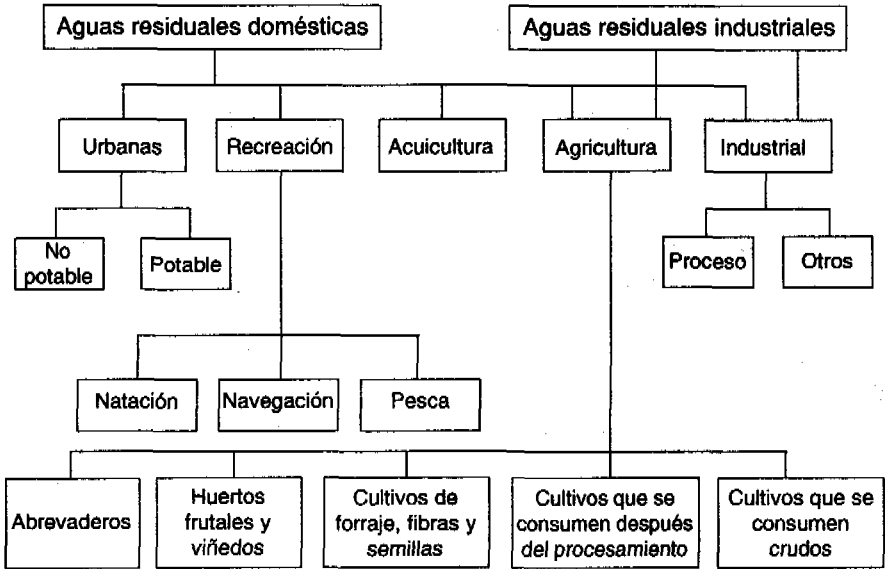


Figura 4.1 Tipos de uso de aguas residuales (OMS, 1989)

## 4.2 Tipos de reúso

El agua es un recurso que se renueva en el ciclo hidrológico. El agua reciclada mediante sistemas naturales constituye un recurso limpio y seguro que posteriormente se deteriora por diferentes niveles de contaminación, a medida que se usa. Sin embargo, una vez utilizada, el agua puede recuperarse y usarse nuevamente para diferentes aplicaciones. La calidad del agua usada y el tipo específico de reúso (u objetivo del reúso) determinan los niveles de tratamiento que se requieren y los costos implicados. La figura 4.1 indica los tipos básicos de reúso, descritos detalladamente más adelante (OMS, 1989).

### 4.2.1 Agricultura y acuicultura

En todo el mundo, las aguas de baja calidad que más se usan principalmente para la agricultura y acuicultura son las aguas residuales. Este capítulo tratará con mayor detalle este tipo de reúso debido a los grandes volúmenes que se utilizan, los riesgos para la salud y las consecuencias ambientales. Los otros tipos de reúso solo se tratan brevemente.

### 4.2.2 Zonas urbanas

En las áreas urbanas, las aguas residuales recuperadas se han utilizado principalmente para usos no potables (Crook y otros., 1992), tales como:

- Riego de parques, centros de recreación, campos de atletismo, patios escolares, campos de juego, riberas y áreas de descanso de las carreteras.
- Riego de áreas verdes alrededor de edificios públicos, residenciales, comerciales e industriales.
- Riego de campos de golf.
- Paisajes ornamentales, fuentes y caídas de agua.
- Protección contra incendios.
- Descarga de inodoros de edificios comerciales e industriales.

Las desventajas del reúso urbano no potable están relacionadas con los elevados costos que conlleva la construcción de redes dobles de distribución de agua, dificultades en la operación y el riesgo potencial de conexiones cruzadas. Sin embargo, los costos deben compararse con el beneficio de conservar el agua potable y, en algunos casos, de aplazar o descartar la necesidad de desarrollar más fuentes de abastecimiento de agua.

El reúso del agua para fines de bebida en las zonas urbanas puede ser directo o indirecto. El reúso indirecto implica retener y diluir el agua recuperada (o aguas residuales crudas) en aguas superficiales o subterráneas antes de su recolección y tratamiento para el consumo humano. En muchos países en vías de desarrollo se aplica el reúso indirecto no planificado en gran escala cuando las ciudades se abastecen de fuentes que reciben volúmenes sustanciales de aguas residuales. Por lo general, se aplica solo el tratamiento convencional (coagulación-floculación-clarificación, filtración y desinfección), por consiguiente, los contaminantes traza orgánicos e inorgánicos que permanecen en el agua suministrada pueden producir efectos de largo plazo en la salud.

El reúso directo para agua potable se aplica cuando el efluente de una planta de recuperación de aguas residuales está conectada a una red de distribución de agua potable. Los costos del tratamiento son muy altos porque el agua debe cumplir normas muy estrictas que tienden a ser cada vez más restrictivas, tanto por el número de variables que se deben monitorear como por los límites tolerables para los contaminantes.

Actualmente, la ciudad de Windhoek, en Namibia, es la única que aplica el reúso potable directo durante los períodos secos. La planta de recuperación de Goreangab, construida en 1968, se encuentra en expansión para tratar aproximadamente  $14.000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  en 1997 con el fin de aumentar el suministro a la ciudad de Windhoek (Van Der Merwe y otros., 1994).

### 4.2.3 Industria

En la industria, el agua recuperada se usa principalmente para:

- Agua de enfriamiento, principalmente en plantas de energía.

- Agua de calderas.
- Agua de procesamiento.
- Riego de terrenos cercanos a la planta industrial.

El uso de las aguas recuperadas en la industria es un mercado potencialmente amplio tanto en los países desarrollados y en vías de desarrollo como para los que se están industrializando rápidamente. El reúso industrial es sumamente eficiente en función de los costos para las industrias cuyo proceso no requiere agua potable y para las que están ubicadas cerca de centros urbanos donde se puede obtener fácilmente efluentes secundarios para el reúso.

#### **4.2.4 Mejoramiento de áreas recreativas y paisajes**

El uso de aguas recuperadas para mejorar áreas recreativas y paisajes incluye desde fuentes pequeñas hasta lugares donde se practica deportes acuáticos, como natación, navegación y pesca. En cuanto a los demás tipos de reúso, la calidad del agua recuperada para usos recreativos se debe determinar según el grado de contacto con los usuarios. Sin embargo, en los embalses grandes, donde la apariencia estética es un factor importante, será necesario controlar los nutrientes para evitar la eutroficación.

#### **4.3 Ejecución o mejoramiento de los sistemas de reúso agrícola**

La aplicación de aguas residuales es una medida efectiva para controlar la contaminación del agua y una alternativa factible para aumentar los recursos donde hay escasez de agua. Los principales beneficios de los esquemas de reúso de aguas residuales están relacionados con la economía, el ambiente y la salud. Durante los últimos diez años, el uso de aguas residuales para el riego de cultivos se ha incrementado sustancialmente (Mara y Cairncross, 1989) debido a:

- La creciente escasez de recursos hídricos alternativos para el riego.
- Los costos elevados de los fertilizantes.
- La seguridad de que los riesgos para salud y el daño al suelo son mínimos cuando se toman las precauciones necesarias.
- Los costos elevados de las plantas de tratamiento avanzado de aguas residuales que se descargan en cuerpos receptores.
- La aceptación sociocultural de la práctica.
- El reconocimiento del valor de esta práctica por parte de los planificadores del recurso hídrico.

Los beneficios económicos son la generación de ingresos y el aumento de la productividad. Los ingresos serán mayores en las áreas donde el cultivo se restringe a las estaciones lluviosas. Un ejemplo de la recuperación económica

**Cuadro 4.1** Aumento en la producción de los cultivos ( $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  toneladas) por el riego con aguas residuales en Nagpur, India

Agua de riego	Trigo 8 años <sup>1</sup>	Judías verdes 5 años <sup>1</sup>	Arroz 7 años <sup>1</sup>	Papas 4 años <sup>1</sup>	Algodón 3 años <sup>1</sup>
Aguas residuales crudas	3,34	0,90	2,97	23,11	2,56
Aguas residuales sedimentadas	3,45	0,87	2,94	20,78	2,30
Efluente de laguna de estabilización	3,45	0,78	2,98	22,31	2,41
Agua dulce + NPK	2,70	0,72	2,03	17,16	1,70

<sup>1</sup> Años de cosecha utilizados para calcular el rendimiento medio  
Fuente: Shende, 1985

relacionada con la disponibilidad de aguas residuales para el riego es el Valle del Mezquital en México (véase el estudio de caso VII), donde el ingreso agrícola aumentó casi desde cero a fines del siglo, cuando se empezaron a usar las aguas residuales en la región, hasta aproximadamente 16 millones de pesos mexicanos por hectárea en 1990 (CNA, 1993). La práctica de la acuicultura con uso de excretas o aguas residuales también ha sido una fuente sustancial de ingresos en muchos países como la India, Bangladesh, Indonesia y Perú. La piscicultura con aguas residuales al este de Calcuta en la India, el sistema más grande de uso de aguas residuales del mundo (aproximadamente 3.000 ha en 1987), produce de 4 a 9 t  $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  de peces que se venden en el mercado local (Edwards, 1992). Se puede encontrar más literatura sobre los beneficios económicos de la acuicultura con aguas residuales y excretas (Bartone, 1985; Bartone y otros, 1990; Ikramullah, 1994).

Los estudios llevados a cabo en varios países han revelado que la producción de cultivos puede aumentar si se administra adecuadamente el riego con aguas residuales. El cuadro 4.1 muestra los resultados de los experimentos de campo realizados en Nagpur, India, por el National Environmental Research Institute (NEERI) sobre los efectos del riego con aguas residuales en cultivos (Shende, 1985).

Los efluentes de los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales, con concentraciones normales de 15 mg  $\text{l}^{-1}$  de N total y 3 mg  $\text{l}^{-1}$  de P, a una tasa promedio de riego de 2 m  $\text{a}^{-1}$ , proporcionan tasas de aplicación de N y P de 300 y 60 kg  $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ , respectivamente. Tales insumos de nutrientes pueden reducir o incluso descartar la necesidad de fertilizantes comerciales.

La aplicación de aguas residuales proporciona, además de nutrientes, materia orgánica que actúa como mejorador del suelo y aumenta su capacidad de almacenar agua. Además de los beneficios en la productividad, otra ventaja es que se pueden irrigar más terrenos y tener múltiples sembríos estacionales (Bartone y Arlosoroff, 1987).

Cuando se opta usar aguas residuales en lugar de desecharlas por otros medios, se obtienen los siguientes beneficios que pueden conllevar a mejorar el ambiente:

- Se evita la descarga de aguas residuales en aguas superficiales.
- Se preservan las aguas subterráneas en áreas donde la explotación de estos recursos en la agricultura causa intrusión salina en los acuíferos.
- Se conservan los suelos mediante la acumulación de humus y se previene la erosión de tierras.
- Se mejora la estética urbana y las áreas recreativas a través del riego y fertilización de jardines, parques y establecimientos deportivos.

El uso de aguas residuales, sin embargo, también puede ocasionar algunos efectos potenciales negativos en el ambiente, tales como la contaminación de las aguas subterráneas. El problema principal se relaciona con la contaminación por nitratos de las aguas subterráneas que se usan para el consumo humano. Esto puede producirse cuando una capa no saturada extremadamente porosa sobre el acuífero permite la percolación de los nitratos presentes en las aguas residuales. Cuando hay una capa profunda, homogénea y no saturada sobre el acuífero capaz de retener el nitrato, hay pocas probabilidades de contaminación. La absorción de nitrógeno por los cultivos puede reducir la posibilidad de contaminación de las aguas subterráneas por nitratos, pero depende de la tasa de absorción de las plantas y de la tasa de aplicación de las aguas residuales en los cultivos.

La acumulación de contaminantes químicos en el suelo es otro efecto negativo potencial. Según las características de las aguas residuales, el riego prolongado puede producir acumulación de compuestos tóxicos orgánicos e inorgánicos y aumentar la salinidad de las capas no saturadas. Para evitarlo, en el riego se debe utilizar solo aguas residuales de origen doméstico. El drenaje adecuado de los suelos también es importante para minimizar su salinidad.

El riego prolongado puede crear condiciones favorables para el desarrollo de vectores de enfermedades, tales como mosquitos y caracoles. En ese caso se deben aplicar técnicas integradas de control para evitar las enfermedades transmitidas por vectores.

Los sistemas de riego con aguas residuales pueden traer algunos beneficios indirectos relacionados con la salud, ya que pueden contribuir a producir una



mayor cantidad de alimentos y, por lo tanto, mejoran la salud, la calidad de vida y las condiciones sociales. Sin embargo, las autoridades de salud pública y las instituciones que controlan los esquemas de reúso de aguas residuales deben considerar los efectos negativos potenciales sobre la salud porque los agricultores, los consumidores de los cultivos y, hasta cierto punto, los vecinos de las áreas de reúso pueden estar expuestos a enfermedades transmisibles.

#### **4.3.1 Política y planificación**

El uso de aguas residuales constituye un elemento importante de la política y estrategia de recursos hídricos. Muchas naciones, principalmente las ubicadas en las regiones áridas y semiáridas, como los países del Medio Oriente, han adoptado (en principio) el uso de las aguas residuales tratadas como un concepto importante en su política y planificación general de recursos hídricos. Una política acertada de uso de aguas residuales transforma las aguas residuales, consideradas como un riesgo para el ambiente y la salud, en un recurso económico ambientalmente seguro (Kandiah, 1994a).

Los gobiernos deben estar preparados para establecer y controlar el reúso de las aguas residuales dentro del marco más amplio de una política nacional de uso de efluentes que forme parte de un plan nacional de recursos hídricos. Se deben asignar responsabilidades y costos entre los diversos sectores, es decir, entre las autoridades locales responsables del tratamiento y disposición de aguas residuales, los agricultores que van a usar los esquemas de uso de efluentes y el Estado responsable del suministro adecuado de agua, de la protección del ambiente y de la promoción de la salud pública. Para asegurar la sostenibilidad a largo plazo se debe prestar atención a los aspectos sociales, institucionales y organizacionales del uso de efluentes en la agricultura y la acuicultura.

La planificación de programas y proyectos de uso de aguas residuales requiere un enfoque sistemático. El recuadro 4.1 muestra el esquema de un sistema que caracteriza las condiciones básicas e identifica las posibilidades y limitaciones de la etapa de planificación del proyecto (Biswas, 1988).

La política del gobierno sobre el uso de efluentes en la agricultura tiene un efecto decisivo en el éxito de las medidas de control a través de la selección cuidadosa de áreas y cultivos que se pueden regar con efluentes tratados. Cuando se decide poner a disposición de los agricultores el efluente tratado, sin restricciones para la agricultura, se pierde la oportunidad de una cuidadosa selección de áreas de riego y la adecuada aplicación de técnicas de riego y de cultivos, lo que limita la prevención de riesgos para la salud y el impacto sobre el ambiente. Sin embargo, cuando no se aplica la selección de cultivos, pero el

**Recuadro 4.1** Esquema para analizar los proyectos de riego con aguas residuales

**Naturaleza del problema**

- ¿Cuánta agua residual se producirá y cuál será la distribución estacional?
- ¿En qué lugares se producirán aguas residuales?
- ¿Cuáles serán las características de las aguas residuales producidas?
- ¿Cuáles son las alternativas factibles de disposición?

**Factibilidad legal**

- ¿Qué usos de aguas residuales están permitidos en la reglamentación nacional o estatal?
- ¿Si no hay reglamentos, qué usos parecen factibles de acuerdo con las guías de riego de la OMS y la FAO?
- ¿Cuáles son los derechos vigentes sobre el agua y cómo se verán afectados por el uso de las aguas residuales?

**Factibilidad técnica**

- ¿Es aceptable la calidad de las aguas residuales tratadas para el riego restringido o sin restricción?
- ¿Cuánto terreno hay disponible o cuánto se necesita para el riego con aguas residuales?
- ¿Cuáles son las características del suelo que se va a regar?
- ¿Cuáles son las prácticas de uso del terreno? ¿Pueden modificarse?
- ¿Qué tipos de cultivos se pueden cultivar?
- ¿Cómo se adaptan los requisitos del agua de riego a la disponibilidad estacional de las aguas residuales?
- ¿Qué tipos de técnicas de riego se pueden utilizar?
- ¿Son apropiadas las características hidrológicas para la recarga de aguas subterráneas?
- ¿Cuál será la repercusión de tal recarga en la calidad de las aguas subterráneas?
- ¿Se deben considerar otros riesgos de salud y ambientales?

**Factibilidad política y social**

- ¿Cuáles han sido las reacciones anteriores frente a los riesgos de salud y ambientales relacionados con el reúso de aguas residuales?
- ¿Cuál es la opinión pública sobre el reúso de aguas residuales?
- ¿Cuáles son las actitudes de las personas influyentes en las áreas donde se va a practicar el reúso de aguas residuales?
- ¿Cuáles son los beneficios potenciales del reúso para la comunidad?
- ¿Cuáles son los riesgos potenciales?

**Factibilidad económica**

- ¿Cuáles son los costos capitales?
- ¿Cuáles son los costos de operación y mantenimiento?
- ¿Cuál es la tasa de rentabilidad económica?
- ¿Cuáles son los costos del desarrollo de la agricultura regada con efluentes, de la conducción de las aguas residuales al área de riego, de la nivelación, de la instalación o sistema de riego, de los insumos agrícolas, etc.?
- ¿Cuáles son los beneficios del sistema agrícola regado con efluentes?
- ¿Cuál es la relación costo-beneficio del proyecto de riego?

**Factibilidad de personal**

- ¿Se dispone de mano de obra local y calificada para realizar la operación y mantenimiento del tratamiento de aguas residuales, obras de riego y recarga de aguas subterráneas, instalaciones agrícolas y aspectos de control de la salud y el ambiente?
- ¿De no ser así, qué tipos de programas de capacitación se deben establecer?

Fuente: Biswas, 1988

gobierno permite el riego sin restricción con efluentes en zonas específicas controladas, se puede impedir el acceso público a tales áreas (y por consiguiente lograr algún tipo de control). La mejor garantía para prevenir riesgos a la salud e impactos ambientales adversos es limitar el uso de efluentes para riegos restringidos en áreas controladas a las que el público no tiene acceso.

Se ha sugerido que los procedimientos incluidos en la planificación de esquemas de riego con efluentes son similares a los utilizados en la planificación de recursos, es decir, según las características físicas, sociales y económicas que se resumen en la figura 4.2. Los siguientes aspectos claves o acciones principales pueden producir un efecto significativo en el éxito de los esquemas de riego con efluentes:

- Las medidas de organización y administración para proveer el recurso, seleccionar el plan de uso del efluente e implementarlo.
- La salud pública y los niveles aceptados de riesgo.
- La elección de estrategias para usos múltiples o de un solo propósito.
- Los criterios adoptados para evaluar las propuestas alternativas de reúso.
- La posibilidad de establecer bosques.

Una ventaja del uso de efluentes para propósitos múltiples es que permite mayor flexibilidad, seguridad financiera y uso más eficiente de las aguas residuales durante el año, mientras que una estrategia con un solo uso produce excedentes estacionales de aguas residuales que se disponen de manera no productiva.

### 4.3.2 Cuestiones legales y reglamentarias

El uso de aguas residuales, principalmente para el riego de cultivos, se relaciona con dos temas legales principales:

- El establecimiento de un régimen legal para las aguas residuales y su uso, lo cual puede significar el desarrollo de una nueva ley o reforma de la existente; nuevas instituciones o nuevas funciones para las existentes; adopción de funciones y relaciones entre el gobierno central y gobiernos locales en el sector; y legislación sanitaria pública, ambiental y agrícola, tales como las normas y códigos de práctica para el reúso.
- Asegurar la tenencia de los usuarios, principalmente en relación con los derechos para tener acceso a las aguas residuales, incluida la reglamentación pública de su uso. La legislación también debe incluir la tenencia de tierras, sin la cual no hay seguridad de acceso a las aguas residuales.

El régimen legal para el manejo de las aguas residuales debe abordar los siguientes aspectos (OMS, 1990):

- Una definición del concepto de aguas residuales.

**Etapas**

Valoración del área del proyecto

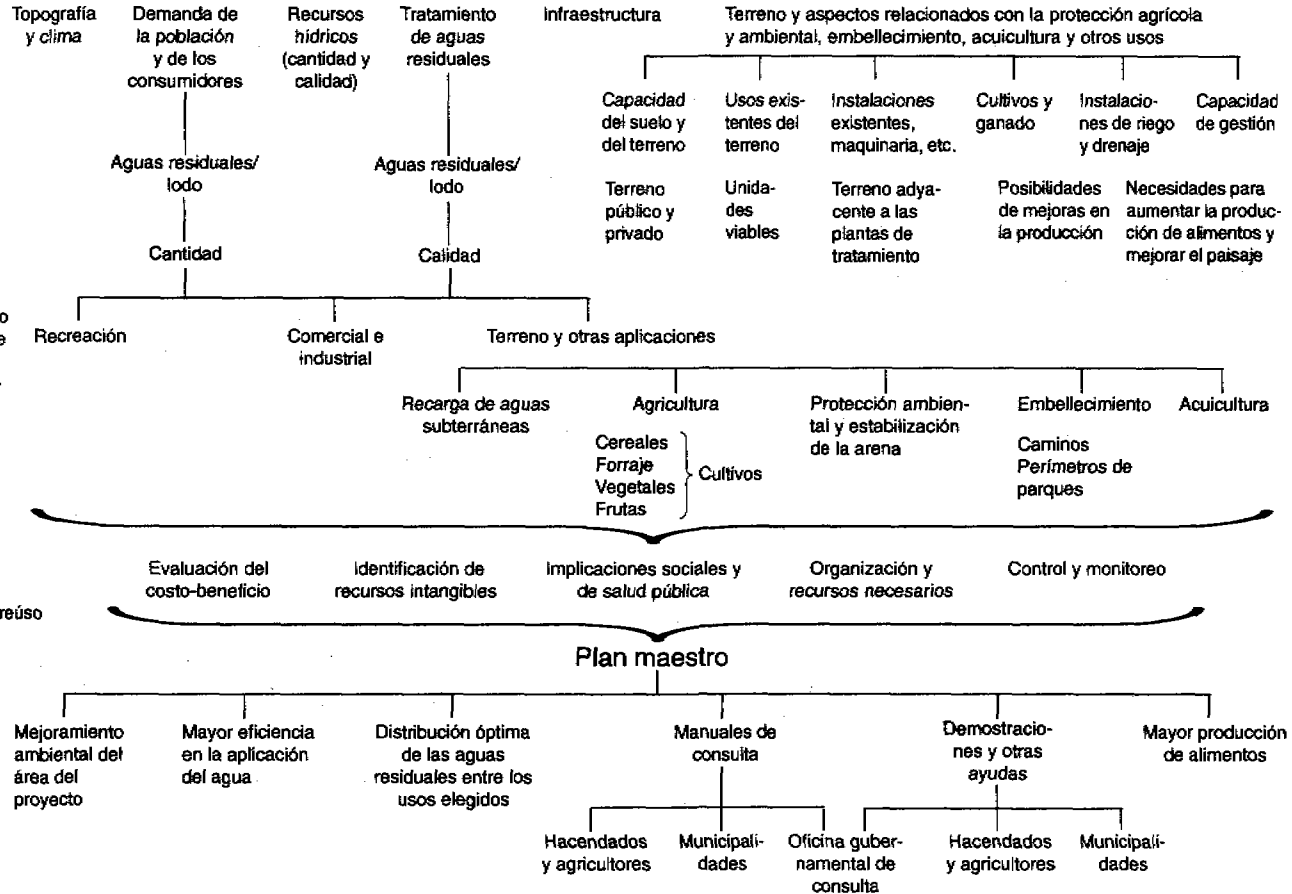
Evaluación de las oportunidades y limitaciones de usos posteriores

Evaluación del uso único y múltiple de acuerdo con los recursos y oportunidades

Evaluación de las implicaciones socioeconómicas, ambientales y de reúso

Productos finales

**Componentes**



**Figura 4.2** Componentes de la planificación general para el uso de aguas residuales (Cobham y Johnson, 1988)

- La posesión de las aguas residuales.
- Un sistema de concesión de licencias para usar las aguas residuales.
- La protección de otros usuarios que puedan perjudicarse por la pérdida de retorno de las aguas residuales en el sistema de recursos hídricos.
- Las restricciones para la protección de la salud pública y ambiental en lo que se refiere al uso de las aguas residuales, condiciones de tratamiento, calidad final de las aguas residuales y condiciones para la ubicación de las plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Asignación de costos y precios.
- Mecanismos para hacer cumplir los reglamentos.
- Disposición de lodos derivados del tratamiento de aguas residuales.
- Acuerdos institucionales para administrar la legislación pertinente.
- La relación de este régimen con el régimen legal general para el manejo de los recursos hídricos, especialmente las normas para controlar la contaminación del agua y del ambiente y las que rigen el abastecimiento de agua y los servicios de alcantarillado, incluidas las instituciones responsables.

En el nivel operativo, la normativa se aplica a través de guías, estándares y códigos de práctica (véase los capítulos 2 y 5).

### *Guías*

Una de las múltiples funciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) es proponer guías y hacer recomendaciones sobre los problemas internacionales de la salud. Las guías para el uso seguro de las aguas residuales, producidas como parte de su función, proporcionan antecedentes y orientación a los gobiernos para que tomen decisiones relacionadas con el manejo de riesgos a fin de proteger la salud pública y el ambiente.

Debe recalcar que las guías no están concebidas para ser aplicadas en cada país de manera absoluta y directa. Estas guías son recomendaciones y se basan en los últimos adelantos técnicos de la investigación científica y resultados de los estudios epidemiológicos. Tienen por finalidad cubrir todos los aspectos de la salud y sus riesgos y, como tales, se constituyen en valiosas referencias de las que se derivan normas nacionales o regionales (Hespanhol y Prost, 1994).

*Agricultura.* El Grupo Científico sobre Guías de Salud para el Uso de las Aguas Residuales en la Agricultura y Acuicultura, reunido en Ginebra en 1987 (OMS, 1989), estableció los criterios básicos para la protección sanitaria de los grupos en riesgo que utilizan sistemas de reúso en la agricultura y recomendó las guías microbiológicas del cuadro 4.2. Estos criterios y guías fueron el resultado

**Cuadro 4.2** Guías microbiológicas recomendadas para el uso de aguas residuales en la agricultura

Categoría	Condiciones del reuso	Grupo expuesto	Nematodos <sup>(1)</sup> (Número de huevos por 100 ml) <sup>(2)</sup>	Coliformes fecales (Número por 100 ml) <sup>(3)</sup>	Tratamiento necesario para lograr la calidad microbiológica requerida
A	Riego de cultivos que pueden ser consumidos crudos, campos deportivos, parques públicos <sup>4</sup>	Trabajadores, consumidores, público	≤ 1	≤ 1.000	Serie de lagunas de estabilización diseñadas para lograr la calidad microbiológica indicada o el tratamiento equivalente
B	Riego de cereales, cultivos industriales, de forraje, pastizales y árboles <sup>5</sup>	Trabajadores	≤ 1	na	Retención en las lagunas de estabilización por 8 a 10 días o remoción equivalente de coliformes fecales y helmintos
C	Riego localizado de cultivos de la categoría B si no hay exposición de los trabajadores y público	Ninguno	na	na	Pretratamiento requerido para el riego; sedimentación primaria como mínimo

En casos específicos se deben considerar factores epidemiológicos, socioculturales y ambientales locales, y las normas se deben modificar consecuentemente.

na no aplicable

- 1 *Ascaris*, *Trichuris* y nematodos parásitos
- 2 Durante el período de riego. Media aritmética
- 3 Durante el período de riego. Media geométrica

4 Una guía más estricta (200 coliformes fecales por 100 ml) es adecuada para jardines públicos, como los de los hoteles, donde el público puede tener contacto directo

5 En el caso de frutales, el riego debe interrumpirse dos semanas antes de la recolección y no se debe recoger ninguna fruta del suelo. No se debe aplicar riego por aspersión.

Fuente : OMS, 1989

de un largo proceso de preparación y se basó en la evidencia epidemiológica disponible en ese momento. Están relacionados con los tipos de cultivos, condiciones de reuso, grupos expuestos y sistemas de tratamiento de aguas residuales con el fin de lograr calidad microbiológica.

*Acuicultura.* El uso de las aguas residuales o excretas para fertilizar lagunas de peces se ha relacionado con varias infecciones causadas por agentes patógenos, incluida la invasión de bacterias en el músculo de los peces y altas concentraciones de patógenos en el tubo digestivo y el líquido intraperitoneal del pez. Se dispone de datos restringidos de campo y de experimentos sobre

los efectos en la salud de la acuicultura con excretas o aguas residuales, por ello, el Comité de Trabajo Científico recomendó las siguientes normas preliminares:

- Una media geométrica inferior de  $10^3$  de coliformes fecales por 100 ml en las lagunas piscícolas para impedir la invasión bacteriana al músculo de los peces. En las lagunas donde se cultivan hortalizas acuáticas comestibles (macrofitas) se deben aplicar las mismas guías, ya que en muchas áreas se consumen crudas. Para lograrlo, las aguas residuales que se usan en las lagunas deben tratarse y tener una concentración de coliformes fecales de  $10^3 - 10^4$  por 100 ml (se asume que la laguna permite la dilución del afluente de un orden de magnitud).
- La ausencia total de huevos de trematodos para prevenir la infección por helmintos, por ejemplo, clonorquiasis, fasciolopsiasis y esquistosomiasis, lo cual puede lograrse fácilmente mediante lagunas de estabilización.
- Normas estrictas de higiene durante el manejo de peces y eviscerado para evitar la infección del músculo de los peces por el líquido intraperitoneal.

También es muy importante la calidad química de los efluentes domésticos tratados que se usan para el riego. Algunas variables son importantes para la agricultura en relación con la producción y calidad de los cultivos, el mantenimiento de la productividad del suelo y la protección del ambiente. Estas variables son: la concentración total de sal, conductividad eléctrica, razón de adsorción de sodio (RAS), iones tóxicos, oligoelementos y metales pesados. En la referencia FAO (1985) se puede encontrar una discusión minuciosa sobre este tema.

*Normas y códigos de práctica.* Las normas son imposiciones legales sancionadas por leyes, reglamentos o procedimientos técnicos. Cuando los países establecen normas, las adaptan a sus propias prioridades nacionales según sus propias características y limitaciones técnicas, económicas, sociales, culturales y políticas (véase el capítulo 5). Son establecidas por autoridades nacionales competentes mediante un enfoque de beneficios en función de los riesgos, de lo cual se infiere que las normas no solo consideran las inquietudes relacionadas con la salud sino también una gran variedad de consecuencias económicas y sociales. Las normas nacionales se pueden cambiar o modificar cuando se dispone de evidencia científica o nuevas tecnologías o en respuesta a cambios en las prioridades o tendencias nacionales.

En muchos países, las normas se complementan con códigos de práctica que proporcionan orientación para construir, operar, mantener y vigilar los esquemas de uso de las aguas residuales. Los códigos de práctica se deben

preparar de acuerdo con las condiciones locales, pero por lo general incluyen los siguientes elementos básicos:

- Cultivos permitidos bajo políticas de restricción.
- Tratamiento de aguas residuales y calidad del efluente.
- Red de distribución de aguas residuales.
- Métodos de riego.
- Operación y mantenimiento.
- Control de la exposición humana.
- Monitoreo y vigilancia.
- Informe.
- Cobros y multas.

#### **4.3.3 Acuerdos institucionales**

Los proyectos de uso de aguas residuales en el nivel nacional están bajo la responsabilidad de varios ministerios y organismos del gobierno. Para lograr una operación adecuada y reducir los conflictos administrativos, desde la fase de planificación en adelante deben participar los siguientes ministerios:

- Ministerio de agricultura y pesca: para la planificación general del proyecto; manejo de terrenos estatales; instalación y operación de una infraestructura de riego; extensión agrícola y acuícola, incluida la capacitación y el control de la comercialización.
- Ministerio de salud: para la vigilancia de la calidad del efluente según las normas locales; protección sanitaria y vigilancia de enfermedades; responsabilidad para controlar la exposición humana, tales como vacunación, control de la anemia y enfermedades diarreicas (véase la sección 4.4) y educación sanitaria.
- Ministerio de recursos hídricos: para la integración de los proyectos de uso de aguas residuales en la planificación y manejo general de los recursos hídricos.
- Ministerio de obras públicas y autoridades del agua: para la recolección y tratamiento de aguas residuales o excretas.
- Ministerio de finanzas/economía/planificación: para la evaluación económica y financiera de los proyectos; análisis del beneficio en función de los costos, financiamiento, criterios para los subsidios, etc.

Según los acuerdos nacionales, también participan otros ministerios, tales como los relacionados con la protección ambiental, tenencia de tierras, desarrollo rural, cooperativas y organizaciones femeninas (Mara y Cairncross, 1989).



Los países que realizan actividades de uso de aguas residuales por primera vez pueden beneficiarse con el establecimiento de un organismo ejecutivo, por ejemplo, un comité interinstitucional de apoyo técnico, bajo el auspicio de un ministerio principal (agricultura o recursos hídricos) que asuma la responsabilidad por el desarrollo, planificación y manejo del sector. Por otro lado, las organizaciones existentes pueden responsabilizarse por el sector (o por una parte de este), por ejemplo, la Junta Nacional de Riego puede responsabilizarse por el uso de aguas residuales en la agricultura y la Junta Nacional de Pesca por el uso de las excretas y aguas residuales en la acuicultura. Luego, tales organizaciones deben conformar un comité de representantes de las distintas instituciones que asumen responsabilidades sectoriales. Las responsabilidades fundamentales de los comités interinstitucionales son:

- Desarrollar una política coherente nacional o regional para el uso de las aguas residuales y monitorear su implementación.
- Definir la división de responsabilidades entre los respectivos ministerios y organismos interesados y los acuerdos de colaboración entre ellos.
- Evaluar los esquemas de reúso propuestos, principalmente desde el punto de vista de la salud pública y protección ambiental.
- Supervisar la promoción y cumplimiento de las normas y códigos de práctica nacionales.
- Desarrollar una política racional de desarrollo de personal para el sector.

En los países con una administración regional o federal, los acuerdos para la colaboración interinstitucional son incluso más importantes en el nivel regional o estatal. Mientras que en el nivel nacional se puede definir el marco general de la política y normas sobre el uso de residuos, la entidad regional tendrá que interpretarla y añadir otras normas según las condiciones locales.

En México, la Comisión Nacional del Agua (CNA), que forma parte del Ministerio de Agricultura y Recursos Hídricos, administra los recursos hídricos del país y, como tal, es la responsable de la planificación, administración y control de todos los esquemas de uso de aguas residuales en el nivel nacional. Otros departamentos gubernamentales, tales como el Ministerio de Salud o el Ministerio del Ambiente y el Ministerio de Desarrollo Social, también participan según intereses específicos de su propio campo. En el nivel regional, el gobierno del Estado también interviene en la administración de esquemas locales. En el Valle del Mezquital, por ejemplo, el Estado de Hidalgo colabora con el organismo local de la CNA en la operación y mantenimiento de los distritos de riego así como en las acciones de monitoreo, vigilancia y cumplimiento. En el Valle del Mezquital también hay una fuerte participación del sector privado que administra pequeñas unidades de riego integradas en sistemas cooperativos.

#### 4.3.4 Aspectos económicos y financieros

La evaluación económica de los proyectos de riego con aguas residuales deberían basarse en los costos y beneficios incrementales acumulados en la práctica. En muchos casos, otro procedimiento adoptado es hacer una cuidadosa revisión del proyecto para ajustar los costos y beneficios marginales, de tal forma que actualizados a una tasa real de descuento, produzcan una relación costo-beneficio mayor de 1. Otro procedimiento es determinar la tasa interna de retorno del proyecto y confirmar si es competitivo (Forero, 1993).

La evaluación financiera se puede realizar mediante la comparación con unos de los siguientes escenarios hipotéticos, cada uno de los cuales está configurado con beneficios y costos diferentes:

- Sin agricultura.
- Sin riego (solo con lluvia).
- Riego con agua de una fuente alternativa sin aplicación de fertilizantes.
- Riego con agua de una fuente alternativa con aplicación de fertilizantes.

*Costos.* En un proyecto de riego con aguas residuales se deben considerar los siguientes costos (Papadopoulos, 1990):

- Costos del tratamiento de aguas residuales, incluido el terreno y la preparación del lugar, obras de ingeniería civil, diseño del sistema, materiales y equipo.
- Costos del riego, incluido el manejo, almacenamiento, conducción y distribución del agua.
- Costos relacionados con la agricultura y el fortalecimiento de instituciones, incluidas las instalaciones, la capacitación, medidas para la protección de la salud pública, servicios de higiene para los agricultores y el uso de cultivos de menor valor asociados con aplicaciones específicas de aguas residuales.
- Costos de operación y mantenimiento, incluido el consumo adicional de energía, mano de obra, ropa protectora para los trabajadores de campo, fertilizantes complementarios de ser necesarios, costos administrativos y gastos generales, monitoreo y pruebas.

En la evaluación es muy importante considerar solo los costos marginales. Por ejemplo, solo deberían considerarse los costos adicionales requeridos para cumplir las normas locales del efluente para reúso (cuando es necesario). En la evaluación económica de los sistemas de reúso no se debe incluir los costos relacionados con los sistemas de tratamiento para la protección del ambiente (que serían implementados de todas maneras). Así mismo, los costos de riego y agricultura que se deben considerar son exclusivamente los costos complementarios acumulados asociados al uso de aguas residuales antes que cualquier otra fuente convencional de agua.

*Beneficios.* Es relativamente fácil evaluar los beneficios directos. En los sistemas de agricultura o acuicultura se pueden evaluar directamente, por ejemplo, en términos del aumento de la producción de cultivos y rendimiento, ahorro en costos de fertilizantes y en el suministro de agua. En cambio, es difícil y complejo cuantificar los beneficios indirectos adecuadamente. Otros beneficios que atraen a los funcionarios encargados de tomar decisiones, capaces de prever las ventajas para la salud y el ambiente que ofrece el uso de aguas residuales en la agricultura, son:

- El mejor estado de nutrición de las poblaciones pobres debido a una mayor disponibilidad de alimentos.
- Aumento de oportunidades de trabajo y asentamiento.
- Desarrollo de nuevas áreas de recreación.
- Reducción del daño al ambiente.
- Protección contra el agotamiento de las aguas subterráneas.
- Conservación de los recursos de agua dulce y prevención de su contaminación.
- Control de la erosión, reducción de la desertificación, etc.

Los beneficios indirectos son “temas no monetarios” y lamentablemente no se consideran cuando se realizan evaluaciones económicas de los proyectos que incluyen el uso de aguas residuales. Sin embargo, el mejoramiento del ambiente que se logra mediante el uso de aguas residuales, principalmente en términos de preservación de los recursos hídricos, el mejoramiento del estado de salud de las poblaciones pobres en los países en vías de desarrollo, la posibilidad de proporcionar un sustituto para el agua dulce en áreas donde escasea el agua y la motivación para construir obras de alcantarillado urbano, son factores relevantes y lo suficientemente importantes para justificar el análisis de costo-beneficio como netamente secundario al adoptar una decisión para implementar sistemas de reúso de aguas residuales, principalmente en países en vías de desarrollo y rápidamente industrializados.

*Recuperación de costos.* Es muy importante adoptar una política adecuada sobre el precio del agua para la sostenibilidad de los sistemas de reúso de aguas residuales. Basar los costos incrementales asignando solo los costos marginales asociados con el reúso, parece ser un buen criterio para los países en vías de desarrollo donde se considera que el reúso es un beneficio social. En muchos países se ha aplicado un cobro en forma de tarifas o impuestos, basado en el volumen de agua residual tratada distribuida o en función de las horas de distribución. Cuando el volumen es muy grande y la red de distribución cubre una gran área, como en el valle del Mezquital en México, los agricultores pagan de acuerdo con las áreas regadas.

En las primeras etapas de implementación de los sistemas puede ser necesario subsidiar los sistemas de reúso, principalmente cuando los costos asociados son muy elevados. Esto evitaría que los agricultores se desanimen debido al uso permitido de las aguas residuales tratadas. Para determinar la necesidad del apoyo gubernamental en el esquema de recuperación de los costos, sería recomendable investigar la disposición y capacidad de los agricultores para pagar los servicios. La manera más fácil de recolectar los cobros es mediante la imposición de tarifas que se pagan después de la cosecha.

#### **4.3.5 Aspectos socioculturales**

La aceptación pública del uso de aguas residuales o excretas en la agricultura y acuicultura está influida por factores socioculturales y religiosos. En América, África y Europa, por ejemplo, existe un fuerte rechazo frente al uso de excretas como fertilizantes, mientras que en algunas áreas de Asia, en particular en China, Japón y Java, la práctica se realiza regularmente y se considera económica y ecológicamente segura.

Sin embargo, en la mayoría de los países no hay rechazo cultural frente al uso de aguas residuales, especialmente cuando son tratadas. El uso de aguas residuales tiene mucha aceptación donde no se dispone fácilmente de otras fuentes de agua o por razones económicas. En varios países islámicos, las aguas residuales se utilizan para el riego de cultivos, siempre que se remuevan las impurezas (*najassa*). Sin embargo, esto es producto de una necesidad económica antes que de una preferencia cultural. Según los edictos del Corán, la religión acepta la práctica del reúso siempre y cuando el agua impura sea transformada en agua pura (*tahur*) mediante los siguientes métodos (Farooq y Ansari, 1983): autopurificación, agregando agua pura en cantidad suficiente para diluir las impurezas o remoción de impurezas a través del tiempo o por efectos físicos.

Debido a la gran variedad de creencias culturales, comportamientos y dogmas religiosos, la aceptación o rechazo de la práctica del uso de aguas residuales dentro de una cultura específica, no siempre es pertinente en todas partes. Siempre es necesario realizar una evaluación completa del contexto sociocultural y de las creencias religiosas locales como paso preliminar para implementar los proyectos de reúso (Cross, 1985).

#### **4.3.6 Monitoreo y evaluación**

Como se ha dicho anteriormente (véase la sección 4.3.3), el desarrollo y coordinación de los proyectos y programas relacionados con el uso de aguas residuales deben estar a cargo de comités interinstitucionales bajo el auspicio de un ministerio líder. Esta entidad también debe encargarse de los programas

de monitoreo y evaluación y debe tener poderes legales para hacer cumplir las normas locales.

Hay dos tipos de monitoreo para los proyectos de uso de aguas residuales. El monitoreo de control de los procesos se lleva a cabo para proporcionar datos que apoyen la operación y optimización del sistema a fin de lograr un desempeño exitoso. Incluye el monitoreo de plantas de tratamiento, sistemas de distribución de agua, equipos, aspectos ambientales (tales como salinización, aguas de drenaje, registros de agua), aspectos agrícolas (tales como productividad y rendimiento) y problemas relacionados con la salud (tales como el desarrollo de vectores de enfermedades y problemas de salud por el uso de aguas residuales). Además de proporcionar datos para el control de los procesos, este nivel de monitoreo genera información para revisar y actualizar los proyectos, así como para la investigación y desarrollo futuros. El monitoreo del control de los procesos es una responsabilidad del organismo operativo (por ejemplo, un organismo estatal o junta de alcantarillado municipal) que forma parte del comité interinstitucional.

Para cumplir con los requisitos de la reglamentación es necesario verificar el monitoreo y ésta no debe ser ejecutada por la misma organización que se encarga de monitorear el control de los procesos. Esta responsabilidad debe recaer en un organismo de ejecución con poderes legales para hacer cumplir las normas de calidad, códigos de práctica y otras normas pertinentes. Por lo general, la verificación del cumplimiento del monitoreo está a cargo del ministerio de salud debido a que los problemas de salud son primordiales en los sistemas de uso de aguas residuales (véase la sección 4.4).

Un programa de monitoreo exitoso debe ser eficiente en función de los costos (solo se debe recolectar y analizar datos esenciales); proporcionar una cobertura adecuada (solo los sectores representativos del sistema); debe ser confiable (muestreo representativo, análisis exacto con un control de calidad analítico y con un manejo y almacenamiento apropiado de la información y preparación de informes) y debe ser oportuno para proporcionar información actualizada que permita a los operadores y funcionarios responsables de la toma de decisiones aplicar medidas correctivas puntuales durante situaciones críticas.

#### **4.3.7 Conciencia y participación pública**

Para lograr la aceptación general de los esquemas de reúso es fundamental que el público participe activamente desde la etapa de planificación hasta la implementación total del proceso. La participación del público empieza desde el primer contacto con los usuarios potenciales, lo cual conlleva a la formación

de un comité asesor y al desarrollo de talleres sobre esquemas de reúso potencial. El continuo intercambio de información entre las autoridades y los representantes públicos garantiza que la aprobación de un programa específico de reúso de agua satisfaga las necesidades de los usuarios reales y las metas reconocidas de la comunidad para la salud, seguridad, inquietudes ecológicas, costos del programa, etc. (Crook y otros, 1992).

La aceptación de los sistemas de reúso depende del éxito que tengan los organismos responsables al explicar el programa completo al público; de la información que brinden sobre la calidad de las aguas residuales tratadas y el modo de usarlas; de la confianza que exista en el manejo local de las instalaciones públicas y en la aplicación de una tecnología aceptada localmente; de la garantía que se ofrezca en cuanto a riesgos y efectos mínimos en la salud y el ambiente que pueda producir el reúso y, principalmente para el uso agrícola, la garantía de sostenibilidad del suministro y la calidad adecuada de las aguas residuales recuperadas para los cultivos previstos.

La figura 4.3 muestra un diagrama de flujo para establecer programas que incluyen a la comunidad implicada en todas las etapas de los proyectos de uso de aguas residuales, desde la planificación hasta la implementación total del proyecto y el cuadro 4.3 presenta un grupo de herramientas para dirigir, educar e informar al público en diferentes niveles de participación.

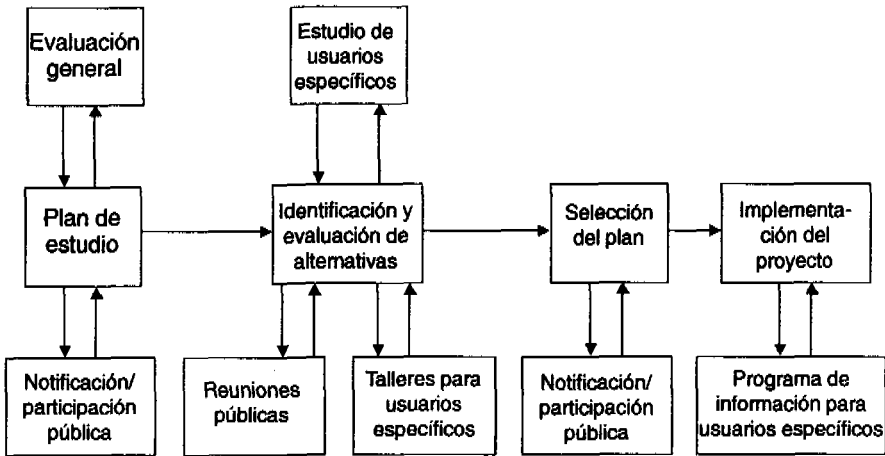
#### **4.4 Aspectos técnicos de la protección sanitaria**

En los proyectos de uso de aguas residuales se logra la protección de la salud mediante la aplicación integral de cuatro medidas principales: tratamiento de aguas residuales, selección y restricción de cultivos, técnicas de riego de aguas residuales y control de la exposición humana.

##### **4.4.1 Tratamiento de aguas residuales**

En un principio, los sistemas de tratamiento de aguas residuales se desarrollaron como respuesta a las condiciones adversas producidas por la descarga de efluentes crudos en las masas de agua. Este enfoque de tratamiento tiene por finalidad remover compuestos orgánicos biodegradables, materia en suspensión y flotante, nutrientes y agentes patógenos. Sin embargo, los criterios para el tratamiento de aguas residuales destinado al riego varían considerablemente. Si bien el propósito es remover el mayor número de patógenos, es necesario conservar algunas sustancias orgánicas biodegradables y la mayoría de los nutrientes disponibles en las aguas residuales.

El cuadro 4.4 resume la eficiencia del tratamiento de aguas residuales para la remoción de patógenos e indica los casos en los que se pueden cumplir las



**Figura 4.3** Flujograma que ilustra el programa de participación pública (Crook y otros., 1992)

**Cuadro 4.3** Remoción de bacterias y helmintos excretados mediante varios sistemas de tratamiento de aguas residuales

Procesos de tratamiento	Remoción (log <sub>10</sub> unidades) de			
	Bacterias	Helmintos	Virus	Quistes
Sedimentación primaria				
Simple	0-1	0-2	0-1	0-1
Con aditivos químicos <sup>1</sup>	1-2	1-3 (G)	0-1	0-1
Lodos activados <sup>2</sup>	0-2	0-2	0-1	0-1
Biofiltración <sup>2</sup>	0-2	0-2	0-1	0-1
Laguna aerada <sup>3</sup>	1-2	1-3 (G)	1-2	0-1
Zanja de oxidación <sup>2</sup>	1-2	0-2	1-2	0-1
Desinfección <sup>4</sup>	2-6	0-1	0-4	0-3
Lagunas de estabilización <sup>5</sup>	1-6 (G)	1-3 (G)	1-4	1-4
Reservorios de almacenamiento del efluente <sup>6</sup>	1-6 (G)	1-3 (G)	1-4	1-4

G Cuando se dispone de un buen diseño y la operación es adecuada, se pueden cumplir las normas recomendadas

1 Es necesario realizar otras investigaciones para confirmar el rendimiento

2 Incluye la sedimentación secundaria

3 Incluye la laguna de sedimentación

4 Cloración u ozonización

5 El rendimiento depende del número de lagunas en serie y de otros factores ambientales

6 El rendimiento depende del tiempo de retención que varía según la demanda

Fuente: Mara y Cairncross, 1989

**Cuadro 4.4** Calidad del efluente de las lagunas de estabilización con un tiempo de retención de 25 días

Ubicación de las lagunas	No. de lagunas en series	Calidad del efluente (cf/100 ml) <sup>1</sup>
Australia, Melbourne	8-11	100
Brasil, Extrabes	5	30
Francia, Cogolin	3	100
Jordán, Amman	9	30
Perú, Lima	5	100
Tunisia, Túnez	4	200

<sup>1</sup> Coliformes fecales por 100 ml

Fuente: Bartone y Arlosoroff, 1987

guías para la categoría A (riego sin restricción) propuestas por la OMS. Los siguientes comentarios generales orientan técnicamente la elección de los sistemas de tratamiento adecuados para el uso de aguas residuales en el riego (Hespanhol, 1990).

#### *Tratamiento convencional primario y secundario*

Las aguas residuales domésticas crudas contienen entre  $10^7$  y  $10^9$  de coliformes fecales por 100 ml. Los sistemas de tratamiento convencional, tales como la sedimentación simple, biofiltración, lagunas de aeración y lodos activados, diseñados principalmente para la remoción de sustancias orgánicas, no pueden remover agentes patógenos ni producir un efluente que cumpla las guías de la OMS para la calidad bacteriológica ( $\leq 1.000$  coliformes fecales por 100 ml). Por lo general, tampoco son eficaces para la remoción de helmintos. A fin de mejorar la efectividad de la remoción de huevos de helmintos en los sistemas convencionales se deben realizar más investigaciones y trabajos de adaptación.

#### *Lagunas de estabilización*

Los sistemas de lagunas son la tecnología preferente para proporcionar efluentes que puedan usarse en la agricultura y acuicultura, principalmente en climas cálidos y donde el terreno tiene un costo razonable (Mara, 1976; Arthur, 1983; Bartone, 1991). Los sistemas de lagunas integrados por unidades anaerobias, facultativas y de maduración, con un tiempo de retención promedio de 10 a 50 días (según la temperatura), pueden producir efluentes que cumplen las guías de la OMS, tanto para la calidad bacteriológica como para helmintos.

Los cuadros 4.5 y 4.6 muestran la confiabilidad de los sistemas de lagunas para cumplir las guías de la OMS y el cuadro 4.6 también muestra su excelente



**Cuadro 4.5** Eficiencia de cinco lagunas de estabilización (16°C de temperatura media) en el noreste de Brasil

Muestra	Tiempo de retención (días)	DBO <sub>5</sub> (mg l <sup>-3</sup> )	Sólidos suspendidos (mg l <sup>-1</sup> )	Coliformes fecales	Nematodos intestinales, huevos por litro
Aguas residuales crudas		240	305	4,6 x 10 <sup>7</sup>	804
Efluente de:					
Laguna anaerobia	6,8	63	56	2,9 x 10 <sup>6</sup>	29
Laguna facultativa	5,5	45	74	3,2 x 10 <sup>5</sup>	1
Laguna de maduración N <sup>o</sup> 1	5,5	25	61	2,4 x 10 <sup>4</sup>	0
Laguna de maduración N <sup>o</sup> 2	5,5	19	43	450	0
Laguna de maduración N <sup>o</sup> 3	5,8	17	45	30	0

Fuentes: Mara y otros, 1983; Mara y Silva, 1986

capacidad para reducir la DBO y los sólidos suspendidos. El volumen 47 de la serie Riego y Drenaje de la FAO, *Wastewater Treatment in Agriculture* (FAO, 1985), proporciona una buena revisión de los sistemas de tratamiento de aguas residuales recomendados para los esquemas de uso de aguas residuales. Las lagunas de estabilización constituyen un sistema de tratamiento adecuado para las condiciones de los países en vías de desarrollo debido a las siguientes ventajas:

- Bajo costo de construcción, operación y mantenimiento.
- No requieren energía.
- Absorben grandes cargas orgánicas e hidráulicas.
- Tratan una gran variedad de residuos industriales y agrícolas.

### Desinfección

La desinfección de las aguas residuales mediante la aplicación de cloro nunca ha tenido éxito en la práctica debido a los altos costos que implica y a la dificultad de mantener un nivel adecuado, uniforme y previsible de eficiencia de la desinfección. Los efluentes que provienen de sistemas convencionales de tratamiento bien operados, tratados con 10-30 mg l<sup>-1</sup> de cloro y un tiempo de contacto de 30 a 60 minutos, consiguen una buena reducción de bacterias, pero no tienen la capacidad de remover huevos de helmintos ni protozoarios. Debido a que un sistema de lagunas de estabilización bien diseñado y operado proporciona un efluente con menos de 1.000 coliformes fecales por 100 ml y menos de un huevo de nematodos intestinales por litro, por lo general no es necesario desinfectar los efluentes destinados al reúso.

**Cuadro 4.6** Evaluación de métodos comunes de riego de acuerdo con el uso de las aguas residuales tratadas

Parámetros de evaluación	Riego por surcos	Riego en los bordes	Riego por aspersión	Riego por goteo
Humedecimiento de las hojas y el consecuente daño que ocasiona un rendimiento bajo	Sin daño en las hojas debido a que el cultivo se ha plantado en los camellones	Algunas hojas en el fondo pueden estar afectadas pero el daño no es tan grave como para reducir el rendimiento	Se puede producir un grave daño en las hojas y reducir considerablemente el rendimiento	Con este método de riego no hay daño en las hojas
Acumulación de sales en la zona de la raíz con aplicación repetida	Las sales tienden a acumularse en los camellones lo cual puede perjudicar el cultivo	Las sales se mueven verticalmente hacia abajo y no hay posibilidad de que se acumulen en la zona de la raíz	El movimiento de las sales es hacia abajo y la zona de la raíz no acumula sales	El movimiento de la sal es radial en la dirección del agua, formándose una cuña de agua salada entre los puntos de goteo
Capacidad para mantener un alto potencial de agua en el suelo	Las plantas pueden estar sujetas a la fuerza del agua entre los riegos	Las plantas pueden estar sujetas a la fuerza del agua entre los riegos	No se puede mantener el alto potencial del agua en el suelo durante el período de crecimiento	Se puede mantener un alto potencial de agua en el suelo durante el período de crecimiento y minimizar el efecto de salinidad
Capacidad para manejar aguas residuales salobres sin pérdidas significativas en el rendimiento	Regular. Con manejo y drenaje buenos, se puede lograr un rendimiento aceptable	Regular. Con un drenaje y riego buenos se puede producir niveles aceptables de rendimiento	Malo. La mayoría de los cultivos tienen hojas dañadas y el rendimiento es bajo	Excelente. Casi todos los cultivos pueden crecer con muy poca disminución del rendimiento

Fuente: Kandiah, 1994b

### *Reservorios de almacenamiento*

La demanda de agua para el riego aparece principalmente en la estación seca o durante períodos específicos del año. Por lo tanto, las aguas residuales destinadas al riego pueden almacenarse en grandes reservorios, naturales o contruidos especialmente, que proporcionan un tratamiento natural, principalmente en términos de remoción de bacterias y helmintos. Estos reservorios se han usado en México e Israel (Shuval, y otros, 1986).

No se dispone de datos suficientes para formular un criterio de diseño adecuado para los reservorios de almacenamiento, pero la remoción de los agentes patógenos depende del tiempo de retención y de la posibilidad de dividir el reservorio en compartimientos. Mientras mayor sea el tiempo de retención y el número de compartimientos en serie, mayor será la eficiencia de remoción de los agentes patógenos. Una recomendación de diseño, que se basa principalmente en datos disponibles de los reservorios de almacenamiento naturales que operan en el valle del Mezquital en México, es proporcionar un tiempo promedio de retención hidráulica mínimo de 10 días y considerar dos órdenes de reducción tanto de los coliformes fecales como de los huevos de helmintos. Por lo tanto, las aguas residuales almacenadas deben contener menos de  $10^2$  de huevos por litro y menos de  $10^5$  de coliformes fecales por 100 ml, a fin de cumplir con las guías de la OMS para el riego sin restricción.

### *Tratamiento terciario*

Los sistemas de tratamiento terciario o avanzado se usan para mejorar la calidad fisicoquímica de los efluentes secundarios biológicos. Después del tratamiento secundario y con el fin de obtener efluentes de alta calidad, se pueden agregar diversas operaciones y procesos, tales como coagulación, floculación, sedimentación, filtración de arena, nitrificación y desnitrificación, adsorción de carbono, intercambio de iones y electrodiálisis. No se recomienda usar estas unidades en los países en vías de desarrollo para el tratamiento de aguas residuales destinadas al reúso debido a los altos costos operacionales y de capital que implican y a la necesidad de personal altamente calificado para su operación y mantenimiento.

Si el objetivo es mejorar los efluentes de las plantas biológicas (principalmente en términos de bacterias y helmintos) para el riego de los cultivos o para la acuicultura, una opción más apropiada es agregar una o dos lagunas de "pulimento" como tratamiento terciario. Si no se dispone de terrenos adecuados para tal propósito, se debe considerar unidades de filtración gruesa de flujo horizontal y vertical (que se hayan utilizado para el pretratamiento de aguas turbias antes de la filtración lenta de arena). Estas unidades de bajo

costo y que ocupan un área relativamente pequeña, han demostrado ser eficaces en el tratamiento de efluentes secundarios y en la remoción de una cantidad considerable de nematodos intestinales. En la literatura se puede encontrar información más detallada sobre la eficiencia del diseño, operación y remoción de los filtros de sedimentación (Wegelin, 1986; Wegelin y otros, 1991).

#### *Tratamiento de lodos*

El exceso de lodo producido por las plantas de tratamiento biológico sirve como nutriente para las plantas y como mejorador de suelos. También puede usarse en la agricultura o para fertilizar las lagunas de acuicultura. Sin embargo, los procesos de tratamiento biológico hacen que los contaminantes orgánicos e inorgánicos y agentes patógenos se concentren en el lodo sobrante. Por la disponibilidad de nutrientes y humedad, los huevos de helmintos pueden sobrevivir y permanecer viables durante un año. Si durante el proceso de manipulación se tiene el cuidado adecuado, el lodo crudo puede aplicarse en zanjas y cubrirse con una capa de tierra. Esto debe hacerse antes de la estación de siembra y se debe evitar plantar tubérculos, tales como betarragas y papas a lo largo de las zanjas.

Para garantizar el uso seguro del lodo en la agricultura se pueden aplicar los siguientes métodos de tratamiento:

- Almacenamiento de 6 a 12 meses, a temperatura ambiente en climas cálidos.
- Digestión anaerobia mesofílica (alrededor de 35 °C), que elimina 90 a 95% del total de los huevos parásitos, pero solo 30 a 40% de los huevos *Ascaris* (Gunnerson y Stuckey, 1986).
- Digestión anaerobia termófila (alrededor de 55 °C) durante un período de aproximadamente 13 días para asegurar la inactivación total de los agentes patógenos. Los reactores continuos pueden permitir el paso de agentes patógenos, por consiguiente, el proceso de digestión debe realizarse en forma discontinua (Strauss, 1985).
- El compostaje de lodos por aeración forzada con residuos sólidos domésticos u otro agente orgánico de aglomeración, tales como astillas de madera, durante 30 días a una temperatura de 55 a 60 °C seguidas por un proceso de maduración de dos a cuatro meses a temperatura ambiental, producirá un abono estable y libre de patógenos (Obeng y Wright, 1987).

#### **4.4.2 Selección de cultivos**

Según las guías de la OMS (véase el cuadro 4.2), el riego de algunos cultivos, principalmente de aquellos que se consumen crudos, necesitan aguas residuales de alta calidad microbiológica. Sin embargo, se acepta una calidad inferior

para el riego de ciertos tipos de cultivos y niveles de exposición de los grupos en riesgo, ya que las aguas de calidad inferior afectarán a los consumidores y a otros grupos expuestos, como los agricultores y los que manipulan los cultivos. Por ejemplo, el riego de cultivos que generalmente se consumen cocidos, como las papas o los cultivos industriales como el algodón y el sisal, no requiere aguas residuales de alta calidad.

Los cultivos pueden agruparse en dos grandes categorías según el grupo de personas con probabilidad de exposición y la necesidad de medidas de protección sanitaria:

*Categoría A.* La protección la requieren los consumidores, agricultores y el público en general. Esta categoría incluye cultivos que se pueden consumir crudos, frutas irrigadas por aspersión, campos deportivos, parques y jardines públicos.

*Categoría B.* La protección es requerida exclusivamente para los agricultores, ya que si los cultivos fueran regados con aguas residuales, no habría ningún riesgo microbiológico para la salud asociado con el consumo de los cultivos (no hay ningún riesgo para los consumidores porque los cultivos de esta categoría no se consumen crudos o se procesan antes de ser distribuidos al consumidor). Esta categoría incluye cereales, cultivos industriales, cultivos alimenticios para conservas, forraje, pastizales y árboles. También puede incluirse algunos cultivos vegetales, siempre que no se coman crudos (papas y guisantes) o si crecen sobre la superficie del suelo (ajíes, tomates y frijoles verdes). En tales casos, es necesario verificar que el cultivo no se ha contaminado durante el riego por aspersión o al caer al suelo y que la contaminación por utensilios de cocina, antes de cocinarlos, no va a originar riesgos a la salud.

De la práctica de restricción de cultivos se infiere que los cultivos que pueden regarse con aguas residuales están restringidos a la categoría B. Esta categoría protege a los consumidores pero es necesario tomar medidas preventivas adicionales para los agricultores.

A pesar de parecer simple y sencillo, en la práctica es muy difícil ejecutar y hacer cumplir las políticas de restricción de cultivos. Una política de restricción de cultivos es eficaz para la protección sanitaria solo si se implementa y cumple en su totalidad. Requiere un marco institucional sólido y la capacidad de monitorear y controlar la conformidad con las normas establecidas para la restricción de cultivos. Los agricultores deben considerar la importancia y necesidad de una política de restricción y ser asesorados para desarrollar una combinación equilibrada de cultivos que haga uso total de las aguas residuales parcialmente tratadas disponibles. Las posibilidades de éxito son mayores cuando:

- la sociedad cumple las leyes regularmente o se hace cumplir externamente la política de restricción;
- un organismo público controla la distribución de las aguas residuales bajo un estricto manejo central;
- hay una demanda adecuada de los cultivos permitidos bajo la política y se venden a un precio razonable;
- hay poca presión del mercado a favor de los cultivos de la categoría A.

La restricción de los cultivos no proporciona protección sanitaria a los esquemas de acuicultura porque en muchos lugares los peces y macrofitas cultivados en las lagunas fertilizadas con aguas residuales o excretas se consumen crudos. Un enfoque alternativo y prometedor, practicado en muchas partes del mundo, es cultivar lentejas de agua (*Lemna* sp.) en lagunas de aguas residuales. Luego, la lenteja de agua se recolecta, se seca y se usa para alimentar peces de alto valor cultivados en lagunas de agua dulce. Se puede aplicar el mismo enfoque para producir harina de pescado destinada a animales (incluidos peces) mediante la cría de peces en lagunas de aguas residuales para usarlos en la producción de harina de pescado.

#### 4.4.3 Técnicas de riego

Los diferentes métodos que utilizan los agricultores en el riego de cultivos pueden clasificarse en cinco tipos (Kandiah, 1994b):

- Riego por inundación: el agua se aplica en todo el terreno para que se infiltre en el suelo (inundación de los contornos, bordes y cuencas).
- Riego por surcos: el agua se aplica entre los surcos (en distintos niveles, surcos en los contornos, corrugaciones). El agua alcanza el surco (donde se concentran las raíces de las plantas) por acción capilar.
- Riego por aspersión: el agua se aplica por rociamiento y llega al suelo en forma de lluvia (rociadores portátiles y fijos, rociadores móviles, pistolas rociadoras, sistemas giratorios).
- Riego subsuperficial: el agua se aplica debajo de la zona de la raíz, de tal manera que la humedece por la ascensión capilar (canales subterráneos y tuberías enterradas).
- Riego localizado: el agua se aplica alrededor de cada planta o grupo de plantas para humedecer solo la zona de la raíz (riego por goteo, burbujas, microrrociadores).

El método de riego seleccionado depende de las condiciones del abastecimiento de agua, clima, suelo, tipo de cultivo, costo y la capacidad del agricultor para controlar el sistema.

**Cuadro 4.7** Diferentes niveles de herramientas para que el público participe en la decisión de usar aguas residuales

Propósito	Herramientas
Educación e información	Artículos de periódicos, programas de radio y televisión, discursos y presentaciones, visitas de observación, exhibiciones, anuncios de información, programas escolares, películas, folletos y boletines, informes, cartas, charlas
Revisión y reacción	Resúmenes, reuniones públicas, audiencia pública, encuestas y cuestionarios, método de preguntas y respuestas, anuncios sobre líneas para consultas por teléfono
Diálogo de interacción	Talleres, grupos de estudio especiales, entrevistas, consejos consultivos, contactos informales, discusiones de grupos de estudio, seminarios

Fuente: Crook y otras, 1992

Hay muchas posibilidades de reducir los efectos negativos del uso de aguas residuales en el riego mediante la selección de métodos apropiados. La elección del método depende de los siguientes factores técnicos:

- El tipo de cultivo que se va a regar.
- El humedecimiento de hojas, frutos y partes aéreas.
- La distribución de agua, sales y contaminantes en el suelo.
- La facilidad con la que el suelo puede mantener un alto potencial hídrico.
- La eficiencia de la aplicación.
- El potencial para contaminar a los agricultores y el ambiente.

El cuadro 4.7 analiza estos factores de acuerdo con cuatro métodos de riego que se practican ampliamente, tales como el riego por bordes, por surcos, por aspersión y por goteo.

Un sistema de riego por bordes (así como una cuenca o cualquier riego por inundación) implica que la superficie del suelo estará totalmente cubierta por aguas residuales tratadas y, por lo general, no constituye un método eficaz de riego. Este sistema contamina los cultivos de raíces y vegetales que crecen cerca del suelo y, más que cualquier otro método, expone a los trabajadores de campo a los agentes patógenos de las aguas residuales. Por lo tanto, en lo que se refiere tanto a la salud como a la conservación del agua, el riego por bordes con aguas residuales no es satisfactorio.

El riego por surcos no humedece toda la superficie del suelo y puede reducir la contaminación del cultivo porque las plantas crecen en los surcos. No se puede garantizar la protección total de la salud y el riesgo de contaminación de

los trabajadores agrícolas es potencialmente de medio a alto, según el grado de automatización del proceso. Si las aguas residuales tratadas se transportan a través de las tuberías y se suministran por surcos individuales mediante tuberías de compuertas, el peligro para quienes riegan es mínimo. Para evitar el estancamiento de las aguas residuales, lo que puede ocasionar el desarrollo de vectores de enfermedades, se debe nivelar el terreno cuidadosamente y crear gradientes apropiados en el terreno.

Por lo general, los métodos de riego por aspersión y rociamiento son más eficaces en el uso del agua porque pueden lograr una mayor uniformidad de aplicación. Sin embargo, tales métodos pueden contaminar los cultivos subterráneos, los árboles frutales y a los agricultores. Además, los agentes patógenos contenidos en el aerosol de las aguas residuales pueden ser transportados por el viento y producir un riesgo de salud para los vecinos. En general, los sistemas mecanizados o automatizados tienen costos de capital relativamente altos y costos laborales bajos en comparación con los sistemas de aspersión operados manualmente. Los sistemas por aspersión necesitan que el terreno se nivele para evitar una pérdida excesiva de carga y lograr un riego uniforme. Los sistemas por aspersión se ven más afectados por la calidad del agua que los sistemas de riego superficial debido, principalmente, a la obstrucción de los orificios de los rociadores y también a la acumulación de sedimentos en las tuberías, válvulas y sistemas de distribución. También existe el potencial de fitotoxicidad y de que las hojas se quemem cuando las aguas residuales son salinas y con alto contenido de elementos tóxicos. Los sistemas de tratamiento secundario que cumplen las guías microbiológicas de la OMS, generalmente producen un efluente apropiado para la distribución mediante rociadores, siempre que las aguas residuales no sean demasiado salinas. A menudo se adoptan medidas preventivas, tales como el tratamiento con filtros de arena o microtamices y la ampliación de la boquilla del orificio a más de 5 mm de diámetro.

El riego localizado, principalmente cuando la superficie del suelo está cubierta con revestimiento plástico o tierra mejorada, aprovecha el efluente más eficientemente. La producción del cultivo es mayor y, sin duda, proporciona mayor protección sanitaria a los agricultores y consumidores. Sin embargo, los sistemas de riego por percolación y por goteo son costosos y requieren aguas residuales tratadas de alta calidad para evitar la obstrucción de los orificios por donde sale el agua. Una técnica relativamente nueva denominada "riego por burbujeo", desarrollada para el riego localizado de árboles, descarta la necesidad de orificios pequeños. Por consiguiente, este sistema requiere menos tratamiento de las aguas residuales pero necesita un ajuste cuidadoso para que su aplicación sea exitosa.



En comparación con otros sistemas, las principales ventajas del riego por goteo son:

- Mayor crecimiento y rendimiento de cultivos por la optimización del agua, nutrientes y regímenes de aire en la zona de la raíz.
- Alta eficiencia del riego porque no hay pérdidas por interceptación del follaje, dirección del viento o conducción y las pérdidas de drenaje son mínimas.
- Contacto mínimo de los agricultores con las aguas residuales.
- Necesidad de poca energía debido a que el sistema por goteo requiere una presión de agua de solo 100 a 300 kPa (1-3 barías).
- Necesidad de poca mano de obra debido a que el sistema por goteo puede ser automatizado fácilmente e inclusive permitir un riego y fertilización combinados.

Además de los altos costos de capital de los sistemas de riego por goteo, otra limitación para su uso es que son más apropiados para el riego de cultivos plantados en surcos. La reubicación de los sistemas subsuperficiales puede tener costos prohibitivos.

Las prácticas de manejo especial que puedan ser necesarias cuando se usan aguas residuales para el riego, incluyen el riego antes del sembrado, mezcla de aguas residuales con otras fuentes y aguas residuales tratadas alternadas con otras fuentes de suministro.

La cantidad de aguas residuales que se va a aplicar depende de la tasa de evapotranspiración de la superficie de las plantas, la cual está determinada por factores climáticos y, por lo tanto, se puede calcular con exactitud mediante datos meteorológicos. Una extensa revisión sobre este tema se puede encontrar en FAO (1994).

#### **4.4.4 Control de la exposición humana**

Las personas más susceptibles al riesgo potencial del uso de aguas residuales en la agricultura son los agricultores y sus familias, quienes manipulan los cultivos y los consumidores de los cultivos, carne y leche provenientes de terrenos regados con aguas residuales. Los métodos básicos para eliminar o minimizar la exposición depende de los grupos destinatarios. Los agricultores y manipuladores de cultivos están expuestos a riesgos potenciales mayores asociados principalmente con infecciones parasitarias. La protección puede lograrse mediante:

- el uso de calzado apropiado para reducir la infección por anquilostomas;
- el uso de guantes (principalmente para los manipuladores de cultivos);
- educación sanitaria;

- higiene personal;
- vacunación contra la fiebre tifoidea y hepatitis A y B;
- quimioterapia periódica para infecciones intensas por nematodos en niños y control de la anemia;
- provisión de establecimientos médicos adecuados para tratar las enfermedades diarreicas.

La protección de los consumidores puede lograrse mediante:

- la cocción de los vegetales y carnes y hervido de la leche;
- un alto nivel de higiene personal y alimentaria;
- campañas de educación sanitaria;
- la inspección de la carne, cuando hay riesgo de infección por tenias;
- la interrupción de la aplicación de aguas residuales al menos dos semanas antes de que paste el ganado (cuando hay riesgo de cisticercosis bovina);
- la interrupción del riego de árboles frutales dos semanas antes de la recolección de frutas y no permitir que sean recogidas del suelo;
- información sobre la ubicación de los terrenos regados con aguas residuales junto con la colocación de advertencias en los bordes de los terrenos.

No existe evidencia epidemiológica de que los aerosoles de los rociadores ocasionen riesgos significativos de contaminación por agentes patógenos a las personas que viven cerca de terrenos irrigados con aguas residuales. Sin embargo, se debe mantener una distancia mínima de 100 m entre los terrenos regados por aspersión y las casas y caminos con el fin de permitir un margen razonable de seguridad y minimizar la molestia causada por los olores.

#### **4.4.5 Medidas integrales para la protección de la salud**

Los planificadores y los responsables de tomar decisiones consideran que el tratamiento de aguas residuales es la medida más directa y “visible” para la protección sanitaria y en segundo lugar está la restricción de cultivos. Sin embargo, ambas medidas son relativamente difíciles de implementar en su totalidad. El primero se ve limitado por problemas de costos y de operación y el segundo por la falta de mercados adecuados para los cultivos permitidos o por limitaciones legales e institucionales. Sin embargo, la aplicación de medidas simples y aisladas no brinda una protección total a los grupos en riesgo y pueden implicar costos elevados en la implementación y mantenimiento. Por ejemplo, cuando se aplica solo la restricción de cultivos, se brinda protección a los consumidores de cultivos pero no a los agricultores.

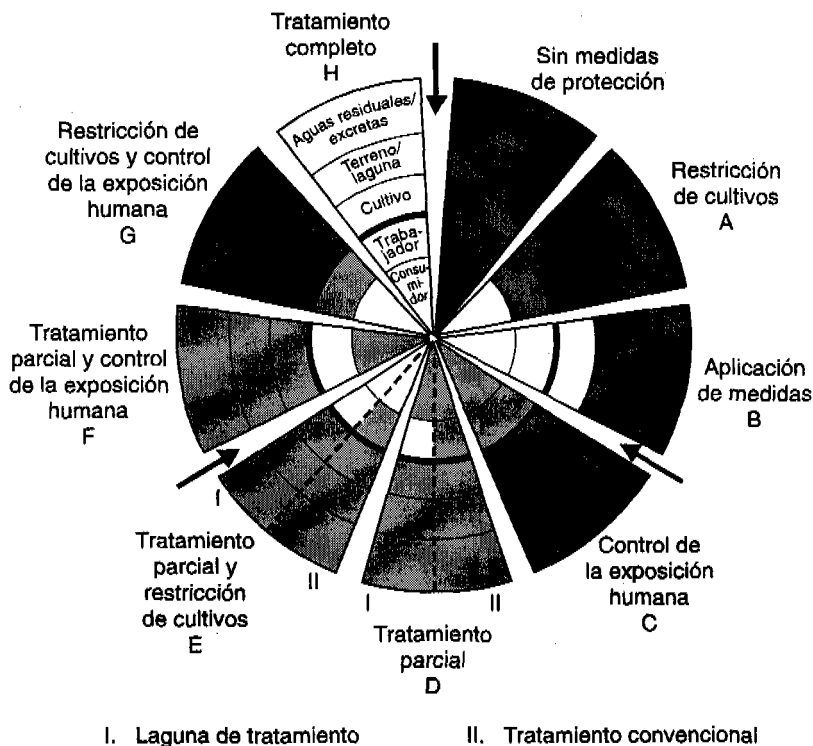
Para analizar las diversas medidas de manera integral con el objetivo de optimizar un esquema de protección sanitaria, se ha propuesto un modelo generalizado (Mara y Cairncross, 1989; OMS, 1989). Este modelo fue diseñado

para apoyar la toma de decisiones al presentar una gama de opciones a fin de proteger a los agricultores y a los consumidores de cultivos y permitir flexibilidad para responder ante diferentes situaciones. Cada situación puede considerarse por separado y la opción más apropiada debe elegirse en función de los factores económicos, culturales y técnicos.

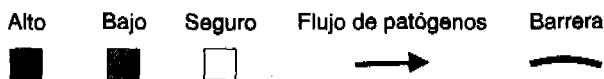
La concepción gráfica del modelo se muestra en la figura 4.4. Se considera que los agentes patógenos fluyen hacia el centro del círculo atravesando cinco anillos concéntricos que representan las aguas residuales o excretas, los terrenos regados, lagunas de peces alimentados con aguas residuales, cultivos, agricultores y consumidores. El anillo negro grueso representa la barrera que los patógenos no deben pasar si se desea proteger a los grupos en riesgo. El nivel de contaminación de las aguas residuales, campo, cultivo o el nivel del riesgo de los consumidores o trabajadores, está indicado por la intensidad de sombreado en la figura. Las áreas blancas en las tres bandas exteriores indican que no hay ningún nivel significativo de contaminación y, en los anillos internos, indican la ausencia del riesgo a la salud de los seres humanos, lo cual implica que la estrategia conllevará al uso seguro de las aguas residuales. Si no se toman medidas preventivas, tanto los trabajadores de campo como los consumidores estarán en riesgo máximo de contaminación. En el supuesto caso de que se haga cumplir la política de restricción de cultivos (régimen A en la figura 4.4), los consumidores estarán a salvo pero los trabajadores todavía estarán en alto riesgo. El régimen B considera la aplicación de las aguas residuales mediante el riego subsuperficial o localizado para evitar así la contaminación de los cultivos y, en consecuencia, mantener tanto a los trabajadores como a los consumidores virtualmente libres de contaminación.

Si la única medida preventiva que se ha tomado es el control de la exposición humana, tanto los consumidores como los agricultores todavía estarán expuestos al mismo nivel de riesgo debido a que tales medidas rara vez son totalmente eficaces en la práctica. El régimen D implica el tratamiento parcial de las aguas residuales a través de sistemas de lagunas (D-I) o convencionales (D-II). Las lagunas de estabilización con un tiempo de retención promedio de 8 a 10 días pueden remover una proporción significativa de huevos de helmintos y, por lo tanto, protegen a los agricultores. Sin embargo, no basta reducir las bacterias presentes para cumplir las guías de la OMS, por ello, el riesgo de los consumidores permanece alto. Como los sistemas de tratamiento convencionales no son eficaces para remover helmintos, habrá algún riesgo tanto para los consumidores como para los agricultores.

Los regímenes E, F y G son ejemplos de las posibles asociaciones de las medidas preventivas. El régimen E combina el tratamiento parcial de las aguas



Clave para el nivel de contaminación (bandas externas)/Riesgo (bandas internas)



**Figura 4.4** Modelo que ilustra el efecto de las medidas de control en la reducción de los riesgos a la salud por el uso de aguas residuales (Mara y Cairncross, 1989, OMS, 1989)

residuales con la restricción de cultivos y proporciona así un gran margen de protección a los consumidores. Sin embargo, la protección total de los agricultores solo puede lograrse si el tratamiento se realiza con sistemas bien diseñados de lagunas de estabilización. En el régimen F, el control de la exposición humana se combina con el tratamiento parcial que puede conllevar a la protección total de los trabajadores pero a un bajo nivel de riesgo para los consumidores de los cultivos. La asociación de la restricción de cultivos con el control de la exposición humana (régimen G) proporciona protección total a

los consumidores pero los agricultores están expuestos a algún riesgo. Por último, el régimen H proporciona un tratamiento completo de aguas residuales que permite la protección total tanto para los agricultores como para los consumidores.

La factibilidad y eficacia de cualquiera de las combinaciones de las medidas preventivas dependerá de varios factores locales que se deben considerar cuidadosamente antes realizar la elección final. Algunos factores que se deben considerar son la disponibilidad de los recursos institucionales, humanos y financieros, el nivel tecnológico existente (ingeniería y prácticas agronómicas), aspectos socioculturales y el patrón predominante de enfermedades relacionadas con excretas.

#### **4.5 Conclusiones y recomendaciones**

La incorporación de la planificación del uso de aguas residuales en el plan nacional de recursos hídricos y agrícola es importante, especialmente cuando hay escasez de agua. No solo protege las fuentes de agua de alta calidad, sino que también minimiza los costos de tratamiento de aguas residuales, asegura la salud pública y obtiene el máximo beneficio para la agricultura y acuicultura por los nutrientes que contienen las aguas residuales. El uso de aguas residuales puede ayudar a reducir los costos, principalmente si se considera antes de construir nuevas plantas de tratamiento, debido a que las normas de los efluentes para los distintos tipos de uso pueden significar costos menores a los de la protección ambiental normal. También permite recuperar los recursos invertidos en el alcantarillado y es una manera muy eficaz de aplazar la inversión de nuevos recursos en el abastecimiento de agua (Laugeri, 1989).

El uso de aguas residuales se ha aplicado en muchas partes del mundo por siglos. Cuando no se dispone de agua de buena calidad o es difícil de obtener, se utilizan aguas de baja calidad tales como aguas salobres, aguas residuales o aguas drenadas, principalmente en la agricultura o acuicultura. Lamentablemente, esta forma de reúso no planificado y, en muchos casos inconsciente, se realiza sin considerar medidas preventivas de salud, sin tomar en cuenta prácticas ambientalmente seguras ni principios de agronomía y agricultura.

Las autoridades, principalmente los ministerios de salud y agricultura, deben investigar las prácticas actuales de reúso de aguas residuales y tomar medidas graduales para mejorar las prácticas de salud y agronomía. Esta investigación preliminar proporcionará las bases para definir claramente las prioridades y establecer las estrategias nacionales para el reúso.

El siguiente paso es la implementación de un marco institucional intersectorial. Esta entidad debe saber manejar los temas tecnológicos, de salud,

ambientales, económicos, financieros y socioculturales. También debe asignar responsabilidades y capacitar para realizar la operación y mantenimiento del tratamiento y de los sistemas de distribución y riego, así como para monitorear, vigilar y cumplir las normas del efluente y los códigos de práctica.

En los países con poca o sin experiencia en el reúso planificado, es recomendable implementar y operar un proyecto piloto. Esta unidad experimental debe incluir sistemas de tratamiento, distribución y riego y proporcionar una base para establecer normas y códigos de práctica nacionales que luego puedan adaptarse totalmente según las condiciones y capacidad local. Una vez completada la fase experimental, el sistema puede transformarse en un proyecto de demostración y capacitación para difundir la experiencia local a los países vecinos.

#### 4.6 Referencias

- Arthur, J.P. 1983 *Notes on the Design and Operation of Waste Stabilization Ponds in Warm Climates of Developing Countries*. Technical Paper No. 7, Banco Mundial, Washington, D.C.
- Bartone, C.R. 1985 Reuse of wastewater at the San Juan de Miraflores stabilization ponds: public health, environmental, and socio-economic implications. *PAHO Bulletin*, **19**(2), 147-164.
- Bartone, C.R. 1991 International perspective on water resources management and wastewater use –appropriate technologies. *Wat. Sci. Tech.*, **23**, 2039-2047.
- Bartone, C.R., Arlosoroff, S. 1987 Irrigation reuse of pond effluents in developing countries. *Wat. Sci. Tech.*, **19**(12), 289-297.
- Bartone, C., Moscoso, J., Nava, H., 1990 Reuse of waste stabilization effluents for fishculture: productivity and sanitary quality results. En: Charles R. O'Melia [Ed.] *Environmental Engineering*. Proceedings of the 1990 Speciality Conference, Arlington, Virginia, 8-11 julio 1990, American Society of Civil Engineers, Nueva York, 673-680.
- Bartone, C., Moscoso, J., Nava, H., Mocetti, N. 1986 Aquaculture with treated wastewater: a status report on studies conducted in Lima, Perú. En: S.J. Cointreau [Ed.] *Applied Research and Technology. Technical Note No. 3, Integrated Resource Recovery Project*. PNUD/Banco Mundial, Washington, D.C.
- Biswas, A.K. 1988 Role of wastewater reuse in water planning and management. En: A.K. Biswas, A. Arar [Eds] *Treatment and Reuse of Wastewater*. Butterworths, Londres, 3-15

- CNA, 1993 *Información general de los distritos de riego 03 Tula y 100, Alfajayucan, Gerencia Estatal, Pachuca, Hidalgo, México*. Comisión Nacional de Aguas, Ciudad de México.
- Cobham, R.O., Johnson, P.R. 1988 The use of treated effluent for irrigation: case study from Kuwait. En: M.B. Pescod y A. Arar (Eds) *Treatment and Use of Sewage Effluent for Irrigation*. Butterworths, Londres, 289-305.
- Crook, J., Ammerman, D.K., Okun, D.A., Matthews, R.L. 1992 *Guidelines for Water Reuse*. Camp Dresser & McKee, Inc., Cambridge, Massachusetts.
- Cross, P. 1985 Existing practices and beliefs in the utilization of human excreta. En: *Health Aspects of Nighsoil and Sludge Use in Agriculture and Aquaculture*. Part I, IRCWD Report No. 04/85, International Reference Centre for Waste Disposal, Duebendorff, Switzerland.
- Edwards, P. 1992 *Reuse of Human Excreta in Aquaculture – A Technical Review*. UNDP and World Bank Water and Sanitation Programme, Banco Mundial, Washington, D.C.
- FAO 1984 *Guidelines for Predicting Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- FAO 1985 *Water Quality for Agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29, Rev. 1 Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- Farroq, S. y Ansari, Z.I. 1983 Water reuse in Muslim countries –an Islamic perspective. *Environ. Manag.* 7 (2), 119-123.
- Forero, R.S. 1993 Institutional, economic and sociocultural considerations. En: *WHO/FAO/UNCHS/UNEP Regional Workshop for the Americas on Health, Agriculture and Environmental Aspects of Wastewater Use*. Jiutepec, Morelos, México, 8-12 noviembre 1993, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Jiutepec, México.
- Gunnerson, C.G., Stuckey, D.C. 1986 *Anaerobic Digestion, Principles and Practices for Biogas System*. World Bank Technical Paper No. 49, Banco Mundial, Washington D.C.
- Hespanhol, I. 1990 Health and technical aspects of the use of wastewater in agriculture and aquaculture. En: F. Rodrigues [Ed.] *Socioeconomic and Environmental Issues in Water Projects – Selected Readings*. Instituto de Desarrollo Económico del Banco Mundial/Organización Mundial de la Salud, Washington D.C., 157-190.
- Hespanhol, I., Prost, A. 1994 WHO guidelines and national standards for reuse and water quality. *Wat. Res.*, 28(1), 119-124.

- Ikramullah, M. 1994 Integrated duckweed-based aquaculture and rural enterprise promotion project. Ponencia presentada al WHO/FAO/UNCHS/UNEP Regional Workshop on Health, Agricultural and Environmental Aspects of Wastewater and Excreta Use, Nueva Delhi, India, 2-6 mayo 1994.
- Kandiah, A. 1994<sup>a</sup> The use of wastewater in the context of overall water resources planning and policy. Ponencia presentada al WHO/FAO/UNCHS/UNEP Workshop on Health, Agriculture and Environment Aspects of the Use of Wastewater, Harare, Zimbabwe, 31 octubre al 4 noviembre 1994, OMS, Ginebra.
- Kandiah, A. 1994<sup>b</sup> The use of wastewater in irrigation. Ponencia presentada al WHO/FAO/UNCHS/UNEP Workshop on Health, Agriculture and Environment Aspects of the Use of Wastewater, Harare, Zimbabwe, 31 octubre al 4 noviembre 1994, OMS, Ginebra.
- Laugeri, L. 1989 Economic aspects of wastewater reuse. Documento no publicado. Organización Mundial de la Salud, Ginebra.
- Mara, D.D. 1976 *Sewage Treatment in Hot Climates*. John Wiley & Sons, Chichester.
- Mara, D.D., Cairncross, S. 1989 *Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture*. Organización Mundial de la Salud/Programa Ambiental de las Naciones Unidas, Ginebra.
- Mara, D.D., Pearson, H.W., Silva, S.A. 1983 Brazilian stabilization pond research suggests low cost urban applications. *World Wat.*, 6(7), 20-24.
- Mara, D.D., Silva, S.A. 1986 Removal of intestinal nematode eggs in tropical waste stabilization ponds. *J. Trop. Med. Y Hyg.*, 89(2), 71-74.
- Naciones Unidas 1958 *Water for Industrial Use*. Economic and Social Council, Report E/3058ST/ECA/50, Naciones Unidas, Nueva York.
- Obeng, L.A., Wright, F.W. 1987 *The Co-composting of Domestic Solid and Human Wastes*. World Bank Technical Paper No. 57, Banco Mundial, Washington D.C.
- OMS 1989 *Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture*. Technical Report Series No. 778, Informe de una reunión del grupo científico. Organización Mundial de la Salud, Ginebra.
- OMS 1990 *Legal issues in water resource allocation, wastewater use and water supply management*. Report of a Consultation of the FAO/WHO Working Group on Legal Aspects of Water Supply and Wastewater Management, Ginebra 25-27 setiembre 1990. Organización Mundial de la Salud, Ginebra.
- Papadopoulos, I. 1990 *Wastewater Management for Agricultural Production and Environmental Protection in the Near East -A Manual*. Agricultural Research Institute, Nicosia, Chipre.



- Shende, G.B. 1985 Status of wastewater treatment and agricultural reuse with special reference to Indian experience and research and development needs. En: M.B. PESCOD y A. Arar [Eds] *Proceedings of the FAO Regional Seminar on the Treatment and Use of Sewage Effluent for Irrigation*. Nicosia, Chipre, 7-9 octubre, Butterworths, Londres.
- Shuval, H.I., Adin, A., Fattal, B., Rawitz, E., y Yekutieli, P. 1986 *Wastewater Irrigation in Developing Countries – Health Effects and Technical Solutions*. World Bank Technical Paper No. 51, Banco Mundial, Washington, D.C.
- Strauss, M. 1985 Survival of excreted pathogens in excreta and faecal sludges. *IRCWD News*, 23, 4-9, Duebendorff, Switzerland.
- Van der Merwe, B., Peters, I., Menge, J. 1994 Namibia case study. En: *Health, Agricultural and Environmental Aspects of Wastewater and Excreta Use*. Informe de una Joint WHO/FAO/UNEP/UNCHS Regional Workshop, Harare, Zimbabwe, 31 octubre al 4 noviembre 1994, OMS, Ginebra.
- Wegelin, M. 1986 *Horizontal-Flow Roughing Filtration (HRF) – A Design, Construction and Operation Manual*. IRCWD Report No. 06/86, International Reference Centre for Waste Disposal, Duebendorff, Suecia.
- Wegelin y otros 1991 The decade of roughing filters – development of a rural water-treatment process for developing countries. *Aqua*, 40(5), 304-316.



## Capítulo 5\*

### INSTRUMENTOS LEGALES Y REGULADORES

#### 5.1 Introducción

Este capítulo describe los instrumentos legales y reguladores desarrollados por algunos países para que los gobiernos u organismos controlen la contaminación.

Además de los pasos prácticos para tratar los residuos líquidos mediante la construcción de plantas de tratamiento, es necesario regular la descarga de efluentes y controlar las actividades que se llevan a cabo en las áreas de captación de agua y que podrían contaminar el agua. Este capítulo examina enfoques alternativos que abarcan desde el control de la fabricación y uso de materiales peligrosos o contaminantes (identificados mediante inventarios y herramientas de evaluación de riesgos) hasta el desarrollo de normas para descarga de efluentes. Se describe el uso de los objetivos de la calidad del agua y los valores límites de emisión como enfoques para el desarrollo de normas a fin de controlar los efluentes, así como el uso de autorizaciones de procesos como una alternativa de control de la contaminación frente al simple control al final del proceso industrial. La minimización de residuos y el uso de tecnologías más limpias también pueden reducir en gran medida la contaminación. Los mecanismos adecuados de coerción son un requisito previo para que el control de la contaminación tenga éxito. Se consideran las dificultades que se presentan al tratar fuentes no puntuales de contaminación, tales como los problemas agrícolas asociados con la materia orgánica, el enriquecimiento por nutrientes y el control de plaguicidas, así como la escorrentía urbana de carreteras y la contaminación por rebose de alcantarillado pluvial. Por último, se sugiere algunos medios para enfrentar los problemas de la contaminación transfronteriza.

Es importante recalcar que existen varias alternativas para controlar la contaminación mediante reglamentos y son los encargados de tomar las decisiones quienes deben examinar cada situación particular para elegir cuál podría ser la mejor. En el capítulo 1 se proporciona más detalles sobre el tema. Los instrumentos reguladores descritos en este capítulo se pueden aplicar a

\* *Este capítulo fue preparado por P.A. Chave*

todas las aguas naturales, es decir, a las aguas dulces superficiales, aguas subterráneas, estuarios y aguas costeras.

Es importante considerar que ningún sistema de control puede reunir todos los requisitos para manejar una determinada situación. En la práctica, es necesario combinar los mecanismos disponibles, incluidos los regímenes legales, reguladores y financieros para mejorar el control de la contaminación. Aunque este capítulo trata sobre los posibles medios reguladores, se debe considerar el desarrollo de sistemas financieros de cobros por contaminación durante o antes de la reglamentación para promocionar las buenas prácticas y desalentar la sobreproducción de contaminantes potenciales y el uso desmedido de las plantas de tratamiento. Estos mecanismos pueden ser muy útiles principalmente cuando los problemas de contaminación se deben a la gran cantidad de pequeñas industrias, como es el caso de muchas áreas urbanas de los países en vías de desarrollo.

Otro tema que se debe considerar es el monto de la inversión requerida para cumplir las normas que entran en vigencia. Cuando no se dispone del financiamiento adecuado, las normas no se pueden cumplir y su utilidad práctica se limita. Este es un aspecto muy importante de la política que los gobiernos deben examinar.

En la mayoría de los países, el control de la descarga de sustancias que pueden contaminar las aguas naturales se ha limitado a autorizaciones específicas relacionadas con efluentes de fuentes puntuales. Estas se pueden reconocer fácilmente y las sanciones legales se pueden aplicar al someter las descargas a un régimen de licencias que incluye condiciones que el contaminador debe cumplir. La complejidad del control total de la contaminación y la posible inversión de los contaminadores para evitarla han conllevado al desarrollo de varios enfoques alternativos. Este capítulo examina los regímenes reguladores que se pueden aplicar a las fuentes puntuales y no puntuales de contaminación e incluye ejemplos de su uso en varios países del mundo.

## **5.2 Inventarios para el control de contaminación**

Para identificar la necesidad de establecer medidas de control de la contaminación y ayudar a los reguladores a enfocar los problemas más significativos (con uso eficaz de los escasos recursos) y evaluar los cambios necesarios en las disposiciones legales, es necesario conocer las fuentes y los tipos de contaminantes. Varios países son conscientes de los beneficios de este enfoque y han establecido requisitos para las encuestas o inventarios de contaminación en su legislación nacional. Sin embargo, estos inventarios por

lo general cuantifican la contaminación observada y son solo informes de los resultados de las encuestas de contaminación.

Recientemente, se han reconocido los beneficios de las medidas orientadas al control de la contaminación y se han establecido y se están estableciendo inventarios (por lo general, de carácter legal) en muchos países. Estos son de dos tipos: por sustancias y cargas contaminantes.

### **5.2.1 Inventarios de sustancias**

Se han establecido varios inventarios de sustancias específicas. En 1974, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) decidió establecer un registro de productos químicos y una red para el intercambio de información. En 1977, se inició el Registro Internacional de Químicos Potencialmente Tóxicos (RIQPT), con sede en Ginebra. El objetivo principal del RIQPT es poner los datos sobre productos químicos a disposición de quienes los necesiten. Esto es posible mediante un servicio de consulta apoyado por diversas bases de datos y una biblioteca. La principal base de datos químicos del RIQPT (el "archivo principal") está disponible en el mercado como un paquete para computadoras personales desde fines de 1994. El Registro está dirigido específicamente a los países en vías de desarrollo en donde muchas veces es difícil acceder a tales datos.

En los Estados Unidos se estableció el Inventario de Descarga Tóxica (IDT) bajo la Emergency Planning and Community Right-to-Know Act de 1986. El IDT es una recopilación de información sobre descargas de compuestos tóxicos en el aire, tierra y agua en toda la nación. Se encuentra disponible en bibliotecas y es un recurso importante tanto para los funcionarios como para el público a fin de descubrir la presencia y cantidad de sustancias químicas potenciales de alto riesgo en localidades específicas. Esta información es suministrada por los contaminadores potenciales. Las industrias deben reportar datos si tienen 10 o más empleados, si producen o usan determinados productos químicos en ciertas cantidades, o si llevan a cabo operaciones manufactureras específicas.

El Canadá ha desarrollado, de conformidad con la Ley Canadiense de Protección Ambiental de 1988, una Lista de Sustancias Prioritarias que incluye a las sustancias que deben ser sometidas a pruebas para establecer el grado y la naturaleza de los riesgos asociados (si los hubiera). Para estimular la participación pública en el proceso, se permite a los ciudadanos solicitar que una determinada sustancia sea incluida en la lista.

El Reino Unido también ha introducido un inventario de descargas químicas en su Ley de Protección Ambiental de 1990. Se aplica a procesos autorizados como parte de las disposiciones del control integral de la contaminación de la

Ley, es decir, a la mayoría de los procesos que usan o fabrican compuestos químicos peligrosos. Anualmente se introduce en el inventario las descargas de los contaminantes en el aire, tierra y agua de acuerdo con los archivos de un registro legal público que describe la operación de las plantas industriales pertinentes. El inventario también proporciona información adicional al público.

En la Unión Europea (UE), el Consejo de Ministros adoptó el Reglamento de Sustancias Existentes (793/93/CEE) el 23 de marzo de 1993 (CEE, 1992). Este identifica, en un anexo, aproximadamente 1.500 toneladas de compuestos químicos incluidos en el Inventario Europeo de Sustancias Químicas Comerciales (IESQC) que se producen o importan a la UE en cantidades superiores a 1.000 t a<sup>-1</sup>. Los datos de estas sustancias se deben reportar a la Comisión Europea (CE), que mediante procedimientos comunes elabora una lista de prioridades para la evaluación integral de riesgos. Esta lista se usa para determinar la necesidad de adoptar mejores medidas de control, incluidas las restricciones en el suministro y uso y las prohibiciones de determinadas sustancias. Por lo general, esto es posible mediante disposiciones de la Directiva de Comercialización y Uso (76/769/CEE) que regula el control de los estados miembros en la comercialización y uso de sustancias peligrosas. La directiva establece un marco para la prohibición o restricción de sustancias e incluye un anexo que restringe ciertos productos químicos. Los datos básicos se obtienen de la base de datos de IESQC.

Desde 1979 se ha informado sobre nuevos productos químicos a la CE en conformidad con la Directiva de Sustancias Peligrosas (67/548/CEE), conocida también como la Directiva de Clasificación, Envasado y Etiquetado. Esta directiva estableció un sistema para el etiquetado de los productos químicos peligrosos con indicación de sus efectos en los seres humanos y sus propiedades físicas, así como un protocolo de notificación para los productos químicos que se encuentran en el mercado en cantidades superiores a 1 t a<sup>-1</sup>. La 12<sup>a</sup> modificación para el progreso técnico (Directiva 91/325/CEE), adoptada en 1991, proporciona una metodología para clasificar las sustancias "*peligrosas para el ambiente*". Por consiguiente, es necesario evaluar los efectos ambientales tanto de las sustancias nuevas como de las existentes y tomar las medidas necesarias para controlar su posible impacto.

La Directiva de la Comunidad Europea 76/464/CEE del 4 de mayo de 1976 sobre la Contaminación Causada por Ciertas Sustancias Peligrosas Descargadas en el Ambiente Acuático de la Comunidad identifica dos listas de sustancias peligrosas (no debe ser confundida con la Directiva de Sustancias Peligrosas, 67/548/CEE mencionada anteriormente). La lista I, denominada "lista negra", contiene sustancias peligrosas que se deben eliminar del ambiente debido a

sus efectos nocivos y la lista II contiene sustancias que tienen un efecto nocivo sobre el ambiente pero que se pueden descargar bajo control considerando las circunstancias particulares de su ubicación. Los estados miembros establecen normas de calidad ambiental (NCA) para estas sustancias. Como resultado de esta Directiva, los Estados miembros también desarrollan inventarios de descargas de aguas residuales, industrias, áreas de muestreo de ríos y sedimentos y los detalles de las normas que se aplican a las descargas afectadas por una o varias de las 17 sustancias incluidas en la lista I.

La aplicación de la Directiva de los Principales Riesgos de Accidentes Peligrosos de Ciertos Procesos Industriales (82/501/EEC) en los estados miembros también considera los riesgos de los procesos potencialmente peligrosos, en vez de sustancias. La Directiva fue aceptada después de la descarga accidental de dióxidos como resultado de una explosión en Seveso, Italia, en 1976 (Kletz, 1976). Los anexos II y III establecen las cantidades límites de compuestos químicos peligrosos o por encima de las cuales se deben tomar precauciones o cumplir con requisitos de notificación. Esta Directiva ha sido modificada varias veces y actualmente incluye el concepto de peligro para el ambiente, tal como se menciona en las enmiendas 6 y 7 de la Directiva 67/548/CEE, citada anteriormente. Cada uno de los estados miembros ha preparado una orientación detallada sobre la ejecución de esta Directiva.

### **5.2.2 Evaluación de riesgos ambientales**

La aplicación de técnicas de evaluación de riesgos es parte fundamental de los procedimientos de clasificación de sustancias nuevas que tienen potenciales problemas ambientales o de salud y que, en consecuencia, ameritan un control legislativo o administrativo. La principal razón para aplicar técnicas tales como la evaluación de riesgos ambientales en el contexto del control de la contaminación se relaciona con dos temas diferentes. En primer lugar, la evaluación permite que las autoridades reguladoras conozcan oportunamente el posible daño ambiental de una sustancia permitida en el ambiente, ya sea de una descarga de residuos o como resultado de su uso legítimo. Si el riesgo del daño es suficiente, se puede aplicar el principio de prevención (véase el capítulo 1) y justificar el control del uso o fabricación de la sustancia, o incluso prohibir su fabricación para limitar o evitar cualquier posibilidad de contaminación. Por lo tanto, reglamentar la descarga tiene una importancia secundaria. En segundo lugar, si se puede establecer una concentración pronosticada "sin efectos", por ejemplo en el ambiente acuático, el organismo regulador puede cuantificar la cantidad de sustancia que se puede liberar de manera segura en el ambiente. Se pueden establecer normas apropiadas de calidad ambiental y

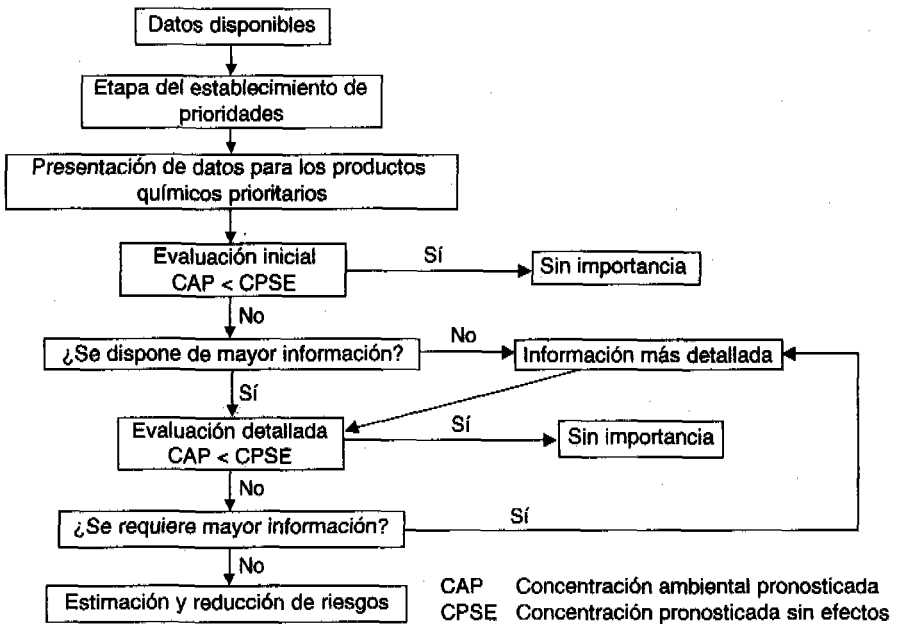


Figura 5.1 Esquema general de evaluación de riesgos ambientales (DOE, 1994)

formular autorizaciones para las descargas que contienen tales sustancias. En el Reino Unido se cuenta con la asesoría de un grupo de trabajo del Gobierno e industrias establecido para crear un esquema general de evaluación de riesgos ambientales (DOE, 1995). La figura 5.1 muestra un ejemplo apropiado para la directiva de sustancias peligrosas.

La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) también actúa en esta área y participa en un programa para identificar y evaluar productos químicos potencialmente peligrosos. El programa de la OCDE empezó en 1990 con criterios de selección basados en el volumen de producción. Las primeras evaluaciones se llevaron a cabo en 35 productos químicos.

Existen muchas otras organizaciones internacionales que recopilan inventarios relacionados con materiales contaminantes. Entre estas se encuentran las Naciones Unidas (ONU), el Consejo de Europa, la Conferencia del Mar del Norte y la Comisión de París. Esta última exige que los estados miembros recopilen un inventario de las descargas industriales y de plantas de tratamiento de aguas residuales que contengan una o varias de las 36 sustancias peligrosas enumeradas en el anexo 1A de la Declaración de la Comisión. El objetivo es desarrollar un programa para reducir la contaminación. Este



inventario específico también incluye datos de los ríos usados en la evaluación de las descargas en el Mar del Norte, de conformidad con la Declaración del Mar del Norte de 1987.

### **5.2.3 Inventarios de descargas contaminantes**

La otra alternativa de inventario, muy valiosa para el control de la contaminación del agua, no está relacionada con el uso o comercialización de una sustancia específica sino más bien con la cantidad del contaminante descargado en una corriente de agua específica. El Reino Unido, por ejemplo, está aplicando un programa de planificación del manejo de la captación en el cual se examina minuciosamente la captación de cada río (o para ríos más grandes, tributarios individuales) a fin de determinar las descargas que pueden afectar la calidad del agua. Las fuentes puntuales identificadas se registran mediante un sistema de información geográfica (SIG). El inventario de la captación resultante proporciona los datos de base para planificar programas de reducción o cambios en los mecanismos de control usados para mejorar la calidad del agua. La información se mantiene junto con otros datos sobre extracción de agua, calidad del agua y objetivos de la calidad del agua y se usa con fines de planificación y consulta con las partes interesadas en el área de captación y cuando se requieren nuevas propuestas de control para mejorar la calidad del agua. El público puede acceder a esta información en un registro.

Muchos otros países, incluidos los países en vías de desarrollo, usan el principio de los inventarios de captación para la planificación. La India, por ejemplo, a pesar de las dificultades para identificar a las industrias individuales que contribuyen con emisiones y para mantener la base de datos, cuenta con un sistema documentado de inventarios. En 1984 se recopiló un inventario de las principales industrias contaminantes del agua que cubrió más de 4.000 plantas industriales; 50% de ellas estaban instalando plantas adecuadas de tratamiento. Sin embargo, todavía no se ha emprendido ningún estudio sobre fábricas industriales más pequeñas que suman aproximadamente 2 millones. Así mismo, en la India se están examinando las 14 captaciones de ríos y se están publicando los informes respectivos. Estas encuestas, así como los datos recopilados del Programa Nacional de Recursos Acuáticos de la India, sirven de ayuda para planificar los programas de control de la contaminación.

### **5.3 Origen de las normas para las fuentes puntuales**

Una vez que se ha identificado una fuente puntual de contaminación, se dispone de dos enfoques a fin de establecer las normas de emisión para su control. Estos se conocen como el enfoque de los objetivos de la calidad del agua y el

enfoque del valor límite. Para establecer las normas, el primero considera la capacidad intrínseca del agua receptora para absorber y degradar el contaminante y el segundo solo considera las características del contaminante.

### 5.3.1 Objetivos de la calidad del agua

La mayoría de los países emplean el concepto de objetivos de la calidad del agua para fines de planificación pero no todos lo usan como un medio para decidir las normas de calidad del efluente. En una publicación reciente, la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) recomendó que los objetivos de calidad del agua debían establecerse para promover el manejo del agua basado en ecosistemas (CEPE, 1993). Los objetivos de calidad del agua abordan aspectos tan diversos como la acumulación de toxinas y la eutroficación, además de considerar el uso deseado de una corriente de agua específica.

En la Convención de la CEPE de 1992 sobre la Protección y Uso de Aguas Transfronterizas y Lagos Internacionales (CEPE, 1994) se proporcionaron normas generales para establecer objetivos de la calidad del agua y sus respectivos criterios, pero en la actualidad muchos países han desarrollado sus propios enfoques.

Las normas de calidad del agua relacionadas con el uso son cada vez más comunes en todo el mundo. En primer lugar, deben definir los usos previstos del agua, por ejemplo como fuente de agua potable, para uso industrial o agrícola, como agua recreativa o especificar si presenta características especiales que se deben preservar. Por lo general, aunque el agua no se use para una finalidad específica, se considera necesario mantener o mejorar su calidad para el bienestar en general o para garantizar la supervivencia de peces. Estas finalidades también se pueden considerar "usos". El público local puede ayudar a identificar los usos en el proceso de toma de decisiones, ya que la última definición del uso de cualquier corriente de agua puede influir en las actividades permitidas en los alrededores.

Además de las normas de calidad ambiental muy específicas que se derivan de la evaluación de riesgos y características de toxicidad, el enfoque de desarrollar objetivos de la calidad del agua relacionados con el uso conlleva a normas generalizadas que reflejan el uso definido.

Varios países han desarrollado normas de calidad del agua cuyo concepto básico es la protección del ambiente natural. Por lo general, estas normas se basan en un enfoque ecológico y tienen como premisa que, si el ecosistema está protegido por la calidad definida del agua, la mayoría de los demás usos también está protegida. Por ejemplo, en Canadá se está desarrollando un sistema

basado en una clasificación ecológica para ayudar a identificar los objetivos, mientras que en el Reino Unido se están introduciendo objetivos “relacionados con el uso”. En el Reino Unido, los objetivos de la calidad del agua están incluidos en la Ley de Recursos Hídricos de 1991 y tienen carácter legal. Recientemente, el Gobierno del Reino Unido ha publicado los reglamentos y un manual de orientación para iniciar el sistema (NRA, 1994a).

Cabe resaltar que cualquier sistema de objetivos de la calidad del agua conlleva directamente al establecimiento de las respectivas normas de calidad que reflejan los requisitos químicos o biológicos de los objetivos. Las autoridades reguladoras pueden utilizar estas cifras o NCA para considerar el impacto de las actividades contaminantes.

Una de las desventajas del enfoque de los objetivos de la calidad del agua es que requiere muchos datos reales relacionados con la masa de agua considerada. Para lograr un “uso” práctico de los objetivos que permita determinar lo que se puede lograr en un plazo razonable y establecer una NCA significativa, se requiere información sobre:

- la calidad actual del agua;
- las variaciones naturales de la calidad del agua en el transcurso del tiempo;
- insumos de la industria y cómo varían cuando existen programas de inversión apropiados;
- conocimiento de los posibles efectos de los efluentes industriales en el ambiente.

No obstante, si se hace una recolección razonable de datos se puede asegurar que este enfoque es idóneo, que la inversión en tecnología para el tratamiento de efluentes es acertada y que la calidad del agua resultante satisfará la necesidad identificada.

### **5.3.2 Normas de calidad ambiental**

Las normas de calidad ambiental representan las concentraciones de las sustancias que no se deben exceder si se desea mantener un uso específico del ambiente. Muchas normas vigentes son el resultado de inquietudes sobre productos químicos específicos y, muchas veces, están relacionadas con eventos que han ocasionado problemas ambientales o de salud pública. Por consiguiente, algunas de estas normas están prescritas dentro de las leyes nacionales.

Es casi imposible definir completamente la calidad del agua requerida para un uso específico o para la protección general de la vida acuática. Por lo tanto, la mayoría de los países se centran en algunas variables claves y otras variables específicas relacionadas con los problemas locales o nacionales conocidos. Las variables comunes son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda

química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto, amoníaco, nitrato, fosfato, materia en suspensión o turbiedad, pH y temperatura. La inclusión de metales, tales como cobre y cinc, permite que se tome en cuenta la conocida toxicidad de estos elementos para la vida acuática.

En la Unión Europea se han establecido normas numéricas en los Anexos de varias directivas. Las siguientes Directivas contienen las NCA que repercuten directamente sobre el control de las descargas de fuentes puntuales (CEE, 1992):

- 76/160/CEE en relación con la calidad del agua para baño.
- 77/795/CEE en relación con la calidad de aguas dulces que requieren protección o mejoramiento para mantener la vida de los peces.
- 86/280/CEE sobre los valores límites y objetivos de calidad para la descarga de algunas sustancias peligrosas incluidas en la lista 1 del anexo de la Directiva 76/464/CEE.
- 75/440/CEE en relación con la calidad requerida del agua superficial destinada al agua potable en los estados miembros.

Cuando la ley es la que prescribe las normas, la única alternativa de los reguladores es considerarlas para las nuevas descargas. Existen muchas sustancias para las cuales no se ha establecido ninguna norma legal y en tales casos, cada nación debe decidir su control. En el Reino Unido, por ejemplo, se ha desarrollado una evaluación de riesgos tipo protocolo para determinar las normas ambientales apropiadas. La premisa básica es que hay cierta concentración para cada contaminante que produce efectos no significativos para el ambiente y sus usos. El ambiente tiene cierta capacidad para adaptar los contaminantes y esta capacidad se puede cuantificar. El protocolo para determinar esta capacidad examina los datos de toxicidad, el destino y comportamiento del contaminante, el riesgo de acumulación en organismos y sedimentos y las concentraciones existentes en el ambiente. Desgraciadamente, no se dispone de suficientes datos para responder a todas las preguntas posibles y, por ello, el protocolo incluye un método de extrapolación.

En un nivel más general, la OCDE también ha desarrollado una metodología de evaluación de riesgos para calcular el posible impacto ambiental de la alta producción de productos químicos. Esta metodología emplea el concepto de concentración predecible de no efecto (CPNE) y concentración ambiental predecible (CAP) para calcular el riesgo de daño que un determinado compuesto químico puede ocasionar al ambiente.

En el Reino Unido se está empezando a adoptar el concepto de la mejor opción ambiental práctica (MOAP). Ese concepto y el uso de los niveles de evaluación ambiental (NEA) se emplean para calcular las concentraciones posibles en los tres medios ambientales (aire, tierra y agua) a fin de establecer

la ruta de disposición preferente de productos químicos específicos. Para evaluar la MOAP, los NEA representan la concentración o carga de un contaminante a partir de la cual se puede producir un daño en el ambiente de determinada localidad. Los principios para determinar la MOAP de un lugar determinado consideran la contribución del efluente de la planta en relación con los NEA para cada ambiente y examinan las rutas de disposición ambiental a fin de determinar la más benéfica. El procedimiento depende del lugar.

Una vez establecidas, las NCA pueden contribuir al control de las descargas de fuentes puntuales. En este escenario, los valores de las NCA se usan en un tipo de modelo de balance de masas que considera los volúmenes relativos del efluente y aguas receptoras, factores de dilución y degradación, según convenga, para calcular la concentración aceptable en el efluente que permitirá cumplir las NCA considerando todas las condiciones posibles. Luego, este valor se emplea como valor máximo o límite de 95% para el efluente. Los límites de este enfoque se determinan según las condiciones de un área rodeada por un emisario específico; los límites para industrias similares varían dentro de un país.

### **5.3.3 Valores límites o normas de emisión uniformes**

El valor límite es un enfoque alternativo usado en muchos países para establecer las normas de calidad del efluente. El principio de este enfoque es que todas las descargas del efluente deben cumplir los mismos estándares mínimos para efluentes, tal como lo señalan los reglamentos. Por lo general, las normas están relacionadas con la mejor tecnología disponible (o técnica) (MTD) en una industria determinada. Algunas veces, el argumento para este enfoque es que la equidad en el tratamiento se logra más fácilmente y, como resultado, se eliminan las barreras para el comercio. Esto se debe a que, independientemente del lugar en donde se descargue el efluente y su efecto en el ambiente, los requisitos para la calidad del efluente son los mismos. Un argumento en contra es que en muchos sitios se imponen niveles innecesarios de tratamiento, lo que conlleva a realizar inversiones que podrían requerirse en otros lugares en donde realmente se necesita el mejoramiento.

La aplicación del enfoque del valor límite puede ser general o específico para un sector industrial. En Europa, el enfoque ha variado desde el establecimiento de normas mínimas para una industria específica (por ejemplo la industria del dióxido de titanio) al control de productos químicos específicos independientes del sector industrial (por ejemplo el control de las descargas de cadmio). El último ejemplo del enfoque del valor límite considera indicadores más generales de la contaminación, la DBO, la DQO y los sólidos suspendidos

que descargan las plantas urbanas de tratamiento de aguas residuales. Este enfoque es similar al adoptado en la India en donde se establecen normas aplicadas a las industrias para determinar los procesos, las características del efluente y métodos de disposición de efluentes para industrias específicas o contaminantes específicos (por ejemplo, el mercurio) o para industrias ubicadas en una determinada zona geográfica.

Por lo general, las normas que se aplican a los efluentes con el enfoque del valor límite, consideran el estado del desarrollo de la industria en cuestión, así como los requisitos para satisfacer una necesidad ambiental expresada en una NCA. Se espera que cada industria sepa aprovechar las técnicas disponibles para minimizar el nivel de contaminantes en el efluente, lo cual está permitido cuando se establecen límites de emisión. El principio de la MTB se usa en todo el mundo y es un requisito general cuando se otorga una licencia de descarga. En algunos países el costo de instalar la MTB también se considera como la MTDSCE (mejor tecnología disponible sin costos excesivos). Cuando se negocian límites de emisión fijos, es necesario decidir si el sistema regulador requiere la MTB o la MTDSCE y considerar el potencial que tienen las compañías particulares para incorporarlas en sus procesos.

El enfoque del valor límite requiere menos datos sobre la calidad del agua que el sistema alternativo de la NCA descrita anteriormente, pero algunas veces se corre el riesgo de que la inversión de grandes cantidades de dinero para mejorar la planta de tratamiento o procesos industriales no conlleve a la calidad deseada del agua. En la práctica, principalmente en los países en vías de desarrollo, se debe adoptar un enfoque combinado para poder evaluar las necesidades del ambiente, junto con un sistema de asignación de prioridades para identificar los objetivos finales. Así mismo, en la etapa inicial del proceso se debe invertir en limpiar las industrias que causan los problemas más graves. Por último, las normas se cumplirán después de varios años, a medida que se disponga de recursos financieros. Este enfoque ha sido adoptado en varios países industrializados y considera la mejora gradual de los procesos industriales junto con la planificación financiera de largo plazo necesaria para estructurar las principales industrias.

## **5.4 Reglamentación de las fuentes puntuales**

### **5.4.1 Licencias**

La característica común de las descargas de fuentes puntuales es que son identificables y se pueden monitorear. Su control es posible cuando existe una legislación apropiada. Desde hace muchos años, la mayoría de los países

desarrollados tienen medidas legislativas que permiten la autorización o concesión de licencias para realizar operaciones potencialmente contaminantes.

Hay dos formas básicas de controlar las fuentes puntuales de contaminación que ingresan al ambiente acuático. Estas son el control al final del proceso industrial y el control de los procesos. En el primer caso, la protección del ambiente se logra mediante el control de la carga liberada de una fuente puntual, con poco o sin control de los procesos que producen los efluentes. En el segundo caso, el control empieza al inicio del proceso y conlleva a la minimización del efluente mediante la adopción de enfoques tales como la MTD para que el impacto del proceso en el ambiente sea mínimo. En todo el mundo, los países aplican una o ambas técnicas de acuerdo con su sistema legal. En el Reino Unido se han usado ambos sistemas durante muchos años. El control al final del proceso ha sido utilizado principalmente para efluentes y para controlar procesos que emiten descargas en la atmósfera y en el terreno.

#### **5.4.2 Control al final del proceso industrial**

La Ley para los Ríos del Reino Unido (Prevención de la Contaminación) de 1951 exigía autorización para descargar aguas residuales y otros efluentes en los ríos, y esas descargas debían cumplir normas de calidad. Este fue el primer vínculo entre el control de las fuentes puntuales y las NCA, ya que la finalidad de las normas para efluentes era permitir (según los criterios de dilución) que el agua receptora mantenga o mejore su calidad. El sistema ha evolucionado mucho desde 1951. Se han creado normas de calidad del agua para varias sustancias y se han utilizado modelos matemáticos para evaluar el impacto de las descargas industriales en corrientes de agua específicas con el fin de asegurar que los componentes de la descarga no infrinjan las NCA.

Como se sabe, la descarga de contaminantes en los cursos de agua es ilegal a menos que esté autorizada. La sección 85 de la Ley de Recursos Hídricos del Reino Unido de 1991 establece que *“una persona incumple esta sección cuando ocasiona o a sabiendas permite que cualquier materia o residuo sólido venenoso, nocivo o contaminante ingrese en cualquier agua controlada, etc.”*. Para evitar el incumplimiento de esta ley se debe obtener una autorización conocida como consentimiento. Para obtener el consentimiento, hay que solicitarlo al organismo que regula la calidad del agua (conocida antes como la Autoridad Nacional de Ríos, actualmente la Agencia Ambiental), la que considera las NCA mencionadas para establecer las normas apropiadas. El cuadro 5.1 presenta los pasos que se deben seguir para obtener un consentimiento en Inglaterra y Gales. Hay un manual disponible en donde se describen mayores detalles de este procedimiento (NRA, 1994b).

**Cuadro 5.1** Principales pasos para otorgar consentimientos en Inglaterra y Gales

Paso	Acción	Comentario
1	Consulta preliminar	Evaluar los posibles problemas antes de la emisión oficial
2	Solicitud formal	Cuatro meses para iniciar la emisión del consentimiento
3	Publicidad	Permitir comentarios y objeciones del público
4	Consulta	Con autoridades locales y otros
5	Consideración técnica	Decidir las condiciones para otorgar el consentimiento
6	Decisión	Considerar comentarios y objetivos
7	Emisión del consentimiento	Ingresar al registro público
8	Revisión	Después de dos años, o antes, según el acuerdo con el contaminador

Fuente: NRA, 1994

El control al final del proceso se usa de manera similar en Canadá donde, por ejemplo, la Ley de Protección Ambiental de Ontario establece una prohibición general para descargar *“material de cualquier naturaleza en cualquier pozo, lago, río, laguna, corriente, ... en cualquier lugar que pueda perjudicar la calidad del agua ...”*. La Ley de Recursos Hídricos de Ontario también establece una prohibición similar. Estas prohibiciones generales se modifican mediante un sistema de concesión de licencias que legaliza algunas descargas, siempre que se lleven a cabo de conformidad con la ley. La nueva Ley de Delitos y Multas Ambientales de Nueva Gales del Sur de 1989, que controla las descargas en esa parte de Australia, es similar en cuanto se deben autorizar las descargas y que la calidad existente de las corrientes de agua receptoras puede influir los límites establecidos para el efluente. El mismo enfoque adoptó la Ley de Manejo de Recursos de Nueva Zelandia de 1991, según la cual es ilegal descargar cualquier contaminante en el agua o en el suelo que después pueda introducirse en el agua.

Una variación de este enfoque trata sobre la descarga de efluentes industriales en el alcantarillado público. En el Reino Unido, por ejemplo, la Ley de Drenaje Industrial de 1937, ahora incorporada en la Ley de la Industria del Agua de 1991, autorizó a la industria para conectarse al alcantarillado público previo consentimiento del organismo encargado del alcantarillado. En la mayoría de situaciones urbanas, el efluente industrial rara vez se descarga



directamente en una corriente de agua. En cambio, las plantas de aguas residuales tienen la responsabilidad de tratar los residuos. El control de la contaminación del agua se logra mediante un consentimiento para la descarga de las plantas de aguas residuales que consideran la composición del efluente industrial descargado en el alcantarillado. Por consiguiente, aunque el responsable del alcantarillado otorgue un consentimiento para descargar en el alcantarillado, no se ejerce un control activo del proceso de pre-tratamiento de las aguas residuales industriales.

Otros países han aplicado un control similar para las sustancias descargadas en el alcantarillado. El sistema japonés, por ejemplo, requiere que las industrias operen sus propias plantas de tratamiento para tratar los contaminantes o cualquier lodo que éstas producen y que ingresan o afectan las plantas municipales. Las normas nacionales uniformes son estipuladas por el gobierno para las sustancias incompatibles con el tratamiento municipal de aguas residuales o que representan una amenaza para la salud de los seres humanos o el ambiente natural. Para lograr NCA legalmente aplicables, la Ley de Control de la Contaminación del Agua de Japón establece normas nacionales uniformes para las descargas directas en el agua (conocidas como normas E) y define los límites de las masas para los programas de reducción. En el nivel local se pueden establecer normas más estrictas.

En los Estados Unidos, las fuentes puntuales se controlan mediante el Sistema Nacional de Eliminación de Descargas de Contaminantes (SNEDC). Para descargar directamente un contaminante en el agua primero se debe obtener una licencia del SNEDC. Los estados individuales están autorizados para otorgar y hacer cumplir las licencias previa supervisión de la Agencia de Protección Ambiental (EPA). Estas licencias deben incluir los límites estatales o federales para los contaminantes y las normas basadas en la “mejor tecnología demostrada de control disponible” de conformidad con la Ley del Agua Limpia. Las licencias también especifican calendarios provisionales de cumplimiento, requisitos para el monitoreo y recopilación de datos de monitoreo de los efluentes. Los datos deben estar disponibles para la inspección de la EPA por lo menos durante tres años y las emergencias se deben notificar dentro de 24 horas. Hay una disposición especial que no permite sustituir una licencia por una menos estricta después de la revisión. Se desarrollará otra estrategia para tratar la escorrentía pluvial. Los estados adoptan NCA mediante normas de calidad del agua receptora de acuerdo con el uso del agua. Si las normas basadas en la tecnología son insuficientes para cumplirlas, en la licencia se establecen limitaciones adicionales.

### 5.4.3 Controles basados en la toxicidad

Es difícil aplicar controles basados en variables químicas en efluentes complejos y cambiantes. Algunos países, entre ellos Estados Unidos, el Reino Unido y la República de Irlanda, han desarrollado controles basados en la toxicidad que consideran los efectos de todo el efluente en el agua receptora. En estos casos, los datos de las pruebas de toxicidad aguda y crónica en algas, invertebrados y peces se usan para determinar una concentración de efecto no observable (CENO). Con los datos de estas pruebas se determina una concentración ambiental aceptable para el efluente y se emite un consentimiento escrito para lograr ese nivel de efecto. Esos consentimientos son independientes de la constitución exacta del efluente en cualquier momento.

### 5.4.4 Controles basados en el proceso

La alternativa para el control al final del proceso industrial es autorizar el proceso mismo. En muchos países se está empezando a adoptar este tipo de enfoque, a veces conjuntamente con la especificación limitada de la calidad del efluente o de un lugar específico. La CE está promulgando una nueva Directiva de Prevención y Control Integral de la Contaminación (PCIC) que apoya firmemente este enfoque. En muchos países se han establecido principios de control integral de la contaminación. Los objetivos principales son:

- Evitar o minimizar la descarga de sustancias tóxicas o peligrosas y hacer inocuas las sustancias que se liberan.
- Desarrollar un enfoque para controlar la contaminación que considere el efecto de las descargas de los procesos industriales en el ambiente como un todo.

Un factor fundamental que influye en el uso de la reglamentación de los procesos es la capacidad de minimizar la cantidad de residuos que se descargan en el ambiente. Por lo general, esto es posible mediante la aplicación del principio de la MTD. En el contexto del control de la contaminación, "mejor" se refiere al más eficaz para prevenir o minimizar la contaminación o hacer inocuo cualquier contaminante. "Disponible" se refiere a la que está al alcance del operador sin necesidad de desarrollar la técnica antes de poder usarla. La "tecnología" incluye tanto la planta en la que se lleva a cabo el proceso como el método de operación. Es frecuente incluir una referencia sobre los métodos de trabajo y prácticas de manejo en una planta específica. En el Reino Unido y en otros países se consideran los costos de operación y se usa la MTDSCE (véase el subcapítulo 5.3.3).

En el Reino Unido, el control integral de la contaminación con énfasis en la MTD solo se aplica a un campo limitado de procesos industriales definidos

por los Reglamentos de Protección Ambiental de 1991 (Procesos y Sustancias Prescritas). Estos procesos son aquellos considerados como una amenaza de contaminación para todos los ambientes. El régimen considera el impacto en el aire, suelo y agua, aplica los principios de la MTDSCE y evalúa la mejor opción ambiental práctica (MOAP) donde el proceso incluye la descarga de contaminantes a más de un medio ambiental. Las descargas no pueden incumplir ninguna NCA legal pues de lo contrario, no se autorizaría el proceso. La Inspectoría de Contaminación de su Majestad (HMIP), el organismo regulador del Reino Unido, ha publicado una serie de guías que describen la MTDSCE para las industrias incluidas en la lista de los procesos prescritos (HMIP, 1991). La Inspectoría también apoya (conjuntamente con la CE) la producción de guías MTD (EuroBAT) (conjuntamente con la CE) para su uso en la Unión Europea.

En una encuesta sobre el uso de la MTD en 18 países de todo el mundo, la OCDE investigó la relación entre la MTD y las NCA (OCDE, 1994). A pesar de cumplir las NCA, 14 de estos países siguieron estrictamente el principio de la MTD, principalmente porque consideraban que la MTD era necesaria para asegurar el continuo mejoramiento del ambiente. En los demás países se adoptaron decisiones de acuerdo con el lugar. En la mayoría de las situaciones en donde no se cumplieron las NCA, se aplicaron requerimientos más estrictos o no se permitió la emisión. Cuando no se podía aplicar criterios más estrictos, se establecieron otras medidas, incluidos los pagos compensatorios a las partes afectadas (Finlandia), planes de reducción sectorial (Suiza), cobros de agua por kilogramo de contaminante descargado (México) o, en algunos casos, el cierre de las industrias. La encuesta de la OCDE también indicó que las consideraciones de costo generalmente cumplían un papel significativo en las decisiones finales para autorizar los procesos que incluían la MTD (OCDE, 1994).

La directiva propuesta de la PCIC de la CE permite la exoneración de la MTD siempre que no haya posibilidades de aumento de la contaminación local, transfronteriza o mundial en cualquier situación que no exceda las NCA, pero se requieren medidas adicionales cuando no se cumplen. Esta directiva proporciona un marco que pueden adaptar los países que actualmente aplican el control integral de la contaminación y normalizará el enfoque en toda Europa. Se aplicará a una extensa lista de industrias y tendrá como fundamento las autorizaciones locales que señalan los límites de emisión (basada en la MTD) que aseguran el cumplimiento de las NCA establecidas por el Consejo de Ministros o la Organización Mundial de la Salud (OMS).

La Directiva Urbana de Tratamiento de Aguas Residuales de la CE, vigente desde 1991, emplea un enfoque mixto. Exige el uso de los “mejores medios

técnicos” para el diseño de los sistemas de alcantarillado, establece niveles mínimos de tratamiento que dependen del tamaño de la población servida, así como las características del agua receptora y prescribe los valores límites específicos que debe lograr el efluente mediante el tratamiento primario, secundario y terciario. La directiva solo se aplica a las plantas municipales de tratamiento de aguas residuales y a ciertas industrias que trabajan con sustancias orgánicas.

#### **5.4.5 Participación pública**

Un aspecto importante del régimen reglamentario para controlar las fuentes puntuales de contaminación (mediante autorizaciones) es la participación del público y de los sectores reglamentados. Esta participación es importante para asegurar que la industria reconozca la necesidad del régimen reglamentario y acepte las obligaciones establecidas y que el público esté satisfecho con el control establecido. En muchos países la información está disponible mediante reglamentos como “Libertad para Acceder a la Información Ambiental”. En países como Suecia y Finlandia existen acuerdos abiertos y toda la información, incluidas las comunicaciones internas, están a disposición del público.

En el Reino Unido las disposiciones legislativas se diseñaron para permitir un grado significativo de participación pública en el proceso de toma de decisiones. Todas las solicitudes para obtener autorización bajo la Ley de Protección Ambiental se remiten a consultores legales específicos y deben anunciarse localmente. El organismo regulador tiene que considerar todas las solicitudes. La Ley de Recursos Hídricos tiene disposiciones similares de promoción. Además, ambas leyes requieren detalles sobre las solicitudes, autorizaciones y consentimientos y cualquier otra información pertinente debe estar disponible en un registro público. En los Estados Unidos, por ejemplo, cuando se desea solicitar un permiso que ha provocado especial interés, se debe apelar a una audiencia pública, pero en el Reino Unido este medio no sería común.

Es muy importante que los países en vías de desarrollo logren un criterio equilibrado con respecto a lo que se desea, lo que se puede lograr y lo que se puede pagar. La participación del público e industriales es esencial para que los organismos reguladores comprendan el impacto de cualquier medida propuesta antes de establecer normas para el agua y los efluentes y para asegurar que cualquier programa de mejoramiento se aplique de acuerdo con la capacidad financiera y técnica de cada país.

#### 5.4.6 Minimización de residuos y tecnología más limpia

Mientras los principios de la MTD dan lugar a la introducción de tecnologías menos contaminantes mediante un sistema reglamentado, existen varias iniciativas diseñadas para fomentar el uso de tecnologías limpias y mejores sistemas de producción. La minimización de residuos es una técnica que se está probando en varios estudios en todo el mundo para reducir la cantidad de residuos en las industrias. La metodología del proyecto se desarrolló en los Estados Unidos y en los Países Bajos (particularmente en 12 empresas de Amsterdam y Rotterdam) y en una serie de estudios de casos llevados a cabo por el PNUMA. En el Reino Unido, un programa de colaboración entre algunas empresas y organismos reguladores en las captaciones de los ríos Aire y Calder, a lo largo del río Mersey, ha permitido un mayor desarrollo de los principios mediante un proyecto de demostración.

La clave para minimizar los residuos es adoptar un enfoque sistemático para evaluar los procesos y cuantificar el consumo de agua, materiales y energía. Los seis pasos más importantes de la metodología son:

- *Compromiso.* La empresa deberá comprometerse con las políticas de minimización de residuos, incluido el apoyo de la dirección superior y deberá tener objetivos claros, metas y plazos.
- *Organización para la acción.* Se deben establecer equipos multidisciplinarios que cubran los principales aspectos del negocio.
- *Auditoría y revisión.* Examen y cuantificación de los procesos, como flujo de residuos y consumo de materiales.
- *Opciones para el mejoramiento.* Se debe conocer su costo y se les debe dar prioridad.
- *Acción.* Implementación del programa de cambios con metas y plazos.
- *Revisión e identificación de otras oportunidades.*

Las opciones para minimizar los impactos ambientales incluyen la reducción en la fuente mediante cambios del producto o proceso, reciclaje en el área, recuperación del material o reciclaje fuera del área.

Una pregunta importante que se debe plantear en este enfoque es si es necesario utilizar un material específico o si en realidad se requiere ese producto. Hay muchos casos en los que se podría usar una sustancia alternativa, menos tóxica o persistente en el proceso de producción; en los últimos años se ha descontinuado totalmente el uso de varios productos cuyo potencial de contaminación es mayor que sus beneficios. Cada vez se hace más conocido el enfoque “de la cuna a la tumba”, en el que se examinan todos los aspectos del impacto ambiental, desde la extracción de materias primas hasta la disposición final del producto usado.

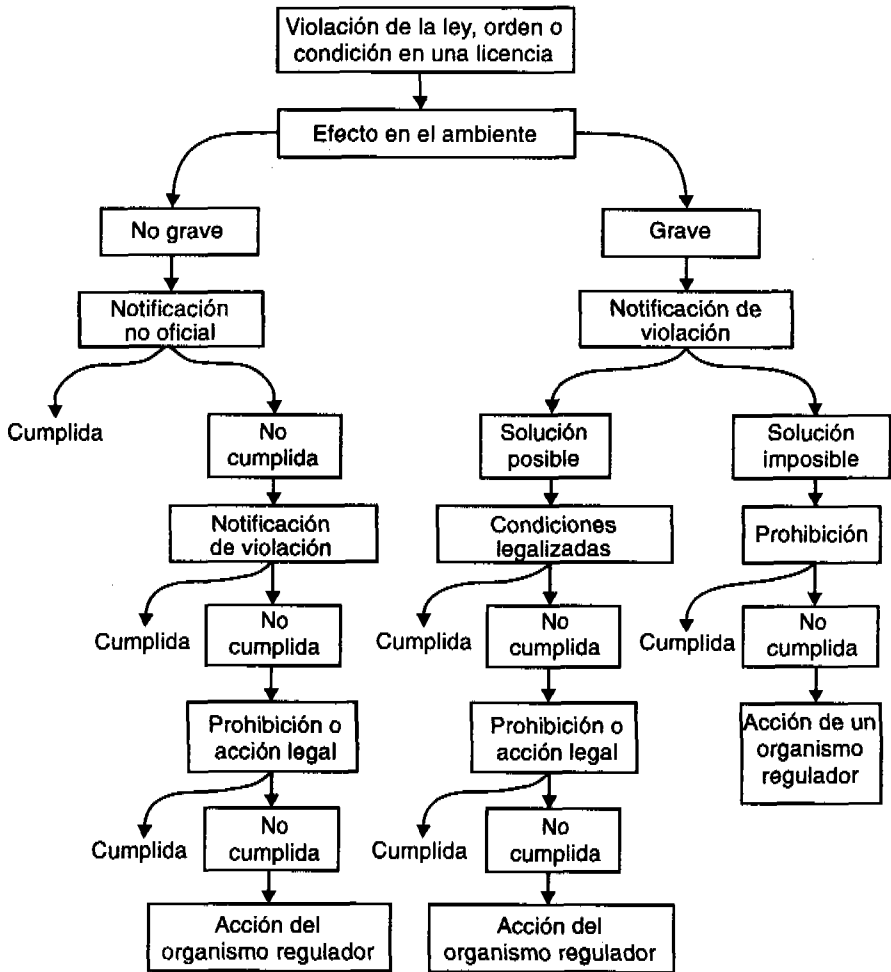
#### **5.4.7 Esquemas voluntarios**

Hay un número creciente de sistemas de manejo ambiental que son voluntarios y que pueden conllevar a una tecnología más limpia; el gobierno aplica algunos y otros son de alcance internacional, pero la mayoría son aplicables localmente. Los ejemplos incluyen el Manejo Ambiental y el Esquema de Auditoría de la CE que entró en operación en abril de 1995 y el Sistema de Manejo Ambiental NB 7750 del Instituto de Normas Británicas, ambos consideran acuerdos para la evaluación y certificación oficial. Los sistemas de reporte ambiental son promovidos por grupos industriales como el Consejo Mundial de la Industria para el Ambiente (CMIA) y la Iniciativa Pública para el Reporte Ambiental (IPRA). En todos estos esquemas es necesario que cada industria participante adopte una política ambiental y establezca un sistema de manejo ambiental. También requieren un informe sobre las descargas en el ambiente. El compromiso de cumplir con el reglamento es un requisito esencial en todos los esquemas y de no lograrlo, se excluye a la empresa de la lista acreditada. Un tema común es el compromiso de la empresa con el mejoramiento continuo. Otros aspectos importantes son la auditoría ambiental de las operaciones de la empresa y la certificación independiente de la auditoría.

#### **5.4.8 Mecanismos de cumplimiento**

Un aspecto clave con respecto al control de las descargas puntuales es la capacidad del organismo regulador para tomar medidas cuando el descargador incumple las condiciones de la autorización. Las disposiciones legales varían en gran medida en cada país, pero en todos los casos las leyes permiten tomar una acción reglamentaria. Como mínimo, esto implica un proceso judicial. Sin embargo, muchos países tienen mecanismos que permiten tomar acciones menos severas antes de recurrir a las sanciones penales. En algunos países, como Dinamarca, se aplica un sistema de acuerdos según el cual el organismo regulador envía un aviso al contaminador para requerir determinadas acciones que posibiliten el cumplimiento de las normas de descarga. No se trata de una medida legal. La misma autoridad puede emitir una notificación de violación, es decir, una notificación oficial que indica una infracción de la licencia. En situaciones extremas se puede emitir una notificación de prohibición que exija la interrupción de la actividad y finalmente se toma una acción legal. Además, las autoridades pueden intervenir para resolver el problema cuando sea necesario. La figura 5.2 muestra un típico esquema de decisiones del sistema danés para el uso de las disposiciones de cumplimiento.

En el Reino Unido, además de las sanciones penales, se puede emitir una advertencia oral o escrita a las empresas autorizadas bajo el régimen de control



**Figura 5.2** Árbol típico de decisiones usado por la Agencia de Protección Ambiental de Dinamarca (Danish EPA, 1995).

integral de la contaminación de la Ley de Protección Ambiental. La autoridad de ejecución puede modificar una autorización en cualquier momento o puede exigir que el descargador presente un plan para mejorar su proceso o planta. Cuando se trata de infracciones más graves, hay tres posibilidades de acción: la autoridad puede entregar una notificación que demande una acción para resolver el problema, emitir una notificación de prohibición para detener el proceso o revocar una autorización en cualquier momento. El incumplimiento de la acción requerida conlleva al inicio de procesos judiciales. Cuando la Ley

de Recursos Hídricos aprueba la descarga de fuentes puntuales, las sanciones se limitan al proceso judicial.

Algunos países, además de las sanciones penales, disponen de procedimientos administrativos para hacer cumplir las normas. Algunos ejemplos de este enfoque se aplican en los Países Bajos, Alemania y Bélgica. No se apela a la ley penal pero se puede imponer multas, amonestaciones administrativas o sanciones económicas directa o indirectamente mediante la autoridad de ejecución o el fiscal público. En tales casos, no se recurre a los tribunales y los procedimientos judiciales se reservan para delitos más graves o cuando la acción administrativa no tiene éxito. En la mayoría de los países se puede recurrir al derecho civil cuando la descarga contaminante ha causado daño a un usuario ubicado aguas abajo.

La asignación de la responsabilidad para llevar a cabo las acciones varía ampliamente. En la mayoría de los países esta responsabilidad se asigna a la autoridad de control con ayuda de la policía o el fiscal público. El caso de Italia es una excepción que utiliza una división específica de la policía nacional, *los Carabinieri*, conocida como Unidad Operacional de Ecología para hacer cumplir las normas ambientales. En Inglaterra y Gales, la Agencia Ambiental toma acción judicial directamente mediante los tribunales.

#### **5.4.9 Evaluación del cumplimiento**

Una condición necesaria para el proceso de cumplimiento es disponer de los datos de monitoreo y visitas de inspección. Todos los países realizan muestreos de rutina de los efluentes junto con análisis e informes de laboratorio. Las licencias deben incluir disposiciones para la recolección de muestras y especificaciones para los puntos de muestreo. Varios países dependen del auto-monitoreo para proporcionar más datos que los requeridos por el organismo regulador y, lo que es más importante, para asegurar que el operador tenga suficiente interés en su propio sistema de efluentes y que tome, examine e informe sobre sus propias muestras. Cuando se aplica el auto-monitoreo, se requiere una vigilancia adecuada para evitar el reporte de datos fraudulentos, tales como los sistemas de control de la calidad para la gerencia (por ejemplo BS 7750, sección 5.4.7) y trabajos de laboratorio (tales como la acreditación de métodos y procedimientos de laboratorio de conformidad con las normas de la Organización Internacional de Normalización (ISO) o del Comité Europeo de Normalización (CEN)).

Se debe establecer regímenes de muestreo y el descargador debe reconocerlos como parte importante del control de calidad y reglamentación de la descarga. Muchos países especifican el número de muestras que se debe



tomar en plazos determinados (diariamente, semanalmente, mensualmente, anualmente) según el volumen y naturaleza de la descarga y las condiciones de la corriente receptora. La frecuencia del muestreo varía de una vez al día para las descargas mayores hasta una vez por mes o menos frecuente para las más pequeñas.

Las inspecciones para examinar las plantas y su descarga deben ser regulares y sin previo aviso. En Europa estas visitas se llevan a cabo anualmente o con mayor frecuencia. En algunos países en vías de desarrollo la frecuencia puede ser de una vez al año a una vez al mes para industrias contaminantes grandes.

Aunque la evaluación del cumplimiento está considerada principalmente como un medio para medir la conformidad con la ley, también puede proporcionar información sobre el logro de los objetivos de un programa de inversión. Si se usa de esta manera, los datos compilados para el cumplimiento se pueden usar para juzgar si la inversión fue suficiente y si el diseño de las plantas, por ejemplo, era correcto. La evaluación del cumplimiento también se puede usar con fines de planificación al identificar las insuficiencias que necesitan corrección mediante una inversión futura o mejores procedimientos de operación.

## **5.5 Contaminación por fuentes dispersas**

### **5.5.1 Identificación de las fuentes**

Es más difícil controlar la contaminación por fuentes dispersas que las descargas definidas. A pesar de que en las descargas de aguas residuales industriales y municipales se puede aplicar un control más estricto, es posible que la calidad del agua no alcance el grado previsto. Esto podría deberse a la contaminación dispersa causada por la agricultura o escorrentía urbana. El primer problema reside en la identificación de las fuentes. Es recomendable adoptar el enfoque del inventario de la captación usado en varios países.

En Nueva Gales del Sur, Australia, por ejemplo, se ha adoptado el principio de la auditoría ambiental para identificar la contaminación dispersa. Para identificar la contaminación por fuentes no puntuales y su relación con el uso del suelo, se usa un sistema de información geográfica para manejar y relacionar los datos asociados con el aprovechamiento del suelo (por ejemplo, la información sobre la intensidad de cultivo, área de vegetación, erosión del suelo). Los datos sobre la calidad del agua se ingresan para estimar los efectos de las actividades agrícolas en la calidad del agua de manera que se pueda desarrollar políticas para el control de la contaminación.

El estudio de la captación del río Danubio sobre el balance de nutrientes indica que el ingreso de nitrógeno y fósforo proveniente de fuentes dispersas,

principalmente de la agricultura, es tan significativo como el que proviene de las plantas de aguas residuales. Las áreas que aplican aguas residuales en el terreno, bien sea como ruta de disposición o como mejorador del suelo, también pueden incrementar la contaminación dispersa.

### 5.5.2 Fuentes agrícolas

Los principales motivos de preocupación relacionados con la contaminación agrícola son: la materia orgánica (que por lo general produce el enriquecimiento de nutrientes del agua), incluida la disposición de residuos sólidos orgánicos y del ganado, efluentes del ensilado y, en algunos casos, efluentes de los tanques sépticos de las granjas; plaguicidas y fertilizantes; y la erosión del suelo.

En el Reino Unido se aprobó un reglamento, bajo la Ley de Recursos Hídricos de 1991, que ha resultado efectivo para controlar el almacenamiento del ensilado, lodos y combustible usado en la agricultura. Este reglamento establece características mínimas de diseño y una guía para la aplicación de residuos en el terreno. La NRA también ha desarrollado una guía detallada sobre los problemas generales del manejo de residuos de granjas (NRA, 1992) y ha exigido el uso de planes de manejo de residuos para granjas individuales (que se deben presentar cuando se solicita cualquier subvención agrícola disponible del gobierno). Los planes de residuos agrícolas incluyen los siguientes aspectos:

- Un esquema de las propuestas para tratar los residuos agrícolas con inclusión del equipo que se va a emplear.
- Una descripción de los acuerdos actuales sobre los efluentes.
- Cifras de producción de efluentes.
- Detalles sobre las propuestas de aplicación en el terreno.
- Manejo del sistema.
- Plan de contingencia.
- Un plan de operación con la evaluación del riesgo de contaminación por escorrentía de lodos.

Un enfoque adicional, que tiene precedentes en muchas situaciones, es la publicación de los códigos de prácticas o guías para las mejores prácticas. En el Reino Unido se ha legalizado un Código de Buena Práctica Agrícola para la Protección del Agua, vigente desde 1991. Esto significa que se puede considerar en cualquier proceso judicial. El código presenta una orientación detallada sobre los principios que se deben adoptar para el almacenamiento y aplicación de residuos pecuarios (y otros residuos orgánicos) en el terreno, las alternativas disponibles para diseñar almacenes de lodos y el asesoramiento sobre su mantenimiento, la importancia de separar el agua limpia de la sucia y la selección

de sistemas de disposición para aguas residuales, estiércol y almacenamiento y manejo de la producción de ensilaje y estiércol, almacenamiento y uso de fertilizantes y aceite combustible, asesoramiento para el uso de baños de ovejas y pesticidas e información sobre los efectos de las prácticas agrícolas en la producción de nitratos.

El reconocimiento de que la contaminación dispersa puede derivarse de las operaciones de silvicultura ha conllevado a emitir un código de práctica similar para las operaciones de silvicultura conocido como "Guías para Bosques y Agua" (Forestry Commission, 1991). El código abarca temas como las precauciones que se deben tomar en el drenaje y cultivo (incluido el asesoramiento detallado sobre procedimientos de arado y el uso de áreas de prevención), la siembra cerca de arroyos, construcción de caminos de bosques, cosecha y uso de plaguicidas y fertilizantes.

Una actividad menos conocida, pero que se puede clasificar como agrícola es el cultivo de peces. En algunos países esta actividad es una importante fuente de alimentos y su desarrollo ha ocasionado problemas de contaminación dispersa. En Noruega, por ejemplo, el problema ha sido lo suficientemente importante como para que las autoridades estatales del control de la contaminación establezcan instrucciones y guías para minimizar la contaminación ocasionada por tal actividad. La guía está relacionada con la ubicación de granjas, el control de las tasas de alimentación, precauciones para el uso de agentes desodorantes, antibióticos e insecticidas y manipulación correcta de los peces muertos y menudencias. Las licencias se otorgan para controlar el cultivo de peces. En Dinamarca se presentan problemas similares y en un menor grado también en Escocia. Las autoridades del control de la contaminación en estos países también ofrecen asesoría.

### *Control de nutrientes*

El control de nutrientes es un aspecto importante en todo el mundo, tanto desde una perspectiva de salud pública como para mantener las aguas naturales libres de eutroficación. La guía de calidad del agua que más se utiliza para el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) es el límite de  $50 \text{ mg l}^{-1}$  que adoptó la OMS como nivel preventivo para proteger a los bebés de los riesgos de la metahemoglobinemia (OMS, 1993). La mayoría de las autoridades nacionales consideran que alcanzar una concentración de  $50 \text{ mg l}^{-1}$  es un objetivo realista en relación con la eutroficación y, por ello, los programas que tienen por finalidad controlar la eutroficación generalmente usan este valor como una NCA. Si bien existen técnicas para remover el nitrato del agua potable después de su extracción (con tolerancia de niveles más altos en el agua cruda para abastecimiento

público) el problema de la eutroficación depende, en general, del control de las fuentes de nitrato. Existe otra consecuencia para la salud que está relacionada con la eutroficación, principalmente en los lagos. En muchos países del mundo, el fenómeno del excesivo crecimiento de algas verde-azules (especialmente *Mycrocystis* spp.) ha sido tema de preocupación cuando se realizan actividades recreativas en los lagos y cuando el agua está destinada al suministro público. Esto se debe al reconocimiento de que tales algas producen varias toxinas que, si se ingieren, pueden causar daño hepático. Existen varios casos documentados que reportan muertes de animales ocasionadas por el consumo de agua potable con alto contenido de estas algas (en Australia, Sudáfrica y el Reino Unido) y esta es una razón suficiente para justificar el control de nutrientes.

La fuente más común de nitrógeno y fósforo como nutrientes es la agricultura y en el mundo industrializado le siguen muy de cerca las aguas residuales. La reducción del nitrógeno y fósforo de la agricultura depende de los cambios en las prácticas agrícolas ya que éstas dan lugar a fuentes dispersas.

*Nitrógeno.* La siembra de pastos y otros cultivos, principalmente durante el otoño, conlleva a la descarga de grandes cantidades de nitrógeno del suelo y, por consiguiente, el cambio general hacia regímenes permanentes de pasto ayuda a disminuir la lixiviación de nitratos. Cuando esto no es posible, es útil usar cultivos rotativos de corto plazo que absorben el nitrógeno, seguido de la cosecha y posterior remoción de la captación. Los residuos de animales se deben utilizar cuidadosamente, evitar su uso excesivo y escorrentía directa en el agua; pero en lo posible se deben preferir antes de utilizar fertilizantes sintéticos. Se debe controlar cuidadosamente el uso de todo tipo de fertilizantes y adaptarlos a los requerimientos del cultivo.

En Europa existe control legal a través de la Directiva Relacionada con la Protección de las Aguas contra la Contaminación Causada por Nitratos de Fuentes Agrícolas (91/676/CEE). La finalidad de esta directiva es reducir y evitar la contaminación del agua superficial dulce, estuarios y aguas costeras originada por fuentes dispersas de nitratos. Dentro de dos años, los estados miembros deben identificar y designar las zonas vulnerables, es decir, todas las áreas que drenan en las aguas contaminadas que contribuyen a la polución. El anexo 1 de la directiva presenta criterios que se pueden usar para identificar las zonas vulnerables. Para mejorar la situación de estas zonas se deben presentar planes de acción para especificar los períodos en los que se prohíbe la aplicación de fertilizantes en el terreno, cuantificar los criterios para las tasas de aplicación en el terreno y limitar el uso de acuerdo con los códigos de buena práctica agrícola. El anexo 2 de la directiva establece códigos voluntarios.

El Gobierno del Reino Unido ha establecido, bajo la Ley de Recursos Hídricos, una medida adicional para reducir la contaminación por nitrato mediante la identificación de áreas sensibles de nitrato. Esta incluye una cláusula específica en la legislación, la sección 92, que permite identificar tales áreas y compensar los pagos a los agricultores a cambio de una reducción de la cantidad de fertilizante nitrogenado. Esas áreas están asociadas principalmente con las zonas de aguas subterráneas en donde las concentraciones de nitrato han excedido la norma de  $50 \text{ mg l}^{-1}$ . Estos acuerdos con los agricultores son voluntarios, por un período de cinco años, y establecen los límites de la cantidad y tiempo de la aplicación de fertilizantes. Además, los cultivos verdes se deben sembrar en invierno para minimizar la lixiviación de nitratos.

La Iniciativa de Agro-Ambiente de la Unión Europea también es un esquema voluntario introducido en 1994 para incentivar a los agricultores a reducir el uso de nitratos. Los que lo hacen reciben un pago compensatorio.

*Fósforo.* Un aspecto clave para controlar el fósforo proveniente de la agricultura es prevenir la erosión de la superficie del terreno. El fosfato tiende a adherirse a las partículas del suelo que, cuando discurren del campo a las corrientes de agua, se convierten en una fuente de fosfato en forma suspendida y en sedimentos. Los sedimentos actúan como una fuente de fosfato a largo plazo al liberarlo (por redisolución) bajo ciertas condiciones ambientales. Para eliminar el fosfato de la captación, en varios lugares del mundo se ha probado la remoción física de la capa de sedimento. Se ha obtenido cierto éxito en la disminución de los niveles de fosfato en Norfolk Broads en Inglaterra mediante una combinación de desviación fuera del área de los efluentes que contienen fósforo; la eliminación del fósforo en las plantas de tratamiento de aguas residuales; y el dragado de 1 m de sedimento. Se lograron concentraciones menores a  $100 \text{ mg l}^{-1}$  de fósforo (RCEP, 1992).

### *Plaguicidas*

Los plaguicidas representan un aspecto particularmente difícil en el control de la contaminación, no solo por la importancia de sus efectos ambientales en la florá y fauna acuáticas sino también por los aspectos de salud humana implicados. Existen varios miles de fórmulas de insecticidas, herbicidas y fungicidas y, por consiguiente, el potencial de contaminación del agua es muy alto. Dado que los límites para el agua destinada al suministro público son muy estrictos, el control de la contaminación por plaguicidas es crucial en las captaciones para abastecimiento público de agua.

Como la mayoría de los plaguicidas presentes en el agua provienen del uso agrícola, es difícil reglamentar su ingreso a los cuerpos de agua. La reglamentación solo se puede lograr mediante la prevención, es decir por control indirecto de su fabricación, almacenamiento y uso. En el Reino Unido, el gobierno aprueba el uso de plaguicidas previa evaluación de los expertos en cuanto a seguridad y riesgos ambientales. La autorización se da a través de la Directiva para Proteger la Colocación en el Mercado de Productos que Protegen a las Plantas (91/414/CEE), cuyos principios uniformes son adoptados por los estados europeos. La Unión Europea aprueba los ingredientes activos de los plaguicidas y los coloca en una lista autorizada. Esta directiva otorga la autorización siempre y cuando no se espere que el plaguicida ingrese a aguas subterráneas en concentraciones mayores de  $0,1 \text{ mg l}^{-1}$ . Las directivas tales como la de Clasificación, Envasado y Etiquetado de Sustancias Peligrosas también permiten controles adicionales.

Una vez que un plaguicida está en uso, se controla mediante leyes tales como la Ley de Protección Alimentaria y Ambiental del Reino Unido de 1985. Se ha publicado un gran número de manuales sobre medidas de prevención que por lo general señalan medidas contra la contaminación e incluyen recomendaciones para el almacenamiento, aplicación y disposición de materiales sin usar.

Además de la legislación específica, varios plaguicidas aparecen en otras directivas de la Unión Europea y en programas de reducción acordados en protocolos internacionales, tales como la Declaración del Mar del Norte. También se han prohibido varios plaguicidas debido a sus impactos ambientales.

### 5.5.3 Fuentes urbanas

Las principales fuentes de contaminación urbana son las aguas de escorrentía pluvial descargadas en drenajes o alcantarillados combinados; el drenaje del área industrial descargada en cursos de agua (incluidos los derrames de productos químicos y grasas); y el drenaje de residuos y residuos sólidos.

#### *Escorrentía de caminos*

La contaminación urbana se produce principalmente como resultado de la escorrentía de los caminos. Por lo general, la superficie de los caminos es impermeable y, en consecuencia, cualquier material que cae sobre ellos es conducido a una corriente de agua receptora o termina en las aguas subterráneas. Estos contaminantes provienen de distintas fuentes, las más importantes son el tránsito y las operaciones de mantenimiento. El tránsito genera contaminantes que provienen de las emisiones de los vehículos, incluidos sólidos volátiles,

hidrocarburos aromáticos polinucleares derivados del combustible no quemado, compuestos de plomo e hidrocarburos. En los principales caminos, las fugas del sistema de lubricación proporcionan una fuente continua de hidrocarburos líquidos. La abrasión de las llantas durante el desgaste normal libera cinc, plomo e hidrocarburos. Un trabajo de investigación realizado en Alemania ha indicado que la abrasión de las llantas en las autopistas puede liberar generalmente  $572 \text{ g ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  de plomo,  $120 \text{ g ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  de cromo y  $115 \text{ g ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  de níquel (Muschack, 1990). La corrosión de los vehículos también libera algunos metales, incluidos el cromo y el plomo.

El mantenimiento de carreteras, principalmente el deshielo, es una fuente importante de contaminación debido a las sales y urea. El grado de impurezas de la sal de los caminos puede contribuir al deterioro de la calidad del agua. El control de maleza en los caminos también conlleva a la contaminación dispersa por plaguicidas. Además de la contaminación que surge directamente del uso y mantenimiento de caminos, el drenaje recibe contaminantes de la deposición atmosférica, actividades agrícolas (después de las lluvias fuertes) y basura en general. También se pueden acumular residuos animales, ricos en bacterias, y producir altos niveles de microorganismos presentes en algunas aguas. La contaminación por petróleo asociada con el mantenimiento de vehículos es un problema específico en muchas áreas.

Controlar la cantidad o calidad de la escorrentía de los caminos mediante reglamentos normales no es práctico y es virtualmente imposible. En consecuencia, es necesario que el diseño de los sistemas de drenaje cuente con una protección incorporada y con procedimientos de mantenimiento que reduzcan al mínimo los riesgos de contaminación. Se han llevado a cabo diversos estudios para determinar las medidas más apropiadas, los que han dado lugar a las siguientes recomendaciones (CIRIA, 1994):

- Los canales, filtros de drenaje y fosos de absorción que se utilizan normalmente pueden facilitar la remoción de sedimentos, pero si el mantenimiento no es eficiente, también pueden representar una amenaza para las aguas superficiales y subterráneas. Las cuencas y zanjas de infiltración pueden remover el material en suspensión y posiblemente algunos contaminantes disueltos, pero también pueden ser una amenaza para la calidad del agua. Las lagunas de almacenamiento y tanques de retención y sedimentación que se operan al final del sistema de drenaje remueven los sedimentos con éxito. Las lagunas y pantanos construidos para tal propósito pueden tratar varios contaminantes potenciales, en gran parte mediante la acción de la vegetación asociada.

- La relación entre el organismo regulador y las autoridades del control vial es muy importante para asegurar la instalación de sistemas apropiados al planificar los sistemas viales y de desarrollo urbano.

En el Reino Unido, el Departamento de Transporte ha desarrollado una guía de diseño y códigos de buena práctica para el mantenimiento rutinario y durante el invierno que incluyen información para prevenir la contaminación.

#### *Contaminación urbana por sistemas de drenaje separado*

En los pueblos y ciudades, los sistemas de drenaje pueden ser de dos tipos, combinados o separados (véase el capítulo 3). En el primer caso, el drenaje de caminos, techos y superficies impermeables similares entran a la red de alcantarillado y son tratados en plantas de aguas residuales junto con los efluentes domésticos e industriales. En el segundo caso, se separan las aguas residuales domésticas e industriales para el tratamiento y la escorrentía de las lluvias se descarga directamente a los cursos de agua sin tratamiento. Los drenajes de áreas densamente urbanizadas pueden recibir varios contaminantes de techos, lugares de descarga, de plantas industriales e incluso de las conexiones ilegales del sistema de distribución de agua. Para evitar que surja alguna contaminación inesperada en estas fuentes es necesario hacer publicidad e inspecciones.

La carga contaminante de los sistemas urbanos de drenaje varían según el patrón de lluvia del lugar, la variedad de materiales que se introducen en la red del alcantarillado y los procesos de mezcla y degradación que ocurre en las alcantarillas. Las variaciones del flujo y la calidad del agua receptora también dificultan la determinación del impacto de la carga contaminante. Para enfrentar estos problemas se debe planificar cuidadosamente la red de alcantarillado. Para facilitar este proceso de planificación se dispone de diversos modelos, por ejemplo, modelos para la lluvia, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales y calidad de ríos. También se ha desarrollado un modelo simplificado (Modelo Urbano Simplificado de Contaminación en Hoja de Cálculo) que combina muchos de los procesos claves para probar rápidamente el desempeño de potenciales soluciones e identificar las lluvias que podrían producir impactos importantes en la calidad del río (FWR, 1994).

#### *Control de nutrientes*

Se han tomado varias medidas específicas para tratar los problemas relacionados con los nutrientes de los efluentes de aguas residuales. Los instrumentos legales se relacionan principalmente con el control de las fuentes puntuales de nitrato y fosfato de las plantas de aguas residuales; la medida internacional adoptada



más recientemente es la Directiva de Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas de la CE de 1991 (91/271/CEE). El objetivo de las medidas sobre el control de los nutrientes es incluir el tratamiento terciario (remoción de nitrato y fósforo) en las plantas que descargan en “áreas sensibles”. Éstas se definen según el estado eutrófico del agua que recibe el efluente. En el Reino Unido se ha decidido centrar el control en las plantas de tratamiento que descargan en aguas interiores para que remuevan fosfatos; y las plantas de tratamiento que descargan sus efluentes en el mar deben remover nitratos (que representan los elementos críticos para la eutroficación en las respectivas situaciones). Otros países, como Alemania, quieren incluir la remoción de nutrientes en las plantas de tratamiento de aguas residuales más grandes.

Además de las fuentes agrícolas, el fosfato se presenta en efluentes como resultado de su uso en detergentes (porque crea condiciones óptimas para la acción de agentes surfactantes en el agua de lavado). Por lo general, se utiliza el tripolifostato de sodio; este compuesto se descompone en ortofosfato y puede servir como fuente de nutrientes para las plantas acuáticas. Todavía no se practica el control de fosfato en la fuente y la remoción depende del “agotamiento” del ortofosfato en los efluentes de las plantas de aguas residuales mediante tratamiento químico. Las plantas de aguas residuales pueden remover aproximadamente 40% del fosfato que ingresa, pero por lo general se requiere una remoción de al menos 90% para cambiar el estado trófico del agua receptora. La reducción del contenido de polifosfatos de algunos detergentes también facilita este proceso. La Directiva sobre Tratamiento de Aguas Residuales de la CE reconoce la importancia de los fosfatos al establecer límites para sus descargas en aguas eutróficas (2 mg l<sup>-1</sup> para poblaciones que oscilan entre 10.000 y 100.000 habitantes y 1 mg l<sup>-1</sup> para poblaciones mayores de 100.000). Los criterios para reconocer la eutroficación se encuentran en un documento disponible al público que incluye NCA propuestas para el fosfato en diferentes aguas. En el Reino Unido esta guía se ha utilizado para identificar las aguas eutróficas y además permite que los reguladores indiquen en dónde se justifica el agotamiento de fosfatos en efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales.

#### **5.5.4 Planificación del manejo de la captación**

En muchos países, incluido el Reino Unido, Canadá y Estados Unidos se ha introducido el proceso de planificación de la captación o cuencas. Esto ha permitido reconocer la importancia de las fuentes no puntuales de contaminación y de manejarlas tan cuidadosamente como las fuentes puntuales. Los planes de manejo de la captación cubren la cuenca de un río, sus tributarios

y los flujos de aguas subterráneas asociados. La captación es un área de diverso tipo de terreno con un sistema de drenaje común. La captación de agua superficial se define por la topografía del terreno, aunque es probable que no coincida con la captación de agua subterránea asociada (influenciada por los estratos subyacentes). Sin embargo, los principios de la planificación del manejo de la captación se aplican a ambos. Con respecto al impacto de las actividades, las captaciones son unidades autónomas y manejables, a pesar de que tales actividades pueden afectar las áreas ubicadas aguas abajo.

Los planes de manejo de la captación están diseñados para adoptar un enfoque estratégico, considerar las políticas regionales y nacionales y todas las actividades que pueden causar un impacto en la corriente de agua. Los aspectos claves de un plan debidamente preparado se establecen en un informe de consulta para todas las partes interesadas (industrias locales, organismos públicos y población local). Después de la etapa de consulta, se prepara el plan final que se va a aplicar. El informe de consulta debe incluir:

- Registro de los atributos físicos y usos de la captación.
- Metas ambientales propuestas.
- Comparación de las metas con el estado actual del ambiente acuático.
- Identificación de aspectos y opciones que se van a abordar.

Su preparación incluirá consultas sobre los usos, objetivos, aspectos diversos y opciones, la preparación de planes de acción para abordar los problemas, implementación de las acciones, monitoreo y revisión del plan.

El plan final debe tener una visión futura para la captación (tomando en cuenta los resultados del ejercicio de consulta), una descripción de la captación y planes de acción. Como resultado del plan, se deben identificar las principales fuentes de contaminación y determinar soluciones viables con los recursos y tiempo disponibles.

### **5.5.5 Leyes y reglamentos**

Las fuentes no puntuales de contaminación provienen principalmente de la agricultura, pero también contribuyen al problema la escorrentía urbana, los efluentes de terrenos contaminados y el rebose del alcantarillado pluvial. A pesar de ser difíciles de controlar, algunos países clasifican a estos últimos como fuentes puntuales.

Es sumamente difícil establecer leyes cuya finalidad sea controlar las fuentes no puntuales de contaminación. Los delitos generales de contaminación (como los que establece la Ley de Recursos Hídricos del Reino Unido) tratan adecuadamente los incidentes deliberados o accidentales de contaminación, pero no el problema insidioso y no cuantificable de la escorrentía del terreno

ni el drenaje de carreteras (en donde el contaminante ingresa al agua a través de una tubería fija) y para las cuales las autorizaciones de descarga no son prácticas. La mayoría de los países establecen “códigos de práctica” o “guías para el control de la contaminación” y resaltan la importancia de la colaboración entre los reguladores y los probables contaminadores.

En definitiva, la prevención de la contaminación es un problema sobre el uso del terreno y, por consiguiente, es necesario que los estatutos relacionados con la planificación lo tomen en consideración. En Australia, la Ley de Evaluación Ambiental y Planificación de Nueva Gales del Sur de 1979 contiene varias disposiciones relacionadas con la prevención y control de la contaminación. Estas disposiciones incluyen una amplia gama de medidas de protección ambiental que se deben adoptar conjuntamente con el desarrollo propuesto y el uso integral de los instrumentos de planificación ambiental.

El Gobierno de Canadá considera que el control reglamentario de las fuentes no puntuales de contaminación es sumamente difícil, por ello, ha tomado algunas iniciativas para afrontar este problema. Por ejemplo, el Gobierno ha intentado reglamentar toda la industria de plaguicidas porque confía en que de esta manera reducirá la incidencia de la contaminación no puntual por plaguicidas. La Ley de Productos para Controlar Plagas reglamenta la distribución nacional de plaguicidas y la ley posterior sobre el Sistema de Reglamentación para el Manejo de Plagas, controla la industria de plaguicidas. La Ley del Agua Limpia del Canadá facilita la creación de acuerdos federales y provinciales para abordar los aspectos de calidad del agua y manejo de recursos a través de un sistema de impuestos y subsidios diseñado para fomentar mejores prácticas de manejo en la industria agrícola.

La situación del Reino Unido es similar. Las leyes básicas sobre contaminación del agua, a pesar de incluir disposiciones para tratar los incidentes una vez que se han producido, contienen disposiciones limitadas para prevenir la contaminación. Para promover la mejor práctica dependen de la cooperación de las industrias agrícolas y otras industrias.

La designación de algunas áreas como “zonas de protección del agua” es una opción legislativa que permite aplicar restricciones a las prácticas que pueden significar un riesgo a la calidad del agua. En Inglaterra y Gales las zonas de protección del agua se establecen de conformidad con el artículo 93 de la Ley de Recursos Hídricos de 1991. La designación de las zonas puede estar a cargo del Secretario del Estado. La primera de estas zonas está sujeta a consulta pública y es probable que se establezca para el río Dee en 1997. Es posible que se reduzcan las actividades industriales y agrícolas de la zona y que se exija medidas de prevención a los operadores. Tales precauciones serían

obligatorias debido a la naturaleza legal de la designación de la zona. Sin embargo, aún es necesario evaluar la eficacia de este enfoque.

El Departamento de Protección Ambiental, de conformidad con la Orden de Control de Contaminación del Agua de 1980, dividió las aguas de Hong Kong en 10 zonas de control que deben cumplir normas estrictas de calidad del agua. Nueve de estas zonas están en operación y entre 1995 y 1997 debía controlarse las áreas urbanas que rodean el puerto Victoria. Descargar residuos en las zonas de control es un delito pero cuando los efluentes son inevitables, un Memorándum Técnico plantea las normas necesarias.

Según el Artículo 19 de la Ley de Manejo del Agua de Alemania (Wasserhaushaltgesetz), en las zonas de protección del agua se prohíben ciertas actividades y los propietarios pueden verse obligados a permitir el ingreso de las autoridades de control de la contaminación (por ejemplo para tomar muestras de agua). En algunas situaciones, también se pueden aplicar disposiciones de compensación.

### **5.6 Protección de aguas subterráneas**

Por lo general, la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación requiere esfuerzos especiales. Aunque las leyes generales de control de la contaminación para las descargas y las medidas tomadas para evitar la contaminación por fuentes no puntuales en el terreno se aplican con la misma eficacia para proteger las aguas subterráneas, casi todas las actividades que se realizan en la superficie pueden causar un efecto en la calidad del agua subterránea. Como no es visible, no siempre es posible darse cuenta del daño que se ha producido o se está produciendo en el agua subterránea. La necesidad de evitar la contaminación de las aguas subterráneas es importante debido a la alta proporción de aguas subterráneas que se utiliza para el abastecimiento público. Esto ha sido reconocido en la UE, en donde se propuso establecer un programa de manejo para las aguas subterráneas y los recursos hídricos basado en el principio de precaución y prevención, rectificación de la fuente y el principio "el que contamina paga". Lo que se espera del programa de acción es resaltar la necesidad de sistemas nacionales administrativos para el manejo de las aguas subterráneas, medidas preventivas, disposiciones generales para manejar las sustancias dañinas de manera segura y fomentar las prácticas agrícolas que permiten la protección de las aguas subterráneas. Un aspecto clave para tomar medidas preventivas con respecto a las aguas subterráneas es identificar las reservas de aguas subterráneas y las actividades potencialmente contaminantes.

En Inglaterra y en Gales se ha establecido una política de protección para las aguas subterráneas. Un objetivo clave ha sido crear un marco con todas las actividades que pueden representar una amenaza grave o leve para las aguas subterráneas, desde las fuentes puntuales o dispersas hasta los contaminantes persistentes y degradables. La política, que ha sido publicada como una guía y distribuida a todas las autoridades relacionadas con el tema (de planificación, de reglamentación y otros), contiene una clasificación de las aguas subterráneas en función de la vulnerabilidad, una definición de las zonas de protección de las fuentes e indicaciones sobre cómo controlar las actividades para reducir o eliminar los riesgos de la contaminación que ocasionan tales actividades.

Los factores que definen la vulnerabilidad de las aguas subterráneas son la presencia y naturaleza del suelo sobreyacente, del movimiento, de los estratos y la profundidad de la zona no saturada. Estas medidas se denominan como protección de los recursos de aguas subterráneas. Se debe distinguir entre la protección general del recurso y la protección específica requerida para extracciones particulares de aguas subterráneas. Cuando se dispone de información sobre el acuífero y las tasas de abstracción, es posible definir un área de captación específica. Una política de protección define las zonas de protección de las fuentes de aguas subterráneas de la siguiente manera: una zona interna, definida como el tiempo de recorrido de 50 días de un contaminante hasta el punto de extracción; una zona exterior de protección de la fuente, definida como el tiempo de recorrido de 400 días; y una zona total de la captación de la fuente. Este enfoque permite aplicar diferentes niveles de protección en diversos puntos de la captación. Los mapas de vulnerabilidad se preparan para el recurso en general pero no para fuentes individuales de aguas subterráneas. La política establece una guía para tomar medidas preventivas de contaminación que cubren varias situaciones claves donde las autoridades normativas deben considerar su impacto potencial sobre los acuíferos. Estas medidas incluyen:

- El control de la extracción de aguas subterráneas.
- El trastorno físico de los acuíferos y del flujo de aguas subterráneas.
- El impacto de la disposición de residuos en el terreno.
- Los problemas asociados con la contaminación del suelo.
- La disposición de lodos y efluentes líquidos en el terreno.
- El control de descargas en los estratos subterráneos.
- La contaminación de aguas subterráneas por fuentes dispersas.
- Las actividades que pueden significar una amenaza para la calidad de aguas subterráneas.

El enfoque básico de la política es desarrollar una estrategia de cooperación para resolver los problemas potenciales y evitar futuros problemas.

En Brasil se adoptó un enfoque similar en donde se trazó un mapa de vulnerabilidad para el estado de São Paulo basado en 31 acuíferos con seis niveles de vulnerabilidad. Las áreas críticas de contaminación de las aguas subterráneas se determinaron al comparar el mapa de vulnerabilidad con un mapa de carga contaminante potencial que toma en cuenta los registros de la actividad industrial, ciudades, minas y lugares de disposición de residuos. El concepto de riesgo de contaminación de las aguas subterráneas se basó en la interacción entre la carga de contaminación potencial y la vulnerabilidad derivada de las características naturales de los estratos.

El artículo 13(l) de la Ley de Protección Ambiental de Canadá se aplica específicamente a las aguas subterráneas. Contiene una prohibición general según la cual *“ninguna persona debe descargar o permitir la descarga de un contaminante que cause o que pueda causar un efecto adverso en el ambiente natural”*. El término descarga abarca fugas, escapes y derrames que pueden afectar a las aguas subterráneas. La contaminación se debe notificar al Ministerio del Ambiente que tiene poderes para tomar medidas, incluida la limpieza. Otros artículos de esta ley permiten establecer órdenes para limpiar descargas de los lugares de disposición de residuos (parte V) y la fuga o derrames de otras instalaciones, tales como tanques de almacenamiento (parte IX). Las sanciones por incumplimiento de las normas son muy severas.

### 5.7 Contaminación transfronteriza

El problema de la contaminación transfronteriza ocurre cuando las masas de agua, como los ríos Rin y Danubio, fluyen a través de, o colindan con, más de un país. La calidad del agua de un país puede depender de la eficacia del control de otro país. De manera similar, en los mares como el Mar Báltico y Mar del Norte, que se encuentran prácticamente encerrados, es necesario que todos los países circundantes tomen medidas de control de la contaminación para garantizar la mejora de la calidad del agua.

Los países europeos han llevado a cabo más de 100 convenios, tratados y acuerdos para fortalecer la cooperación relacionada con las aguas transfronterizas en los niveles bilateral, multilateral y paneuropeo. Estos acuerdos testimonian la inquietud e interés de los países europeos por evitar el deterioro de la calidad del agua en las aguas transfronterizas. Como consecuencia de la disposición de la Convención sobre la Protección y Uso de Corrientes de Agua Transfronterizas y Lagos Internacionales (la Convención de Agua de la CEE) (CEPE, 1994), recientemente se han revisado,

complementado y actualizado algunos acuerdos bilaterales y multilaterales establecidos hace mucho tiempo para satisfacer la urgencia del manejo integral del agua, incluido el control de la contaminación transfronteriza del agua.

Los ejemplos de acuerdos multilaterales incluyen la Convención de Cooperación para la Protección y Uso Sostenible del Río Danubio, el Acuerdo para la Protección del Scheldt y el Acuerdo para la Protección del Meuse, firmados en 1994. Estos acuerdos están enmarcados dentro de la Convención del Agua de la CEE. Algunos ejemplos de acuerdos bilaterales recientes, que también se basan en las disposiciones de la Convención del Agua de la CEE, son el Acuerdo sobre el Uso Conjunto y Protección de Aguas Transfronterizas (Kazakstán y la Federación Rusa) de 1992, el Acuerdo sobre el Uso Conjunto y la Protección de Aguas Transfronterizas (Federación Rusa y Ucrania) de 1992, el Acuerdo sobre las Relaciones de Manejo del Agua (Croacia y Hungría) de 1994 y el Acuerdo sobre el Uso Conjunto y la Protección de las Aguas Transfronterizas (República de Moldova y Ucrania) de 1994.

Un elemento importante de cooperación en los distintos convenios sobre aguas transfronterizas es el desarrollo de programas concertados de acción para reducir las cargas de contaminación. Los ejemplos incluyen programas de acción formulados bajo el auspicio de la Comisión para la Protección del Rin contra la Contaminación (1987), las Comisiones Internacionales para la Protección del Mosela y Saar (1990) y la Comisión Internacional para la Protección del Elba (1991). Estos programas proporcionan medidas detalladas para reducir las descargas de contaminantes del sector industrial y municipal, el ingreso de contaminantes por fuentes dispersas, la reducción de riesgo de accidentes mediante la seguridad y mejoramiento de las condiciones hidrológicas y morfológicas de los respectivos ríos.

Los elementos comunes de estas convenciones, acuerdos y programas de acción pueden servir de guía para que los países que colindan con masas de agua preparen sus propios instrumentos legales internacionales. Los elementos comunes de tales acuerdos incluyen tomar medidas para mejorar el ecosistema fluvial de manera que los organismos mayores que una vez existieron regresen, garantizar la producción de agua potable, reducir la contaminación del agua por sustancias peligrosas para que el sedimento se pueda usar en el terreno sin causar daño y proteger el ambiente marino de los efectos negativos del agua del río.

Para lograr los objetivos de la Convención del Agua de la CEE, los futuros participantes requerirán fortalecer su capacidad para cumplir con las disposiciones. Esta capacidad se refiere, por ejemplo, al uso de la mejor tecnología disponible para el tratamiento de las aguas residuales industriales

que contienen sustancias peligrosas, tecnologías que ahorran agua, sistemas confiables de medición de efluentes y aguas industriales, así como equipo moderno de laboratorio y técnicas analíticas. La mayoría de estas medidas requieren recursos sustanciales. Se necesita desarrollar programas de asesoría, en particular para los países con economías en transición. Estos programas tendrán por objetivo intercambiar información pertinente, resultados de investigación y desarrollo, prácticas e instrumentos de manejo del agua y proporcionar capacitación.

El control del movimiento de los residuos puede ayudar indirectamente a controlar la contaminación del agua transfronteriza. La CE ha planteado su posición en directivas y reglamentos, como por ejemplo, en la Directiva 84/631/CEE sobre la supervisión y control en la UE del transporte transfronterizo de residuos peligrosos junto con las respectivas directivas de enmienda, en el Reglamento 259/93/CEE sobre la supervisión y control de transportes de residuos dentro y fuera de la UE y en una lista de residuos peligrosos aprobada por Decisión del Consejo el 15 de diciembre de 1994.

### **5.8 Conclusiones**

Existe un gran número de instrumentos legales y de reglamentación disponibles para prevenir y controlar la contaminación, los que se encuentran en operación en muchos países industrializados. Los países en desarrollo deben examinarlos de acuerdo con su capacidad para lograr un resultado final sin agotar sus recursos. Se debe adoptar un criterio equilibrado para establecer qué normas se tomarán como metas. Para lograrlas, se debe proporcionar financiamiento a las industrias, municipalidades, agricultores y otros. La mejor manera de lograrlas es con la participación total de los afectados en el proceso de toma de decisiones mediante la adopción de un enfoque multifacético para el uso de los distintos instrumentos y un programa gradual pertinente que se adecue a la disponibilidad financiera y de recursos con las normas que se introducirán a lo largo de los años.

### **5.9 Referencias**

- CIRIA 1994 *Control of Pollution from Highway Drainage Discharges*. Report 142, Construction Industry Research and Information Association, Londres.
- Danish EPA 1995 *Inspection and Enforcement of Environmental Legislation in some EU Countries and Regions*. EU Network for the Implementation and Enforcement of Environmental Law, Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen.



- DOE 1994 *Reducing Emissions of Hazardous Chemicals to the Environment*. Discussion paper of the Department of the Environment, Her Majesty's Stationery Office, Londres.
- DOE 1995 *Risk Reduction for Existing Substances*. Department of the Environment, Londres.
- CEE 1992 *European Community Environmental Legislation*. Volúmenes 1-7, L2985, Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburgo.
- CEPE 1993 *Protection of Water Resources and Aquatic Ecosystems*. Water Series No. 1. Naciones Unidas, Nueva York.
- CEPE 1994 *Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes*. Naciones Unidas, Nueva York.
- Forestry Commission 1991 *Forests and Water Guidelines*. UK Forestry Commission, Her Majesty's Stationery Office, Londres.
- FWR 1994 *Urban Pollution Management Manual*. Report FR/CL0002. Foundation for Water Research, Marlow, Bucks, 129-40.
- HMIP 1991 *Chief Inspectors Guidance Notes to Inspectors*. Environmental Protection Act 1990 Process Guidance Notes (IPR Series). Her Majesty's Stationery Office, Londres
- Kletz, T.A. 1998 *Learning from Accidents in Industry*. Butterworths.
- Muschack, W. 1990 Pollution of street runoff by traffic and local conditions. *Sci. Tot. Envir.*, **93**, 419-31.
- NRA 1992 *The Influence of Agriculture on the Quality of Natural Waters in England and Wales*. Water Quality Series No.6. National Rivers Authority, Bristol.
- NRA 1994a *Water Quality Objectives: Procedures used by the National Rivers Authority for the Purposes of the Surface Waters (River Ecosystem) (Classification) Regulations 1994*. National Rivers Authority, Bristol.
- NRA 1994b *Discharge Consents Manual* (Volúmenes 024A y 024B). National Rivers Authority, Bristol.
- NRA 1994c *Discharge Consents and Compliance – the NRA's Approach to Control of Discharges to Water*. Water Quality Series No. 17. National Rivers Authority, Bristol, 27 pp.
- OCDE 1994 *OCDE Pollution Prevention and Control Group, Summary of Member Country Information on Policies for Applying BAT/EQO in Environmental Regulation of Point Sources*. Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, París.
- OMS 1993 *Guidelines for Drinking-Water Quality. Volumen I Recommendations*. Segunda edición. Organización Mundial de la Salud, Ginebra.

RCEP 1992 *Royal Commission on Environmental Pollution, Freshwater Quality, Sixteenth Report, Comnd 1966*. Her Majesty's Stationery Office, Londres, 65-67.

## Capítulo 6\*

### INSTRUMENTOS ECONÓMICOS

#### 6.1 Introducción

En 1972 la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) adoptó el principio “el que contamina paga”. Este principio, que posteriormente fue adoptado como política oficial por la Unión Europea (UE), representa la noción central de la economía ambiental que considera la incorporación del costo de la contaminación. Desde su introducción, el principio ha sido ampliado para incluir el uso de los recursos, por ello, el contaminador y el usuario también deben asumir el pago (OCDE, 1994b). Este principio ha motivado el creciente interés mundial de aplicar instrumentos económicos. Aplicados adecuadamente, tienen en teoría, el potencial de promover medidas de costo-efectividad e innovar la tecnología para controlar la contaminación. Además, la calidad del agua es una de las pocas áreas de la política ambiental en donde los instrumentos económicos desempeñan una función significativa en los países de la OCDE y economías en transición. La finalidad de este capítulo es revisar los instrumentos económicos más usados para controlar la contaminación del agua, resaltar las consideraciones prácticas para su aplicación, sugerir criterios para seleccionar los más apropiados y discutir las implicaciones de su adopción en los países en vías de desarrollo y economías en transición que aún no los usan.

#### 6.2 ¿Por qué usar instrumentos económicos?

Los instrumentos económicos o de mercado dependen de las tendencias del mercado y cambios en los precios relativos para modificar el comportamiento de los contaminadores públicos y privados de modo que contribuyan a la protección o mejoramiento del ambiente. Representan uno de los dos enfoques estratégicos para controlar la contaminación. El otro enfoque es reglamentario, por lo general denominado “de orden y control” (OYC). Las herramientas reglamentarias influyen en los resultados ambientales al normar los procesos o productos, limitar la descarga de contaminantes específicos y restringir algunas actividades contaminantes a estaciones o áreas específicas. Otro medio

\* *Este capítulo fue preparado por J.D. Bernstein*

de influir en la conducta del contaminador es mediante la persuasión. En el caso de las industrias contaminantes, este enfoque puede incluir acuerdos voluntarios para adoptar medidas de control de la contaminación. En el caso de los consumidores, puede incluir la educación pública y campañas de información para influir en los modelos de consumo y disposición de residuos. Este enfoque se aplica en los Países Bajos, Japón e Indonesia.

Desde que se introdujo la política ambiental, los gobiernos de la mayoría de los países industrializados han usado estos instrumentos como su principal estrategia para controlar la contaminación. Sin embargo, muchos países están tomando conciencia de la ineficacia de los instrumentos de reglamentación para lograr la mayoría de los objetivos del control de la contaminación y están observando que el monto de la inversión requerida para cumplir las leyes y reglamentos ambientales cada vez más estrictos, se está convirtiendo en un costo importante de la producción. En Estados Unidos, por ejemplo, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) calcula que la proporción del producto nacional bruto (PNB) destinada a la protección del ambiente posiblemente aumentará de 1,7% en 1990 a 3% en el año 2000 y que la mayoría de estos costos serán asumidos por el sector privado (US EPA, 1991). Por consiguiente, cada vez más gobiernos investigan mecanismos alternativos para lograr los medios más eficientes en función de los costos para controlar la contaminación a fin de no ocasionar gastos excesivos a las empresas e individuos y no perjudicar el desarrollo económico.

A diferencia de los instrumentos de reglamentación, los instrumentos económicos pueden hacer que el control de la contaminación sea ventajosa para las organizaciones comerciales y disminuyen los costos para reducir la contaminación. Estos instrumentos se pueden aplicar a una amplia gama de problemas ambientales y pueden incluir diversas formas de incentivos, información y capacidad administrativa para su implementación y cumplimiento eficaces. Los principales tipos de instrumentos económicos usados para controlar la contaminación son:

- *Establecimiento de precios.* El establecimiento de precios marginales puede reducir el uso excesivo del agua y la contaminación resultante y puede asegurar la sostenibilidad de los programas de tratamiento del agua. Las tarifas o cobros por el agua que cubren los costos de la captación y tratamiento pueden inducir a las organizaciones comerciales a adoptar tecnologías que ahorran agua, incluidos los sistemas de reciclaje y reúso de agua y la minimización o eliminación de los residuos que de otro modo se descargarían en el efluente. En Tailandia, por ejemplo, muchos hoteles ubicados a lo largo de la costa oriental tratan y reciclan el agua para el

riego de áreas verdes debido a que actualmente el costo del agua excede el costo del tratamiento (Foster, 1992). Antes de considerar el uso de otros instrumentos en la política ambiental, se recomienda que los países evalúen sus políticas de precios del agua, ya que tales políticas pueden promover el uso excesivo del agua y su deterioro.

- **Cobros por contaminación.** Un cobro o impuesto por contaminación se puede definir como un “precio” que se debe pagar por el uso del ambiente. Los cuatro tipos de cobros principales para controlar la contaminación son: (i) cobros por el efluente, es decir los cobros que se basan en la cantidad o calidad de los contaminantes descargados, (ii) cobros a los usuarios, es decir los pagos por el uso de instalaciones colectivas de tratamiento, (iii) cobros por el producto, es decir los cobros impuestos a los productos que son dañinos para el ambiente y que se usan como insumos en el proceso de producción, consumo o disposición, y (iv) cobros administrativos, es decir, pagos a las autoridades para el registro químico, concesión de licencias y actividades de control de la contaminación.
- **Licencias negociables.** Según este enfoque, la autoridad responsable establece límites máximos para las emisiones totales admisibles de un contaminante. Luego, los distribuye entre las plantas industriales u otras fuentes contaminantes y otorga licencias para una cantidad determinada del contaminante durante un período específico. Después de su distribución inicial, las licencias se pueden comprar y vender. La negociación puede ser externa (entre diferentes empresas) o interna (entre diferentes plantas dentro de la misma organización).
- **Subsidios.** Estos incluyen incentivos tributarios (depreciación acelerada, gastos parciales, créditos tributarios de inversión, exoneraciones y aplazamientos de impuestos), subvenciones y préstamos con bajos intereses para inducir a los contaminadores a reducir la cantidad de sus descargas mediante la adopción de diversas medidas de control de la contaminación. La supresión de un subsidio es otra herramienta eficaz para controlar la contaminación. En muchos países, por ejemplo, el agua de riego está libre de costo, lo cual conlleva a los agricultores al riego excesivo, dando lugar a la salinización o encharcamientos.
- **Sistemas de reembolso del depósito.** Según este enfoque, los consumidores pagan un recargo cuando adquieren un producto potencialmente contaminante. Cuando los consumidores o usuarios del producto lo devuelven a un centro autorizado para su reciclaje o disposición adecuada, se les reembolsa su depósito. Este instrumento se aplica a los productos duraderos o reusables o que no han sido consumidos ni han sufrido una

transformación durante su consumo, por ejemplo, los envases de bebidas, de plaguicidas y baterías de automóviles.

- *Incentivos al cumplimiento.* Estos instrumentos son sanciones diseñadas para inducir a los contaminadores a cumplir las normas y reglamentos ambientales. Incluyen multas por incumplimiento que se cobran a los contaminadores cuando sus descargas exceden los niveles aceptados, bonos de rendimiento (pago a las autoridades normativas antes de llevar a cabo una actividad potencialmente contaminante que es devuelto cuando se prueba que el rendimiento ambiental es aceptable) y asignación de responsabilidades, que incentiva a los contaminadores reales o potenciales a proteger el ambiente al responsabilizarlos por cualquier daño que causen. Este capítulo solo aborda las multas porque son los incentivos para el cumplimiento más comúnmente usados, principalmente en el área del control de la contaminación del agua.

A pesar de presentar varias ventajas sobre la reglamentación directa al aplicarlos en el control de la contaminación, los instrumentos económicos no excluyen y no deben excluir el uso de los instrumentos de reglamentación. En la mayoría de los casos, los instrumentos económicos complementan el marco normativo existente con normas ambientales que constituyen los objetivos de ambos. Al combinar correctamente los instrumentos reglamentarios y los económicos, y en algunos casos otros tipos de instrumentos como los derechos de propiedad o enfoques educativos, los encargados de formular las políticas pueden combinar los elementos positivos de ambos enfoques.

La ventaja principal del enfoque normativo es que cuando se adopta y cumple adecuadamente, el reglamento brinda una predicción razonable de la reducción de la contaminación. En teoría, las ventajas de los instrumentos económicos son:

- Permiten que las organizaciones comerciales e individuos respondan flexible e independientemente de acuerdo con los precios del mercado para lograr los objetivos del manejo ambiental al menor costo.
- Incentivan constantemente a las organizaciones comerciales a reducir la contaminación y por consiguiente, a desarrollar y adoptar nuevas tecnologías y procesos de control para minimizar los residuos.
- Pueden incrementar los ingresos (en el caso de los cobros) para financiar las actividades del control de la contaminación.
- Admiten el crecimiento de las industrias existentes y la entrada de nuevas industrias de mejor modo que un enfoque normativo.
- Reducen los costos de vigilar el cumplimiento y los costos administrativos tanto para el gobierno como para la industria. Por ejemplo, el uso de los impuestos ambientales o licencias negociables descarta la necesidad de

que el gobierno certifique los procesos y tecnologías de producción. También excluye la necesidad de que el gobierno disponga de grandes cantidades de información para determinar el nivel de control más factible y apropiado para cada planta o producto reglamentado.

Las ventajas de los instrumentos económicos compensan la desventaja principal del enfoque normativo, es decir, el hecho de que las herramientas reglamentarias puedan ser económicamente ineficientes y excesivamente costosas de implementar. Por ejemplo, según el enfoque normativo, todas las organizaciones comerciales estarían sujetas a las mismas normas de emisión independientemente de sus costos para reducir la contaminación. Idealmente, solo los contaminadores más grandes instalarían equipo para controlar la contaminación; la gran escala de sus operaciones haría que el control de la contaminación por unidad producida sea inferior al de los contaminadores de pequeña escala. El enfoque normativo también tiende a desalentar la innovación de la tecnología para el control de la contaminación y ofrece poco o ningún incentivo financiero a las organizaciones para que superen sus objetivos de control. Esta es una particular desventaja, ya que el desarrollo de nuevas técnicas de control pudiera ayudar, en el futuro, a establecer nuevas normas pero sin la oportunidad de beneficiarse de la innovación. Además, en la mayoría de los casos, el cumplimiento depende de la capacidad del organismo regulador para hacer cumplir las normas y del número de organizaciones o individuos regulados. Mientras mayor sea el número de organizaciones o individuos bajo reglamentación, más difícil es hacer cumplir los reglamentos adecuadamente. En cambio, los instrumentos económicos se pueden adaptar mejor a un mayor número de fuentes puntuales y no puntuales de contaminación.

A pesar de ser más eficientes en función de los costos que los instrumentos reglamentarios y más apropiados para tratar numerosas fuentes puntuales y no puntuales, el enfoque económico o de mercado para controlar la contaminación también presenta algunas desventajas. Las principales deficiencias de los instrumentos económicos son:

- Sus efectos sobre la calidad ambiental no son tan predecibles como los del enfoque normativo tradicional debido a que los contaminadores pueden elegir sus propias soluciones.
- En el caso de los cobros por contaminación, algunos contaminadores optan por contaminar y pagar el cobro cuando éste no se ha establecido en el nivel apropiado.
- Por lo general, estos instrumentos requieren instituciones complejas para implementarlos y hacerlos cumplir adecuadamente, principalmente en el caso de los cobros y licencias negociables.

Además de estas desventajas, tanto los organismos gubernamentales como los contaminadores particulares se han rehusado a introducir instrumentos económicos. Por ejemplo, los organismos de control se han opuesto principalmente porque tienen menos control sobre los contaminadores. La industria y otros contaminadores los han rechazado porque creen que pueden negociar más con el diseño e implementación de los reglamentos que con los cobros. Las industrias también consideran los instrumentos económicos como limitaciones adicionales (cuando complementan los reglamentos existentes). Por ejemplo, los cobros imponen una carga financiera además del costo de cumplir con los reglamentos. Otro elemento disuasivo para el uso de los instrumentos económicos son sus requisitos de implementación, muchas veces complicados. Las principales dificultades están relacionadas con la fijación de precios para los recursos ambientales y el cálculo de la extensión total del daño ambiental.

### **6.3 Aplicación de los instrumentos económicos**

A pesar de la oposición general de los países para usar los instrumentos económicos en el manejo ambiental, el control de la contaminación del agua es una de las pocas áreas de la política ambiental en donde estos instrumentos han cumplido una función relativamente significativa. En la mayoría de los países industrializados, los cobros para la recolección y tratamiento del agua están bien establecidos. En muchos países, los cobros también se aplican a los contaminadores que descargan su efluente directamente en los cursos de agua. Además, la combinación de la reglamentación directa con los instrumentos económicos, principalmente los cobros, han producido resultados positivos en la obtención de ingresos y el control de la contaminación.

En lo que resta del capítulo se trata del uso de algunos instrumentos específicos para controlar la contaminación del agua. Entre estos, la fijación del precio del agua, los cobros por el efluente, los cobros a los usuarios y los subsidios son los principales instrumentos económicos usados tanto por los países industrializados como por los países en desarrollo.

#### **6.3.1 Establecimiento de precios**

Las políticas de fijación de precios del agua pueden ser una herramienta eficaz para reducir la contaminación, no solo porque promueven la conservación del agua, sino también porque recaudan fondos para apoyar los programas de control de la contaminación. En la ciudad de México, por ejemplo, se ha aumentado el precio del consumo de agua industrial, lo cual ha desalentado el establecimiento de industrias que hacen uso intensivo del agua en el área



metropolitana y ha promovido la conservación del agua al hacer del reciclaje una proposición atractiva. Igualmente, ha promovido el uso de tecnologías que ahorran agua (Banco Mundial, 1994). Según se ha demostrado en la ciudad de México, donde las normas de aguas residuales se definen en función de la concentración de los contaminantes, los cobros por contaminación y las normas se deben coordinar cuidadosamente con los precios del agua para asegurar el control eficaz de la contaminación. Si los precios del agua son bajos, los contaminadores pueden cumplir la norma mediante la dilución, lo cual conlleva al mayor uso del agua sin reducir la carga general de la contaminación.

### **6.3.2 Cobros por el efluente**

Varios países aplican cobros por el efluente a fin de financiar las medidas necesarias para recolectar y tratar las aguas residuales y proporcionar incentivos financieros que reduzcan las descargas del efluente. El cobro se puede basar en la calidad o en la cantidad real de las aguas residuales (determinado mediante un monitoreo anual o de mayor frecuencia por el órgano responsable o mediante el automonitoreo del contaminador), o en información sobre la producción, los niveles de tratamiento y el número de trabajadores de una empresa. En algunos casos se cobra una tarifa única. La implementación exitosa de un sistema de cobros depende de cuatro factores claves (OCDE, 1991):

- Reconocer las principales características del problema ambiental.
- Elegir una autoridad competente para legislar, implementar y monitorear el impuesto.
- Establecer una base tributaria adecuada.
- Fijar una tasa tributaria apropiada.

La experiencia de la mayoría de los países que aplican cobros por los efluentes, por ejemplo Francia, Alemania, Italia y los países de Europa Central y del Este indica que a pesar de obtener ingresos para el control de la contaminación, los cobros se fijan muy por debajo del nivel requerido para inducir a los contaminadores a reducir sus descargas. En cambio, en los Países Bajos, el cobro por el efluente, diseñado solo como una herramienta para la obtención de ingresos, también ha servido como incentivo debido a las altas tasas de los cobros. Los Países Bajos también adoptaron el siguiente enfoque para prescindir de grandes cantidades de información para evaluar las tarifas:

- Las viviendas y pequeñas industrias contaminadoras que producen menos de 10 unidades de población (pe) no tienen que pagar tarifas por la contaminación real que causan. Al tener pocas oportunidades para limitar las descargas, esta categoría de contaminadores es de importancia secundaria para el organismo de control. El mayor beneficio es que permite

a los órganos ejecutivos reducir drásticamente la cantidad de información requerida. En su lugar, se utilizan tasas fijas.

- Los cobros para los contaminadores medianos (10-100 pe) no se basan en las muestras de sus efluentes sino en un cuadro de coeficientes preparado por expertos. Este permite estimar con exactitud la cantidad probable de contaminación para cada sector industrial a partir de datos que se pueden obtener fácilmente, como por ejemplo, la cantidad de agua y de materia prima que usa la planta de producción. Sin embargo, el incentivo para reducir la contaminación permanece intacto. Las empresas que se consideran sobreevaluadas en el cuadro de coeficientes pueden solicitar el muestreo de su efluente para que el monto del cobro sea establecido de acuerdo con los resultados (Braceros y Schuddeboom, 1994).

Como lo demuestran los sistemas de cobros por el efluente en muchos países (recuadro 6.1), estos sistemas tienen más éxito cuando se combinan con la reglamentación, cuando se aplican a fuentes estacionarias de contaminación y cuando los costos marginales de reducción varían entre los contaminadores (mientras más variados sean los costos, mayor es el potencial de ahorro de costos). Otros factores del éxito son la factibilidad de monitorear los efluentes (ya sea mediante el monitoreo directo o por variables aproximadas), la capacidad de los contaminadores para pagar el cobro, la capacidad de las autoridades del control de la contaminación para evaluar las tarifas apropiadas y el potencial de los contaminadores para reducir las emisiones y cambiar su conducta. El sistema de cobros por contaminación de Rusia demuestra en qué medida las deficiencias de la administración pueden minar la eficacia ambiental (recuadro 6.2).

En México, el cobro por el efluente está directamente vinculado con la reglamentación, pero su diseño e implementación se pueden mejorar. La Ley Federal de Cobros del Agua en México establece cobros por la contaminación del agua aplicables a todas las descargas de las aguas nacionales que exceden la norma correspondiente. Los cobros se basan en el volumen del flujo, descargas de los contaminantes convencionales (sólidos suspendidos y demanda química de oxígeno (DQO)), costos de reducción de la contaminación y escasez regional del agua. Sin embargo, el cobro no considera la toxicidad del efluente o la calidad del agua receptora. El objetivo del cobro por la contaminación es alentar a las organizaciones para que cumplan las normas del efluente y solo se aplica en caso de incumplimiento. Las organizaciones que no cumplen pero que tienen un plan para controlar las emisiones pueden ser exonerados hasta por dos años. La base tributaria tiene tres componentes: las emisiones de DQO que exceden la norma, los sólidos suspendidos que

exceden la norma y un componente referido al volumen. El componente referido al volumen se aplica cuando la organización incumple alguna norma de los contaminantes, independientemente de su cumplimiento con las normas de DQO y sólidos suspendidos. Cada uno de estos tres componentes tiene un cobro respectivo que depende de la zona en la que está ubicada la compañía.

En la práctica, en México la implementación e impacto del cobro por el efluente han sido muy limitados. El ingreso total recaudado de los cobros en 1993 fue solo US\$ 5,6 millones, una proporción muy pequeña del ingreso potencial. La tributación potencial de tan solo una región se estima en US\$ 35 millones y se lograría una reducción de la contaminación de más de 70% (Banco Mundial, 1994). A pesar de ser una iniciativa positiva, el diseño e implementación del cobro por contaminación del agua en México se puede mejorar de dos maneras. En primer lugar, no es necesario aplicar cobros exclusivos para los sólidos suspendidos, ya que por lo general la reducción de otras variables (por ejemplo la DQO) conlleva a una reducción relativamente alta de sólidos suspendidos. En segundo lugar, se podría obviar el componente referido al volumen porque fomenta el aumento de las concentraciones de los contaminantes debido a que es el principal componente para determinar el cobro por contaminación. Otras maneras de mejorar el sistema sería incluir cobros por metales pesados y excluir los sólidos suspendidos, así como modificar el cobro de acuerdo con la calidad del agua receptora.

A pesar de ser los más utilizados entre los instrumentos económicos, la experiencia de muchos países indica que el nivel de los cobros por el efluente es demasiado bajo como para ser un factor disuasivo eficaz contra la contaminación. La mayoría de los contaminadores prefiere pagar en vez de cambiar su conducta contaminante. Por consiguiente, la función principal de la mayoría de los sistemas de cobro por efluentes es aumentar los ingresos. En varios países, en donde se imponen cobros en forma generalizada (por ejemplo China, Japón, Indonesia, Corea, Polonia, Rusia, Tailandia), los gobiernos depositan los ingresos de los cobros e impuestos por contaminación en fondos ambientales que sirven para proporcionar préstamos y subvenciones a las municipalidades o empresas locales que desean adquirir equipo de reducción e introducir tecnologías limpias (recuadro 6.3).

### 6.3.3 Cobros a los usuarios

Los cobros a los usuarios pueden ser variados (pueden estar relacionados con el consumo de agua o con el valor de la propiedad) o también pueden ser fijos o usar una combinación de los dos y se evalúan tanto las descargas municipales como industriales en el alcantarillado público (recuadro 6.4). La experiencia

**Recuadro 6.1** Ejemplos de sistemas de cobros por el efluente

**Brasil**

En Brasil, cuatro Estados están experimentando sistemas de cobros por el efluente bajo la forma de una tarifa basada en el contenido de contaminantes en los efluentes industriales. A pesar de que las fórmulas adoptadas para definir los niveles de la tarifa varían entre los Estados, el objetivo común es la recuperación de los costos. En el Estado de Río de Janeiro, el organismo local de protección ambiental, Fundação de Tecnologia de Saneamento Ambiental (FEEMA), se encarga de la recaudación del cobro. Se está creando un cobro por el efluente que debe ser aprobado por el gobierno del Estado y que se exigirá a todos los contaminadores, basado en el volumen y concentración del efluente, incluidos la DBO y los metales pesados. Las tasas de la tarifa se calcularán para recuperar las necesidades presupuestarias del organismo del Estado. En el caso de Río de Janeiro, actualmente el presupuesto de los organismos estatales es tan bajo que la administración depende de la obtención de ingresos para cumplir sus requisitos de financiamiento. Por lo general, los ingresos se distribuyen para la reducción de la contaminación, financiación de costos administrativos, cumplimiento del monitoreo y campañas educativas.

**Francia**

Para administrar sus recursos hídricos y detener o reducir la creciente contaminación de sus ríos, en 1964 el gobierno francés decidió aplicar instrumentos económicos para complementar sus reglamentos. Al mismo tiempo, se asignaron responsabilidades de financiamiento y manejo hídrico a nuevos organismos operacionales, es decir comités de cuencas de ríos y organismos del agua. Estas instituciones, creadas en las seis cuencas fluviales, desempeñan una función esencial en la planificación del agua y control de la contaminación doméstica e industrial. La creación de estos organismos obligó a adoptar un enfoque consistente de la contaminación de modo que los cobros se pudieran establecer con pocas variables claramente definidas. Inicialmente, el cobro se basaba en dos variables: el peso de la materia suspendida y el peso de la materia orgánica. Ambos se consideraron prioritarios, representaban el tipo más visible de contaminación y se contaba con los medios para enfrentarlos. Posteriormente, cuando nuevas variables de contaminación empezaron a causar preocupación o cuando se dispuso de técnicas para evaluarlas y eliminarlas, la base para la evaluación se extendió gradualmente (se incluyó la salinidad, nitrógeno, fósforo, hidrocarburos halogenados, sustancias tóxicas y otros metales). En cada caso, el objetivo era usar los cobros como un incentivo para reducir la contaminación causada por una determinada variable y evitar que sean impuestos a los usuarios que no son responsables del aumento de los niveles de contaminación. La fijación de las tasas está a cargo de cada organismo y es aprobada por el comité correspondiente de la cuenca del río. Los cobros se determinan de manera que los ingresos compensen la ayuda financiera proporcionada, al mismo tiempo, se evita

Continuación

**Recuadro 6.1** Continuación

diferencias abismales entre los contribuyentes. El cobro también es una fuente de información sobre las actividades de los usuarios, ofrece un conocimiento más preciso sobre el uso del agua y una mejor comprensión del entorno natural. Como es difícil cuantificar de manera individual, la descarga de contaminantes de cada usuario se evalúa de acuerdo con una tasa fijada para todo el país basada en el tipo de actividad (en el caso de la industria) o en el número de habitantes (en el caso de centros urbanos). La cantidad de contaminación que produce un establecimiento industrial se mide solo cuando lo solicita el operador u organismo. Cuando esto ocurre, un laboratorio autorizado por el organismo hace las mediciones y los costos son cubiertos por la parte que presenta la solicitud. Los organismos también están autorizados para promover medidas de conservación del agua de bebida. Por lo tanto, además del cobro por contaminación, se cobra por el volumen de agua que consume cada usuario. Los contribuyentes pueden elegir entre una evaluación para determinar una tarifa única o medición de su consumo de agua (por lo general, el ingreso por este tipo de cobro es muy inferior a los ingresos por contaminación). La ley asigna a los organismos una función doble: promover la protección del agua en su propia cuenca, con la respectiva asistencia financiera para los trabajos de interés común, y llevar a cabo estudios e investigaciones sobre problemas hídricos. De la misma manera, cuando la actividad de los contaminadores es nociva para el ambiente, se les cobra un impuesto y cuando son beneficiosas, reciben una recompensa en forma de subsidios.

**Alemania**

En Alemania, la ley de Cobros por el Efluente autoriza a los Estados exigir cobros por las descargas directas de efluentes específicos en aguas públicas. En el caso de las organizaciones comerciales y viviendas que descargan en el alcantarillado municipal, los cobros no son directos. Se aplican cuando el efluente contiene sólidos sedimentables, DQO, cadmio, mercurio y compuestos tóxicos para peces. Al establecer la base para el cobro, la ley fijó el derecho de descargar e incluyó todos los datos físicos, químicos y biológicos y los procedimientos de monitoreo pertinentes para la calidad de las aguas residuales. El Estado también especifica una descarga total para cada organización basada en los volúmenes anteriores de aguas residuales admisibles por año. Como el cobro del efluente se combina con un procedimiento de licencias, también se indica el nivel máximo del efluente. El efluente real que descarga la organización debe tener la misma o más alta calidad que la mínima requerida en el reglamento. La base de la tarifa imponible se especifica en función de la concentración por metro cúbico del volumen de descarga o por tonelada del producto elaborado. Luego, la descarga de una organización se transforma en unidades de daño con coeficientes que determina la ley. El pago se determina al multiplicar el número de unidades de daño por la tasa tributaria que se impone a cada unidad. Esta tasa se revisa

Continuación

**Recuadro 6.1** Continuación

anualmente de acuerdo con un incremento establecido. Para fomentar la restricción de las cargas de contaminación, se imponen cobros más altos por unidad de daño cuando las organizaciones exceden el límite de la licencia. Estos excesos se permiten solo dos veces al año. Los cobros más bajos por unidad de daño se usan para calcular la obligación tributaria total que corresponde a los que descargan por debajo de la cantidad permitida en su licencia.

**Corea**

El sistema de cobros por emisión combina los reglamentos con los incentivos de mercado y se aplica tanto para las descargas en el aire como en el agua. El cobro se impone a las instalaciones que no cumplen las normas de emisión de efluentes. Sin embargo, la tasa del cobro no está directamente vinculada con la cantidad de las descargas ni tampoco existe un límite superior para el monto del impuesto. No obstante, en la práctica algunas veces se ha fijado un monto inferior a los costos de operación de una planta de tratamiento de efluentes y, por ello, las organizaciones han usado inadecuadamente sus plantas de tratamiento con el riesgo de ser detectadas y multadas. Otra desventaja del sistema es que no alienta a quienes cumplen o superan los objetivos.

**Países Bajos**

El cobro por la contaminación del agua se puede imponer a todos los que emiten residuos, sustancias contaminantes o nocivas directa o indirectamente en el agua superficial o en una planta de tratamiento de agua de uso colectivo. La imposición de la multa puede estar a cargo de autoridades públicas o de los Comités de Agua, es decir órganos no gubernamentales dirigidos por consejos en los que están representados los intereses afectados. El cobro se puede basar en la cantidad o calidad de los contaminantes. En la práctica, el cobro se aplica a las descargas de sustancias que consumen oxígeno y a los metales pesados (solo para emisiones en aguas no estatales). Ambos tipos de contaminación están representados por la "población equivalente" (pe). El establecimiento del número de pe para las viviendas y pequeñas empresas está a cargo de las autoridades. Las emisiones de organizaciones más grandes se evalúan mediante un cuadro de coeficientes de emisión o también se pueden medir individualmente. En este último caso, se espera un efecto de incentivo. El cobro por la contaminación del agua tiene una finalidad principalmente financiera; está destinada a financiar los costos de la purificación del agua. La tasa de cobro para las autoridades es relativamente baja porque el Estado no explota sus propias plantas de tratamiento de agua. Además de ser una fuente importante de fondos para las plantas de tratamiento, el cobro por la contaminación del agua también ha tenido un fuerte efecto como incentivo. Durante los 20 años de su existencia, se ha mejorado la calidad del agua y el número de plantas ha aumentado considerablemente.

Fuentes: Hahn, 1989; Cadiou y Duc, 1994; Freitas, 1994; O'Connor, 1994

**Recuadro 6.2 Problemas administrativos del programa ruso de cobros por contaminación**

Entre 1991-1992, Rusia adoptó cobros por contaminación para las emisiones en el aire y disposición de efluentes de residuos. Las tasas se determinaron de acuerdo con las concentraciones máximas permitidas y reflejaron el deseo de mitigar los riesgos a la salud ambiental y otros riesgos de contaminación. A pesar de que en un inicio los cobros tuvieron como objetivo lograr niveles óptimos de contaminación, sus tasas se calcularon para generar ingresos suficientes que permitieran el financiamiento de proyectos críticos, tales como la construcción de plantas de tratamiento de agua y la limpieza de lugares donde se disponen residuos peligrosos. En este contexto, el sistema de cobros satisfizo a las autoridades nacionales y locales. Sin embargo, varias debilidades administrativas del programa redujeron su capacidad para alentar efectivamente un cambio en la conducta contaminante. Estas deficiencias se pueden resumir de la siguiente manera:

- Carencia de un sistema apropiado (equipo, métodos, personal) para el monitoreo de las descargas.
- Equipo inadecuado y falta de experiencia del personal de inspección responsable de identificar y sancionar a los infractores.
- Incapacidad para hacer cumplir la recaudación de cobros debido a incertidumbres y contradicciones de la legislación.
- Falta de una distribución clara de la responsabilidad entre los niveles federales y territoriales.
- Ausencia de reglamentos claros que estipulen cómo distribuir los costos ambientales entre los contaminadores, presupuestos y fondos ambientales federales y regionales.
- Preguntas sin resolver relacionadas con la responsabilidad económica que debe asumir una empresa por el daño ambiental causado por tecnologías anteriores y actuales.
- Apoyo institucional insuficiente, incluida la falta de capacitación del personal especializado y de un programa especial de implementación.
- Sistemas de cobros demasiado complicados, debido en parte a la inclusión de cientos de contaminantes y a la necesidad de calcular tarifas precisas para los cobros.
- Reducción de los cobros por contaminación debido a la inflación. En 1992, el aumento de 500% en los cobros fue insuficiente para compensar la inflación.

No obstante, el sistema de cobros por contaminación se ha convertido en la piedra angular de los programas de protección ambiental de Rusia. Desde 1992, los acuerdos entre los contaminadores y las autoridades de protección ambiental han creado la base legal para la recaudación de los cobros. Estos acuerdos especifican el nivel de descarga permitido, las tasas y las sanciones para cada contaminante descargado, así como el cronograma de pago de los cobros.

Fuente: Academia Nacional de Administración Pública, 1994.

de muchos países indica que la eficacia de estos cobros para controlar la contaminación depende de su adecuado establecimiento y de la capacidad institucional para monitorear las descargas y hacer cumplir los reglamentos.

En Izmir y Estambul, Turquía, los cobros por el alcantarillado (cobros de aguas residuales) se evalúan a partir de las descargas industriales en los sistemas de alcantarillado. Estos cobros son significativos porque motivan a las fábricas a tratar sus efluentes. Las empresas deben cubrir dos costos: los costos del tratamiento y los de disposición (cobros por el alcantarillado). Por lo general, los cobros altos del alcantarillado fomentan el tratamiento completo de las aguas residuales industriales, de manera que puedan descargarse en las aguas superficiales para poder exonerarse de estos cobros. En cambio, los cobros bajos del alcantarillado solo promueven el pre-tratamiento necesario para la descarga en el alcantarillado municipal. De esta forma, las empresas minimizan sus costos de tratamiento. Por consiguiente, al querer minimizar sus costos, la decisión de una organización para aplicar el pre-tratamiento o el tratamiento completo dependerá del nivel del cobro por el alcantarillado. Sin embargo, en Izmir y Estambul, el problema de las descargas ilegales dificulta la aplicación de una tarifa óptima. Cuando el cobro por el alcantarillado es demasiado alto, las empresas pueden tratar de evadirlo al descargar ilegalmente las aguas residuales. Por lo tanto, la capacidad para monitorear a los contaminadores industriales y hacer cumplir las normas de contaminación es decisiva (Kosmo, 1989).

La experiencia en la parte oriental (Suzano) de São Paulo, Brasil, también demuestra la importancia de establecer cobros por el alcantarillado en el nivel apropiado antes de invertir en el tratamiento de aguas residuales. Así mismo, demuestra la necesidad de contratos que comprometan a los usuarios industriales a cumplir el esquema y desalienta la elaboración de un plan de tratamiento desarrollado por el sector público para una sola industria. En este caso, se estaba construyendo una planta de tratamiento de aguas residuales básicamente para tratar los residuos de una fábrica de papel. Se esperaba que esta empresa usara aproximadamente 90% de la capacidad de la planta. Como la tarifa establecida por la SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) era excesivamente alta, la fábrica de papel decidió no conectarse a la nueva planta de tratamiento de aguas residuales y construyó su propia planta a un costo menor. En consecuencia, la planta de tratamiento de Suzano utilizó solo 10% de su capacidad total durante varios años porque era necesario invertir gradualmente en las redes residenciales de alcantarillado.



**Recuadro 6.3** Ejemplos de fondos ambientales**China**

Para facilitar el control de la contaminación industrial, se creó un fondo rotatorio de préstamos con intereses por debajo del mercado para las empresas locales, principalmente las pequeñas y medianas empresas. El fondo para los préstamos proviene de los impuestos por descargas de residuos. El impuesto básico se cobra por descargas hasta una determinada concentración, a partir de la cual se impone una sanción. La administración de los fondos es responsabilidad de la oficina provincial o municipal de protección ambiental y lo dirige un comité de representantes de los comités locales de planificación económica, financiera y ambiental. Para lograr su aprobación, la empresa industrial y los contaminantes objetivos deben estar incluidos en una lista como parte de la estrategia de control de la contaminación del área. Los préstamos cubren 50 a 80% de los costos del proyecto y las subvenciones de 10 a 30% de los costos.

**Corea**

El financiamiento del Fondo para la Prevención de la Contaminación Ambiental proviene, por un lado, de las contribuciones del Gobierno y, por el otro, de las multas (o cobros por contaminación) que se imponen a las organizaciones que exceden las normas de emisión. El fondo, establecido en 1983, es administrado por la Corporación de Manejo Ambiental semi-gubernamental. Los recursos para el fondo se usan para proporcionar préstamos de largo plazo con bajos intereses para invertir en el control de la contaminación, así como para compensar a las víctimas de la contaminación.

**Tailandia**

En octubre de 1991, Tailandia estableció un Fondo Ambiental con capital inicial del Gobierno de aproximadamente US\$ 200 millones. Los municipios, distritos sanitarios y negocios privados que están obligados a establecer plantas de tratamiento reciben subvenciones parciales y préstamos con bajos intereses de este fondo. La ciudad de Pattaya fue la primera en utilizar este fondo para su planta central de tratamiento de aguas residuales.

**Indonesia**

En Indonesia se estableció un Fondo para la Reducción de la Contaminación a fin de proporcionar US\$ 300 millones a los bancos para financiar préstamos a las empresas que invierten en equipo de control de la contaminación o contratan consultores ambientales.

**Polonia**

El fondo nacional ambiental financia la mayoría de las inversiones ambientales. Las fuentes de ingresos para el fondo incluyen los cobros por contaminación del aire y del agua, por el uso del agua y por los residuos. Los fondos se asignan mediante subvenciones y préstamos sin intereses (y otros préstamos blandos) para financiar el control de la contaminación del aire y agua y otras actividades de manejo ambiental (protección de suelos, monitoreo, educación).

**Rusia**

En Rusia, según un reglamento emitido en junio de 1992, los fondos ambientales deben invertir los ingresos derivados de los cobros por la contaminación en actividades ambientales. Entre otros usos, se pueden aprovechar para implementar proyectos regionales e inter-regionales para el mejoramiento de la salud ambiental y humana, realizar investigación y diseño de proyectos en las áreas de control de la contaminación, limpieza y tratamiento; apoyar a empresas, organizaciones de investigación y desarrollo y particulares que introducen equipos inocuos para el ambiente; diseñar sistemas computarizados de monitoreo ambiental; y construir o participar en la construcción de plantas de tratamiento y otras instalaciones para la protección del ambiente. Con un préstamo del Banco Mundial a la Federación Rusa se está financiando el establecimiento de un Organismo Nacional para la Reducción de la Contaminación que, a su vez, financiará posibles proyectos para reducir la contaminación.

Fuente: Lovei, 1994; O'Connor, 1994; Kaosa-ard y Kositrat, 1994

Se puede aplicar un cobro por la extracción de aguas subterráneas para desalentar el excesivo bombeo de los acuíferos que puede dar lugar a la salinización y otro tipo de contaminación de las aguas subterráneas (así como hundimiento del terreno). En los Países Bajos, las provincias pueden exigir un cobro por la extracción de aguas subterráneas basado en la cantidad extraída. Los ingresos se pueden usar para la investigación, manejo de las aguas subterráneas y pagos de indemnización cuando el daño causado por una disminución en el nivel de las aguas subterráneas no se puede atribuir a un usuario específico (OCDE, 1994a). Al igual que muchos sistemas de cobros por efluentes, éste es demasiado bajo para servir como incentivo o causar algún efecto económico significativo.

#### **6.3.4 Cobros por el producto**

Los cobros por el producto se pueden aplicar a los productos que van a contaminar el agua superficial o las aguas subterráneas antes, durante o después del consumo. Se aplican mejor a los productos que se consumen o usan en grandes cantidades y con un patrón disperso (por ejemplo fertilizantes, plaguicidas, lubricantes, etc.). Un tipo especial de cobro por el producto es la diferenciación tributaria. Se puede aplicar precios diferenciales para restringir el uso de productos contaminantes y promover el consumo de alternativas más limpias. Cuando un producto es altamente tóxico y se debe descontinuar definitivamente su uso, es mejor imponer una prohibición parcial o total antes que aplicar cobros por el producto.

Los cobros por el producto pueden actuar como un sustituto de los cobros por la emisión cuando no es posible aplicar cobros directos por la contaminación. Las tasas de los cobros por el producto deben reflejar los costos ambientales asociados con cada paso del ciclo de vida del producto. Las tasas son fijas pero cuando no actúan como un incentivo, se pueden volver a calcular. Por lo general, la eficacia del cobro por los productos contaminantes o insumos dependerá de la elasticidad de la demanda. Por ejemplo, cuando los costos del insumo representan una pequeña parte de los costos totales, no hay probabilidades de que la duplicación o triplicación del precio mediante un impuesto al insumo tenga un efecto considerable sobre el consumo, a no ser que los precios sustitutos sean razonables. Si se dispone de sustitutos menos contaminantes, los ligeros aumentos en los precios de los insumos, a la larga, pueden llevar a la sustitución e innovación de largo plazo (Moore y otros., 1989). Los ingresos de los cobros por el producto se pueden usar para tratar directamente la contaminación originada por el producto, reciclar el producto usado o para otras finalidades presupuestarias.

**Recuadro 6.4** Ejemplos de cobros a los usuarios**Canadá**

El cobro de aguas residuales exigido a las viviendas se puede determinar por el valor de la propiedad o mediante una fórmula para calcular el consumo (en m<sup>3</sup>). También se usa un impuesto de aguas residuales de tasa única.

**Colombia**

En Cali, las tarifas del alcantarillado se fijan de acuerdo al 60% de la tarifa del agua, en Cartagena, 50% y en Bogotá, 30%.

**Suecia**

En Suecia, las municipalidades imponen un cobro por el tratamiento de las aguas residuales. El cobro consta de dos elementos: una tarifa única y una variable relacionada con el consumo. El cobro parece ser eficaz porque está creciendo el número de viviendas y pequeñas industrias conectadas al sistema de alcantarillado y plantas de tratamiento. El cobro incentiva a las industrias a tratar de reducir el uso del agua cuando amplían o renuevan sus plantas, aunque esto también podría conllevar a mayores concentraciones de contaminación. En algunas municipalidades se realiza una redistribución porque las empresas pagan un cobro relativamente alto que implica subsidiar a las viviendas.

**Tailandia**

Para controlar la contaminación en Tailandia, las industrias que descargan efluentes deben pagar impuestos por el servicio de una planta de tratamiento de aguas residuales o establecer sus propias plantas. Los ingresos de los impuestos se usan para cubrir los costos de operación de la planta de tratamiento.

**Estados Unidos**

Los pueblos que reciben subvenciones federales para construir sistemas de alcantarillado deben, de conformidad con la Ley de Control de la Contaminación del Agua, recuperar sus costos de operación y parte de los gastos de inversión mediante cobros a los usuarios por el tratamiento de aguas residuales municipales. Varios Estados cobran una tarifa fija por una licencia que autoriza la descarga de aguas residuales. Por ejemplo, en California se cobra una tasa fija para obtener la licencia de descarga, la que se basa en el tipo y volumen de los contaminantes descargados.

**Fuente:** OCDE, 1989, 1994

**6.3.5 Licencias negociables**

El desarrollo de programas eficaces de licencias negociables implica establecer reglas y procedimientos para definir el área o zona comercial, distribuir las licencias iniciales (por ejemplo la asignación directa a través de un organismo regulador, adquisición de derechos, diversos tipos de licitaciones), definir, administrar y facilitar la comercialización permisible después de la asignación

inicial y llevar a cabo las actividades de monitoreo y cumplimiento. Los sistemas de licencias negociables funcionan mejor cuando (OCDE, 1991):

- El número de fuentes de contaminación es suficientemente grande como para establecer un mercado que funcione adecuadamente.
- Las fuentes de contaminación están bien definidas.
- La cantidad de contaminación generada por cada fuente se calcula fácilmente.
- Hay diferencias en los costos marginales del control de la contaminación entre las diversas fuentes.
- Hay potencial para la innovación técnica.
- El impacto ambiental no depende de la ubicación de la fuente ni de la estación del año.

Las licencias negociables no son tan eficaces para controlar la contaminación del agua como lo son otros instrumentos porque la contaminación del agua está directamente relacionada con la ubicación y estación del año. Cuando se han aplicado para esta finalidad, no han producido resultados notables.

Por ejemplo, en los Estados Unidos, en el Estado de Wisconsin se implementó un programa para controlar la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en el río Fox. La flexibilidad del programa permitió una comercialización limitada de las licencias negociables de descarga. A las organizaciones se les otorgaron licencias por cinco años, las que definían su asignación de carga de residuos y, consecuentemente, la distribución inicial de las licencias para cada organización. A pesar de que los estudios iniciales indicaron negociaciones potencialmente rentables, con un considerable ahorro de costos (de aproximadamente US\$ 7 millones), desde que se inició el programa en 1981 solo ha habido una negociación y el ahorro de costos reales ha sido mínimo (Hahn, 1989). Las severas restricciones han impedido considerablemente la negociación bajo este programa (Oates, 1988). Al costo de la negociación también se añaden los numerosos requisitos administrativos que desalientan la participación de las empresas. Algunos costos se pueden atribuir al pequeño número de organizaciones participantes y otros, a la falta de agentes comerciales o funciones bancarias (Anderson y otros, 1989). En muchos países en vías de desarrollo, la falta de mercados funcionales representaría limitaciones adicionales a la comercialización eficaz.

### 6.3.6 Subsidios

Muchos países proporcionan reducciones tributarias, subvenciones o préstamos con bajos intereses para mitigar los costos de reducción o prevención de la contaminación del agua que deben costear los contaminadores (recuadro 6.5). Los encargados de formular políticas tienden a favorecer estos instrumentos porque facilitan la transición a una reglamentación más estricta (principalmente para las empresas contaminantes existentes) y porque puede haber una justificación económica para aplicarlos cuando hay externalidades positivas claras asociadas con la inversión privada en el control de la contaminación. Sin embargo, su uso presenta algunas desventajas. En primer lugar, los subsidios pueden resultar ineficientes y fomentar una mayor inversión en el control de la contaminación o la expansión de la actividad contaminante. Por ejemplo, gran parte de las subvenciones para el control de la contaminación, como se implementa en el Programa de Subvenciones para la Construcción de los Estados Unidos, puede inducir a los operadores de las plantas a diseñar instalaciones que exigen gran capital y que tienen demasiada capacidad. Tampoco son compatibles con el principio el que contamina paga porque el contribuyente general subsidia los costos de control de determinados contaminadores. Además, los subsidios representan una pérdida para los recursos del gobierno (O'Connor, 1994).

Por lo general, los subsidios deben ser selectivos y proporcionarse sobre una base temporal. En muchos casos los gobiernos subsidian pequeñas y medianas empresas porque tienen una desventaja competitiva al aplicar las tecnologías de control ambiental debido a las economías de escala. Los problemas de las pequeñas empresas pueden ser críticos principalmente al modificar sus procesos con el fin de minimizar los residuos, en lugar de tratar sus residuos al final del proceso industrial. Mientras este último se puede introducir sin interrumpir el proceso de producción, la minimización de residuos durante la producción puede requerir la interrupción temporal de la producción durante la conversión o remodelación industrial. Cuando se efectúan cambios en el proceso, una organización también puede enfrentar problemas costosos en el inicio. Mientras que una empresa grande que opera varios procesos simultáneamente puede hacer cambios continuamente, las pequeñas deben enfrentar decisiones drásticas de ganar o perder y riesgos financieros considerablemente mayores que los de las empresas más grandes. Por consiguiente, aún cuando los subsidios no se justifican por la eficiencia, se pueden abordar aspectos de equidad (O'Connor, 1994).

La supresión de los subsidios del agua o de otra índole también puede tener un efecto positivo sobre la calidad del agua. Por ejemplo, la supresión de

**Recuadro 6.5** Ejemplos de subsidios para el control de la contaminación del agua

**Francia**

En Francia, los organismos de cuencas pueden proporcionar ayuda financiera en forma de subvenciones o préstamos, además de la ayuda que se puede obtener del gobierno, región o departamento. El monto total de la ayuda no debe exceder de 80%. Las subvenciones son la forma más común de ayuda financiera. Cuando se otorgan préstamos, por lo general tienen un plazo de 10 a 25 años y la tasa de interés es inferior que la del mercado. En la cuenca del río Sena en Normandía, por ejemplo, la tasa de interés equivale a la mitad de la tasa de intereses del Credit Local de France.

**Indonesia**

El Organismo de Manejo del Impacto Ambiental (BAPEDAL), con apoyo de Japón, ha establecido un programa de préstamos blandos de US\$ 103 millones por cinco años para las organizaciones industriales que invierten en el tratamiento de residuos. Los préstamos se proporcionan de acuerdo con el orden de llegada por 2 a 30 años con un período de gracia de 1 a 5 años y una tasa promedio de interés anual de 14% (muy inferior a las tasas de interés del mercado). El programa de préstamos debe facilitar la implementación de los programas PROKASH o de limpieza de ríos del gobierno.

**Corea**

Dos disposiciones bajo la ley de Exoneración de Impuestos y Control de la Reducción proporcionan incentivos directos e indirectos para controlar la contaminación. En primer lugar, hay un crédito tributario a la inversión directa de 3% (10% para el equipo fabricado en Corea) del valor de la inversión destinada exclusivamente para que las instalaciones aumenten su productividad e instalen dispositivos para el ahorro de energía, control de la contaminación, prevención de riesgos industriales y otros. De modo más indirecto, las personas que comienzan un negocio en el que se usa tecnología pueden elegir entre una depreciación acelerada de 30% (50% en el caso de maquinaria hecha en Corea) del precio de adquisición del recurso en el año fiscal de la compra o un crédito de inversión a razón de 3% (10% en el caso de maquinaria hecha en Corea) del valor de la inversión de los nuevos bienes.

**Filipinas**

En Filipinas, el Código Ambiental promulgado en 1977 permitió la mitad de la tarifa y un impuesto compensatorio sobre el equipo importado de control de la contaminación

Continuación

un subsidio del agua puede incentivar a las empresas y usuarios locales a ahorrar el agua y, de ese modo, reducir la cantidad de contaminantes que descargan en el efluente. Asegurar la fijación de los costos marginales del agua puede favorecer incluso la sostenibilidad de un programa de tratamiento del agua. De igual manera, la supresión de los subsidios para plaguicidas y fertilizantes químicos puede reducir la contaminación del agua, principalmente

**Recuadro 6.5** Continuación

por varios años a partir de la fecha de su promulgación. Así mismo, permitió rebajas para el equipo nacional y para realizar investigaciones sobre el control de la contaminación.

**Taiwán**

El gobierno de Taiwán ofrece una variedad de subsidios. Entre las actividades que reúnen las condiciones para el subsidio están la adquisición de terrenos para instalar plantas de tratamiento de residuos y equipo para el control de la contaminación. También se permite una exoneración del impuesto predial para la reubicación de una fábrica contaminante y muchas otras exoneraciones tributarias para la inversión en el control de la contaminación, incluida la importación libre de equipo para el control de la contaminación, reducción de impuestos para la compra colectiva de tal equipo, la depreciación acelerada de dos años para las instalaciones de control de la contaminación y una reducción de 20% de los impuestos para la investigación y desarrollo del control de la contaminación.

**Tailandia**

En Tailandia, el Fondo Ambiental otorga subvenciones parciales y préstamos con bajos intereses a los gobiernos locales y negocios privados obligados a establecer plantas de tratamiento. Otros subsidios incluyen la reducción de los derechos de importación a no más de 10% del equipo usado en cualquier planta de tratamiento. Sin embargo, durante 1984-1989 con este incentivo solo se había importado 130,9 millones del valor (US\$ 5,14 millones) del equipo de tratamiento de aguas residuales.

**Turquía**

En Turquía, el Gobierno ha otorgado créditos subsidiados para reubicar a las industrias contaminantes en zonas industriales alternativas. Por ejemplo, las curtiembres que se reubican en la zona industrial de Maltepe, al norte de Izmir, tendrían derecho a tasas subsidiadas de interés de 35% para préstamos generales y de 22% para inversión en construcción e infraestructura, lo cual implica tasas reales de interés negativo a una tasa anual de 80% de inflación. Este incentivo es evidente porque los costos por el pago de intereses en 1988 y 1989 representaron 20% de los gastos totales de inversión. El Gobierno también ha ofrecido una deducción tributaria de 40% en la inversión para la reubicación de curtiembres a otra zona industrial durante los dos primeros años de la construcción de las instalaciones y un reembolso de 7% en la inversión de curtiembres de pequeña y mediana escala.

Fuentes: Kosmo, 1990; Cadiou y Duc, 1994; Kaosa-ard y Kositrat, 1994; O'Connor, 1994

la contaminación de aguas subterráneas y la intoxicación de la vida acuática a través de la escorrentía. Sin embargo, en el caso de los contaminadores domiciliarios, es probable que se tenga que mantener los subsidios para ayudar a los sectores económicamente más débiles, principalmente los de las áreas urbanas pobres. No obstante, una situación sin restricciones para un recurso totalmente libre no es sostenible. Los pobres deben estar obligados a pagar un

cobro mínimo por el agua (que debe aumentar progresivamente) no solo para cubrir los costos del tratamiento sino también para promover la conservación del agua.

### **6.3.7 Sistema de depósito-reembolso**

A pesar de no ser un instrumento específico para controlar la contaminación del agua, los sistemas de depósito-reembolso se pueden aplicar con esta finalidad cuando los productos potencialmente contaminantes no consumidos o transformados durante su consumo, tales como los envases de plaguicidas, se pueden devolver a un centro autorizado para su disposición o reciclaje. Para establecer sistemas exitosos de depósito-reembolso se requieren productos fáciles de identificar y manejar, así como usuarios y consumidores con capacidad y disposición para participar en el esquema. Muchas veces, también se requieren nuevos acuerdos institucionales para manejar la recolección y reciclaje de productos y sustancias, así como para administrar los mecanismos financieros y una autoridad nacional o estatal para establecer el sistema. Las ventajas de los sistemas de depósito-reembolso es que la mayor parte de la responsabilidad del manejo se asigna al sector privado y se incentiva el establecimiento de servicios de devolución por terceros cuando los usuarios no participan. Una desventaja principal de este enfoque es que los costos que implica el manejo de los programas de depósito-reembolso, es decir los costos de administración, recolección y gastos de disposición, recaen sobre el sector privado.

### **6.3.8 Incentivos para el cumplimiento**

Las sanciones por incumplimiento de normas ambientales son instrumentos que por lo general se usan para incentivar a los contaminadores a fin de que cumplan las normas y reglamentos. En México, las multas se establecen de acuerdo con la gravedad de la contaminación y se ajustan con la inflación; cuando las infracciones son reiteradas, se cierra la planta. Junto con la presión del público, estas medidas han sido eficaces para controlar la contaminación de aguas superficiales. En cambio, en Argentina, las multas por descargar sin tratamiento en los cuerpos de agua son demasiado bajas como para lograr objetivos ambientales (recuadro 6.6).

## **6.4 Selección de los instrumentos**

Como se ha visto en varios de los ejemplos mencionados, los instrumentos económicos rara vez se usan exclusivamente para el control de la contaminación del agua. El tema central al debatir las políticas no debe ser comparar las



**Recuadro 6.6** Incentivos para el cumplimiento en la provincia de Buenos Aires

La ley de protección de los cuerpos de agua que suministran y reciben efluentes en la provincia de Buenos Aires prohíbe cualquier descarga sin tratamiento en los cuerpos de agua (o en el aire). En la práctica, esto significa que las industrias deben obtener una licencia para funcionar. En 1986 la ley se modificó para permitir la imposición de multas a las industrias que no cumplen con la ley, según el grado de incumplimiento. La municipalidad se encargaría de imponer multas que luego se reservarían para sus propias operaciones. La municipalidad también tendría el derecho de clausurar, momentánea o permanentemente las plantas de producción. Sin embargo, el proceso de imponer estas multas es muy lento. Las multas son sumamente bajas y se pueden aplicar "tantas veces como sea necesario" y como resultado, las industrias consideran que es más económico pagar la multa mensual que adoptar medidas para controlar la contaminación. A pesar de proveer ingresos para la municipalidad, no se cumple con el objetivo principal de la multa que es la protección del ambiente.

Fuente: Margulis, 1994

respectivas ventajas y desventajas de los instrumentos económicos y de reglamentación, sino encontrar la combinación apropiada que mejor responda a las peculiaridades de cada problema y localidad, junto con el cambio de conducta y la respuesta que se busca de los operadores específicos.

Para lograr un control eficaz de la contaminación del agua, se debe combinar cuidadosamente los cobros y normas para prevenir la contaminación mediante el precio del agua, el que debe ser lo suficientemente alto como para cubrir los costos e incentivar la conservación y reciclaje del agua. De esta forma, se desalienta el cumplimiento de las normas mediante la dilución y se disminuye la descarga de los efluentes en ríos y quebradas.

Al seleccionar los instrumentos, los encargados de formular las políticas deben considerar la naturaleza del problema ambiental y sus causas, así como la realidad práctica, económica y política. Para determinar los instrumentos más apropiados, cada país debe establecer criterios claros y transparentes que fundamenten la selección. En los países en vías de desarrollo, en donde los recursos financieros son sumamente limitados y la capacidad institucional deficiente, los dos criterios más importantes son la eficiencia en función de los costos y la factibilidad administrativa. Otros criterios incluyen la equidad, coherencia con otros objetivos, flexibilidad y transparencia.

#### **6.4.1 Eficiencia en función de los costos**

Al elegir los instrumentos, es importante seleccionar aquellos que logren el resultado deseado al menor costo posible y con un costo total que no exceda los beneficios esperados. En teoría, las políticas basadas en el mercado ofrecen la solución “de menor costo” para los problemas ambientales, pero no se tiene mucha experiencia en su uso, principalmente en los cobros por contaminación industrial. En términos generales, el instrumento óptimo es el que conlleva a las denominadas soluciones “ganadoras”, cuando el mejoramiento del ambiente y otros aspectos de la economía se producen simultáneamente y por consiguiente no implican compensaciones difíciles entre el desarrollo y el ambiente. Aunque habrían ganadores y perdedores en casi todas las decisiones ambientales, algunas acciones pueden producir beneficios sociales sustanciales con un costo mínimo, tales como acelerar la provisión de agua limpia y el saneamiento.

#### **6.4.2 Factibilidad administrativa y financiera**

Se debe elegir un instrumento solo si los organismos responsables están preparados para manejar los procedimientos, a menudo complejos, requeridos para su implementación adecuada, tales como facturar y recaudar los impuestos y cobros, medir las emisiones, determinar los efectos ambientales y tomar la acción necesaria en caso de incumplimiento. Todos estos procedimientos requieren una buena coordinación entre los organismos gubernamentales. Los instrumentos que exigen una gran capacidad para hacerlos cumplir o un alto nivel de cumplimiento voluntario, son difíciles de implementar.

#### **6.4.3 Consistencia con otros objetivos**

El instrumento elegido debe ser consistente con otras políticas e instrumentos dentro o fuera del sector. Por ejemplo, la aplicación del instrumento no debe conllevar a la contaminación entre diversos soportes ambientales ni a conflictos con leyes nacionales pertinentes, acuerdos, tratados o principios internacionales. Además, ningún sistema de cobros por contaminación u otros instrumentos económicos pueden cambiar el clima político existente. Si un gobierno da prioridad a la producción y el empleo, entonces las políticas ambientales que van en contra de estos objetivos serán ignoradas. Además, la adopción de políticas que no se ponen en práctica solo minarán la confianza en las autoridades ambientales y el gobierno en general.

#### **6.4.4 Equidad**

Al seleccionar los instrumentos económicos se debe equilibrar cuidadosamente las consideraciones de equidad con los factores ambientales. Una pregunta principal de política al considerar un sistema tributario es ¿quién, en último término, asumirá la responsabilidad del impuesto? o ¿el impuesto se aplica proporcionalmente a los ricos y pobres? La mayoría de las propuestas para los impuestos ambientales incluyen impuestos sobre acciones ambientalmente nocivas o impuestos que pagan los contaminadores industriales que se pueden transferir a los consumidores al aumentar los precios. Los pobres gastan un porcentaje mayor de sus ingresos en el consumo de productos que los ricos, por consiguiente, los impuestos basados en el consumo afectan desproporcionadamente a los pobres. Para evitar esta situación, los encargados de formular las políticas deben asegurar la distribución apropiada de los costos y beneficios de la protección del ambiente, con atención especial a los pobres. Por ejemplo, al exigir a las organizaciones privadas el pago de los costos totales de la reducción de la contaminación se transfiere la carga de quienes generalmente sufren el deterioro ambiental (los pobres), a quienes lo ocasionan (las industrias) y, por último, al consumidor de los productos contaminantes.

#### **6.4.5 Transparencia**

El proceso de adoptar e implementar normas debe ser transparente para que las empresas puedan adaptarse a los cambios de las condiciones reglamentarias. Hay más probabilidades de que las empresas y otros interesados cumplan los instrumentos cuando comprenden cómo se desarrollaron. En el caso de un cobro ambiental, el contaminador conoce tanto los costos de inversión en la reducción de la contaminación como el impuesto que debe pagar si continúa con los niveles actuales de contaminación. En cambio, en un sistema de licencias negociables, el contaminador no tiene conocimiento previo del precio que el mercado puede asignar a las licencias en el futuro.

#### **6.4.6 Flexibilidad**

La flexibilidad del instrumento para adaptarse a un ambiente cambiante puede ser una consideración importante cuando se trata de condiciones locales variables. Por ejemplo, según las condiciones políticas locales, cambiar la tasa de un cobro puede ser más fácil que cambiar las leyes, a no ser que la tasa esté fijada dentro de la ley. Los impuestos ambientales también confieren a productores y consumidores la flexibilidad necesaria para minimizar los costos de lograr un determinado objetivo. Frente a un impuesto por emisión, por ejemplo, cada empresa puede comparar diversas maneras de reducir las

emisiones y elegir las soluciones más convenientes a sus propias circunstancias. Las diversas medidas implican cambiar la composición del producto, modificar las tecnologías de producción e instalar equipo que pueda filtrar o limpiar las descargas al final del proceso. Como las diversas organizaciones disponen de diferentes costos para la reducción de la contaminación, un cobro puede incentivar a quienes enfrentan costos bajos de reducción a realizar sus operaciones con tecnologías más limpias.

### 6.5 Aplicación en los países en vías de desarrollo

A pesar de que cada vez es más evidente que el deterioro ambiental es un problema socioeconómico importante, los gobiernos de los países en vías de desarrollo no han tenido éxito en detenerlo. Un argumento típico es que el control ambiental es demasiado costoso y que los países se deben centrar en otras prioridades del desarrollo. Esta manera de pensar puede deberse a falta de información y desconocimiento de los costos reales involucrados, además de la inercia, la presión de fuertes grupos de interés y al limitado apoyo y participación pública. Aun cuando hay una fuerte voluntad política, los gobiernos no pueden actuar eficazmente si hay deficiencias institucionales. Por consiguiente, en estas circunstancias desfavorables, las oportunidades para la aplicación eficaz de los instrumentos económicos en los países en vías de desarrollo pueden ser muy limitadas. Sin embargo, al considerarlas, los encargados de formular las políticas deben tener en cuenta los siguientes factores:

- *Capacidad institucional deficiente.* Los instrumentos económicos no se pueden implementar con éxito sin normas apropiadas preexistentes ni capacidad efectiva para la administración, monitoreo y vigilancia del cumplimiento. Además, hay poca o ninguna diferencia entre el monitoreo y la capacidad requerida del gobierno para hacer cumplir los instrumentos de reglamentación y económicos. Si el monitoreo es incierto y la capacidad para hacer cumplir la reglamentación deficiente, una organización tiene pocos o ningún motivo para reportar sus descargas y pagar una tarifa. De igual manera, si las descargas normalmente se hacen sin licencia, las organizaciones no estarán motivadas para obtenerlas o negociar las emisiones. Si no hay reglamentos que establezcan normas básicas de tratamiento para los distintos tipos de descargas, será difícil determinar las cuotas iniciales de las licencias negociables. Además, los subsidios por menos del costo total de la reducción de la contaminación no influirán en organizaciones que no tienen otras razones para cambiar sus prácticas. Además, el uso de cobros por las descargas de aguas residuales industriales en el alcantarillado municipal será limitado.

- *Coordinación inadecuada.* La coordinación institucional es un pre-requisito importante para la aplicación eficaz de la mayoría de los instrumentos económicos. Sin embargo, en el caso del manejo del agua por lo general hay una rivalidad típica entre los organismos ambientales, de agua y saneamiento. Esto puede deberse a varias razones, tales como el poder político y objetivos y perspectivas diferentes. Nó obstante, la estructura de un sistema de cobros por efluentes implica parámetros e información que pertenecen al área de los organismos ambientales mientras que la implementación del sistema es en gran medida una responsabilidad de las empresas de agua y saneamiento. Sin una buena coordinación de los organismos pertinentes, la aplicación de los cobros por efluentes será ineficaz (Margulis, 1994).
- *Inestabilidad económica.* La estabilidad económica es determinante para la eficacia de los instrumentos económicos. Es probable que los instrumentos de reglamentación no dependan tanto del nivel de estabilidad económica de un país, como los cobros e impuestos. Por ejemplo, Brasil no ha estado usando instrumentos económicos con la frecuencia que podrían permitir los marcos institucionales y legales, principalmente debido a su inestable situación económica. Su sistema fiscal es muy complejo y la recaudación de impuestos muy deficiente, por lo tanto la creación de un impuesto ambiental solo complicaría y debilitaría aún más el sistema (Margulis 1994).
- *Resistencia o inercia del gobierno.* En algunos países, los organismos ambientales consideran que el uso de instrumentos económicos no solo debilitaría el control de los contaminadores sino que también tendrían que compartir su control con los ministerios de economía, que por lo general se encargan de crear nuevos impuestos o cobros. Por lo tanto, la aplicación de instrumentos económicos puede debilitar aún más a los organismos ambientales de la mayoría de los países. Además, los resultados en función de los niveles de contaminación serían menos confiables. En otros países, donde los reguladores han dependido de normas, inspecciones y sanciones para el manejo de la contaminación, hay oposición para probar un nuevo enfoque a menos que su ventaja en relación con el sistema existente esté claramente demostrada.
- *Oposición de los contaminadores.* En los países desarrollados, como en los industrializados, los contaminadores industriales por lo general se han resistido a usar los instrumentos económicos porque creen que tienen mayor poder de negociación sobre el diseño e implementación de los reglamentos que sobre los instrumentos económicos. Además, las industrias locales

suponen que es más fácil evadir el cumplimiento de una norma cuando el monitoreo y la capacidad de hacer cumplir los reglamentos son deficientes, que evadir los mecanismos fiscales y de incentivo cuando hay menos flexibilidad.

## 6.6 Conclusiones

Combinar correctamente los instrumentos de política puede ayudar a asegurar el control eficaz de la contaminación del agua. En los países en vías de desarrollo, la eficiencia en función de los costos y la capacidad administrativa son los criterios más importantes para seleccionarlos. Sin embargo, en cada país se deben considerar primero las políticas de fijación de precios del agua que pueden promover el uso excesivo y deterioro del agua. A pesar de la limitada experiencia en la aplicación de otros instrumentos económicos, principalmente en los países en desarrollo, es evidente que los cobros por efluentes y los impuestos a los usuarios tienen más potencial de ser aplicados eficazmente al financiar el mejoramiento del ambiente. No obstante, no son suficientes para lograr los objetivos de la calidad del agua. Para complementarlos es necesario invertir en plantas de tratamiento de aguas residuales y, en el nivel local, elaborar instrumentos de reglamentación apropiados, así como programas para persuadir a los usuarios del agua a cambiar su conducta contaminante.

## 6.7 Referencias

- Andersen, R. C., Hofmann, L.A. y Rusin. M. 1989 *The Use of Economic Incentive Mechanisms in Environmental Management*. American Petroleum Institute, Washington, DC.
- Banco Mundial 1994 *Mexico: Integrated Pollution Management*. Borrador de informe preparado por el Country Department II, Latin America and the Caribbean Regional Office, Banco Mundial, Washington, D.C.
- Braceros H. y Schuddeboom, J. 1994 *A Survey of Effluent Charges and Other Economic Instruments in Dutch Environmental Policy*.
- Cadiou, A. y Duc, N.T. 1994 The use of pollution charges in water management in France. En: *Applying Economic Instruments to Environmental Policies in OECD and Dynamic Non-Member Economies*. Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, París.
- Forster, J.D. 1992 The role of the city in environmental management. Ponencia preparada para el USAID Office of Housing and Urban Programs Workshop, Bangkok, Tailandia.

- Freitas, M.D. 1994 Policy instruments for water management in Brazil. En: *Applying Economic Instruments to Environmental Policies in OECD and Dynamic Non-Member Economies*. Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, París.
- Hahn, R.W. 1989 Economic prescriptions for environmental problems: how the patient followed the doctor's orders. *J.Econ. Perspec.*, 3(2).
- Kaosa-ard, Mi. y Kositrat, N. 1994 Economic instruments for water resource management in Thailand. En: *Applying Economic Instruments to Environmental Policies in OECD and Dynamic Non-Member Economies*. Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, París.
- Kosmo, M. 1989 Economic incentives and industrial pollution in developing countries. World Bank Environment Department, Division Working Paper No. 1989-2, Banco Mundial, Washington, D.C.
- Lovei, M. 1994 Pollution abatement financing: theory and practice. Borrador escrito por el Pollution and Economics Division of the Environment Department (ENVPE), Banco Mundial, Washington, D.C.
- Margulis, S. 1994 The use of economic instruments in environmental policies: the experiences of Brazil, Mexico, Chile and Argentina. En: *Applying Economic Instruments to Environmental Policies in OECD and Dynamic Non-Member Economies*. Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, París.
- Moore, J.L. y otros, 1989 *Using Incentives for Environmental Protection: An Overview*. Library of Congress, Washington, D.C.
- National Academy of Public Administration 1994 *The Environment Goes to the Market*. National Academy of Public Administration, Washington, D.C.
- Oates, W.E. 1988 The role of economic incentives in environmental policy. Paper presented at the AEA Session on "Economics and the Environment".
- O'Connor, D. 1994 The use of economic instruments in environmental management: the East Asian experience. En: *Applying Economic Instruments to Environmental Policies in OECD and Dynamic Non-Member Economies*. Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, París.
- OCDE 1989 *Economic Instruments for Environmental Protection*. Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, París.
- OCDE 1991 *Environmental Policy: How to Apply Economic Instruments*. Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, París.
- OCDE 1994a *Environment and Taxation: The Cases of The Netherlands, Sweden and the United States*. Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, París.

OCDE 1994b *Managing the Environment: The Role of Economic Instruments*.

Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, París.

US EPA 1991 *Economic Incentives: Options for Environmental Protection*.

US Environmental Protection Agency, Washington, D.C.



## Capítulo 7\*

### FINANCIAMIENTO DEL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES

#### 7.1 Introducción

El saneamiento urbano es un tema prioritario para todas las ciudades. La grave deficiencia de este servicio básico ocasiona problemas de salud ambiental y deterioro de los escasos recursos hídricos. El rápido crecimiento de ciudades densamente pobladas incrementa la cantidad de residuos que debe manejarse de manera segura. El éxito relativo en la provisión de agua a las ciudades produce mayor volumen de aguas residuales, las que requieren manejo doméstico e industrial. A medida que aumenta la población, el volumen de aguas residuales por vivienda excede la capacidad de infiltración de los suelos, requiere mayor capacidad de drenaje y la introducción de sistemas de alcantarillado. A su vez, las aguas residuales que fluyen fuera de las ciudades pueden afectar los recursos hídricos aguas abajo y amenazar su uso sostenible.

La variedad de problemas y la capacidad para tratarlos varía entre ciudades y países. El cuadro 7.1 proporciona una tipología sencilla de problemas de acuerdo con los niveles nacionales de desarrollo económico. Enfrentarlos implica una serie de desafíos, incluidos diferentes aspectos de salud ambiental, así como financieros, institucionales y técnicos.

#### 7.2 Los retos del saneamiento urbano

Los retos de salud ambiental que enfrenta el subsector de saneamiento urbano en los países en desarrollo son de dos tipos (Serageldin, 1994). Primero, está la “agenda antigua” que implica la provisión de servicios adecuados de saneamiento a todas las viviendas urbanas. Segundo, está la “agenda nueva” para manejar aguas residuales de manera segura y proteger la calidad de los recursos hídricos vitales para las poblaciones presentes y futuras. Si bien estas dos “agendas” coexisten en la mayoría de los países en desarrollo e incluso en

\* *Este capítulo fue elaborado por C.R. Bartone y se basa en Bartone (1995). Las opiniones expresadas son del autor y no representan necesariamente los puntos de vista del Banco Mundial o de sus afiliados.*

**Cuadro 7.1** Tipología económico-ambiental de los problemas de saneamiento urbano

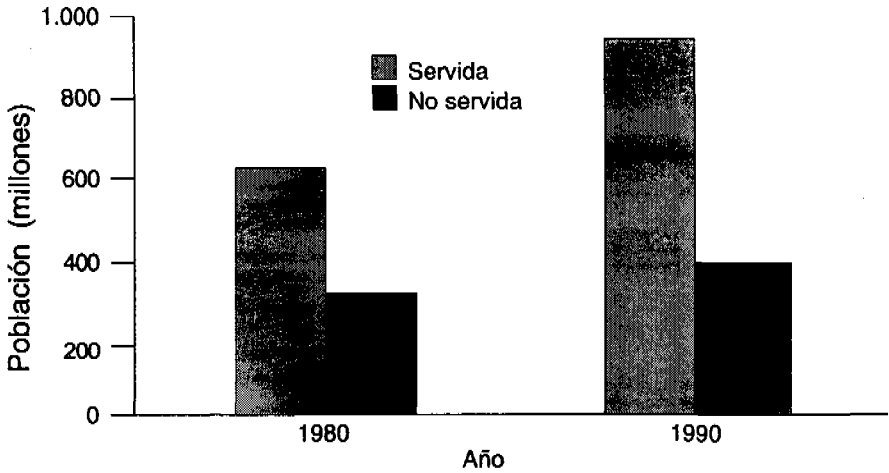
Problemas de saneamiento urbano	Países de bajos ingresos (<US\$ 650 per cápita)	Países de medianos a bajos ingresos (US\$ 650-2.500 per cápita)	Países de medianos a altos ingresos (US\$ 2.500-6.500 per cápita)	Países de altos ingresos (>US\$ 6.500 per cápita)
Acceso a servicios de saneamiento básico	Baja cobertura, especialmente en zonas urbano marginales; principalmente opciones sin alcantarillado	Acceso limitado de la población urbano marginal, uso creciente de alcantarillado	Cobertura generalmente aceptable; altos niveles de alcantarillado	Buena cobertura; principalmente alcantarillado
Tratamiento de aguas residuales	Virtualmente no hay tratamiento	Pocas plantas de tratamiento; mal operadas	Capacidad creciente de tratamiento; deficiencias operativas	Generalmente, altos niveles de tratamiento; inversiones mayores durante los últimos treinta años
Aspectos de contaminación del agua	Problemas de salud a causa del saneamiento inadecuado y aguas residuales crudas "en las calles"	Problemas graves de salud a causa de descargas municipales no tratadas	Problemas graves de contaminación por descargas industriales mixtas y municipales mal tratadas	Relacionado principalmente con el valor de la recreación y las sustancias tóxicas

Fuente: Adaptado de Bartone y otros, 1994

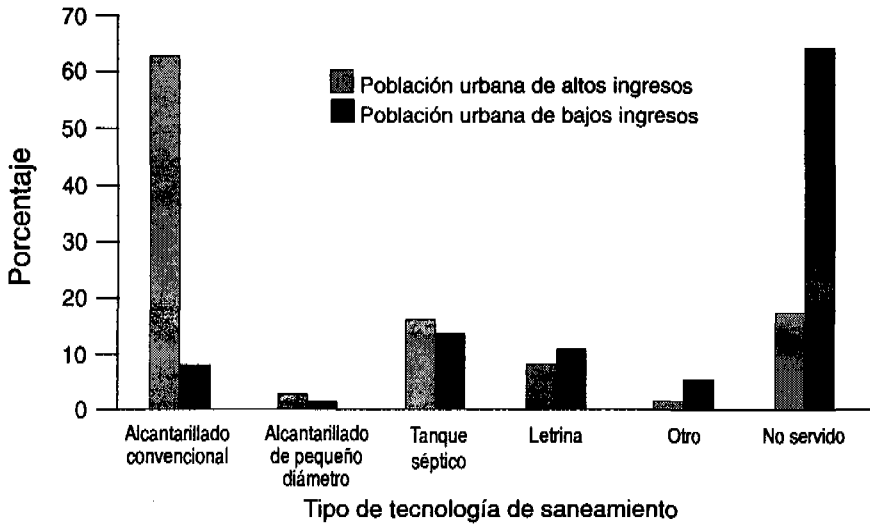
algunas de las ciudades más modernas, la importancia relativa de cada agenda generalmente depende del nivel de desarrollo, según se ilustra en el cuadro 7.1.

### 7.2.1 Servicios de saneamiento básico para viviendas urbanas

La provisión de servicios de saneamiento, incluido el alcantarillado, no ha seguido el mismo ritmo que el crecimiento de la población en las áreas urbanas. A pesar de esto, el progreso significativo alcanzado por los países durante los años ochenta ha dado lugar a un incremento de 50 por ciento en el número de personas urbanas con instalaciones adecuadas de saneamiento (véase la figura 7.1). Estos logros, aunque notables, no son suficientes porque el número de personas sin saneamiento adecuado se incrementó en 70 millones durante el mismo período y la misma cantidad que fue beneficiada permanece sin servicio. En la figura 7.2 se muestran los resultados de una encuesta reciente realizada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) en 63 países (OMS/UNICEF, 1993). Estos resultados hacen una distinción entre el tipo de servicio de saneamiento que llega a las poblaciones urbanas de altos y bajos ingresos.



**Figura 7.1** Acceso al saneamiento urbano en países en desarrollo, 1980-1990 (Banco Mundial, 1992).



**Figura 7.2** Saneamiento urbano por tipo de tecnología e ingreso (OMS/UNICEF, 1993).

Las consecuencias para la salud de las insuficiencias del servicio son enormes y recaen sobre todo en la población urbano marginal. En la mayoría de comunidades de bajos ingresos, el contaminante que más preocupa son las excretas humanas. La OMS ha reportado que 3,2 millones de niños menores de cinco años mueren cada año en el mundo en desarrollo debido a enfermedades

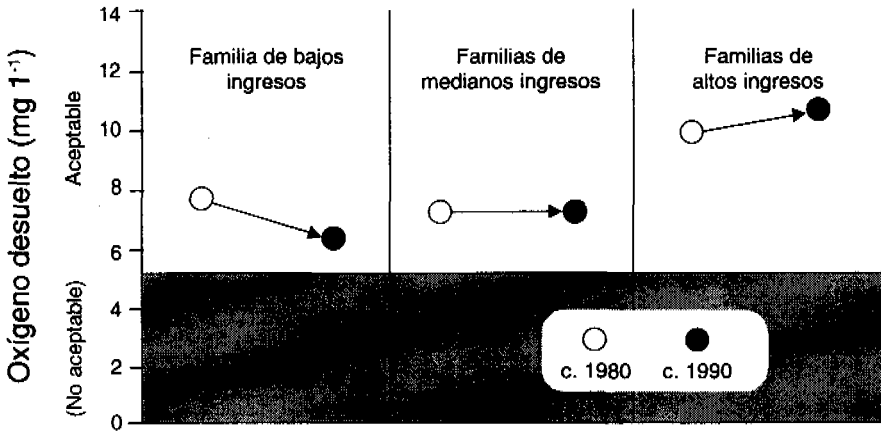
diarreicas, en gran parte como resultado del saneamiento deficiente, agua potable contaminada y problemas asociados con la higiene de los alimentos (OMS, 1992). Las enfermedades infecciosas y parasitarias vinculadas con el agua contaminada son la tercera causa principal de la pérdida de años productivos a causa de morbilidad y mortalidad en el mundo en desarrollo (Banco Mundial, 1993a). Por lo general, las tasas de defunción a causa de diarreas son aproximadamente 60 por ciento más bajas en los niños que habitan en viviendas con instalaciones adecuadas de agua y saneamiento que en aquellos que no cuentan con dichas facilidades (Banco Mundial, 1992).

Una proporción creciente de servicios de saneamiento urbano se provee mediante el alcantarillado, especialmente en países de medianos ingresos. Cerca de 40 por ciento de la población urbana está servida por alcantarillado. Sin embargo, las contribuciones de los usuarios han sido bajas y los subsidios públicos para estos servicios domiciliarios han beneficiado principalmente a la clase media y alta. Esto ha dejado pocos recursos públicos para el tratamiento y disposición segura de aguas residuales.

Mirando hacia el futuro, el reto de las próximas dos décadas empequeñece el progreso logrado en la década pasada; 1.300 millones de residentes urbanos requerirán servicios de saneamiento además de aquellos que actualmente no los tienen. En total, esto representa aproximadamente seis veces el servicio provisto durante los años ochenta. Evidentemente, el objetivo de proporcionar servicios de saneamiento adecuados a todos los hogares urbanos aún plantea grandes retos financieros, institucionales y técnicos.

### **7.2.2 Manejo urbano de aguas residuales y control de la contaminación**

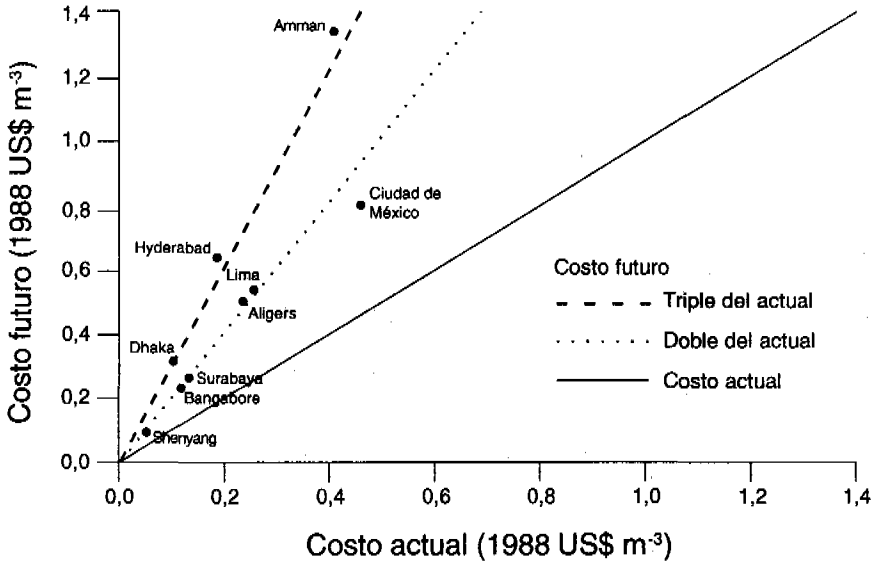
En años recientes, ha surgido con ímpetu una “nueva agenda” de desarrollo ambientalmente sostenible. Un aspecto del desarrollo sostenible es la calidad del ambiente acuático considerada como una preocupación mundial por los recursos hídricos sostenibles. La situación en los países en desarrollo es especialmente aguda. Incluso en países de medianos ingresos, las aguas residuales rara vez se tratan. Por ejemplo, Buenos Aires solo trata 2 por ciento de sus aguas residuales, un porcentaje típico de los países de medianos ingresos en América Latina. También está el problema de las descargas industriales sin control en el alcantarillado municipal, aumento de cargas orgánicas e introducción de una variedad de contaminantes químicos que pueden dañar el alcantarillado, interrumpir los procesos de tratamiento y crear riesgos tóxicos y otros. Como se muestra en la figura 7.3, la calidad del agua es peor en los países en desarrollo que en los países industrializados. Además, si bien la calidad ambiental en los países industrializados mejoró durante los años ochenta, no



**Figura 7.3** Concentración de oxígeno disuelto en ríos de países desarrollados y en desarrollo (Banco Mundial, 1992).

mejoró en los países de medianos ingresos e incluso disminuyó en forma aguda en los países de bajos ingresos.

Los costos de este deterioro pueden verse de diversas maneras. Casi todos los ríos en y alrededor de las ciudades de los países en desarrollo son prácticamente alcantarillados abiertos. No solo degradan la calidad estética de la ciudad, sino que constituyen un reservorio para el cólera y otras enfermedades relacionadas con el agua. La causa del grave brote de cólera en el Perú en 1991 podría rastrearse en el saneamiento urbano inadecuado y la contaminación del agua. Para la economía peruana representó un costo de US\$ 150 millones en 1991-1992 por los efectos sanitarios directos e indirectos sobre la salud (WASH, 1993). De igual manera, la persistencia por lo demás inexplicable de tifoidea en Santiago durante cuatro décadas se ha atribuido a la contaminación de las aguas de regadío con descargas metropolitanas no tratadas (Ferrecio, 1995). Las enérgicas medidas de emergencia, tomadas en 1991 como resultado del brote de cólera en América Latina, previnieron la propagación del cólera en Santiago y controlaron la tifoidea, lo que representó un ahorro calculado en US\$ 77 millones al evitarse costos directos e indirectos sobre la salud (Banco Mundial, 1994c). Los costos de la contaminación del agua también crean una carga adicional para las ciudades debido a los costos mayores del abastecimiento de agua (figura 7.4). Por ejemplo, en la zona de Lima metropolitana, el costo de la contaminación aguas arriba ha incrementado los costos del tratamiento de agua en cerca de 30 por ciento. En Shanghai, China, las empresas de agua tuvieron que trasladarse 40 km aguas arriba a un costo aproximado de US\$ 300 millones (Banco Mundial, 1992).



**Figura 7.4** Incremento del costo del abastecimiento de agua (Banco Mundial, 1992)

**7.2.3 Conexión entre los servicios de saneamiento y los aspectos ambientales**

Para comprender la conexión entre los servicios de saneamiento y los aspectos ambientales, es necesario considerar la secuencia de la demanda de servicios de abastecimiento de agua y saneamiento. Para una familia que migra a un asentamiento marginal, su primera prioridad ambiental es asegurarse un abastecimiento de agua adecuado a un costo razonable. Seguidamente, necesita conseguir un sitio privado, conveniente y sanitario para la defecación. Las familias muestran buena voluntad de pagar por estos servicios domésticos o privados, en parte, porque las opciones son muy costosas. En consecuencia, presionan a los gobiernos locales y nacionales para que presten estos servicios y en las primeras etapas del desarrollo económico gran parte de la ayuda externa se destina a satisfacer la fuerte demanda por estos servicios. Sin embargo, el éxito alcanzado en la satisfacción de estas necesidades primarias genera una segunda demanda, a saber, la remoción de aguas residuales de la vivienda, del vecindario y de la ciudad. A medida que las ciudades logran satisfacer esta demanda, surge otro problema, la protección del ambiente de los efectos nocivos de las grandes cargas de contaminación.

En la historia de los países industrializados y en la experiencia contemporánea de los países en desarrollo se ha observado esta sucesión de demandas. Por lo tanto, no es sorprendente que la cartera de organismos de ayuda externa se haya centrado en gran medida en el abastecimiento de agua. Por ejemplo, de los préstamos del Banco Mundial para agua y saneamiento durante los 30 últimos años, solo 15 por ciento se destinaron al saneamiento y alcantarillado, especialmente para la recolección de aguas residuales y solo una pequeña fracción para el tratamiento. En una descripción del proyecto piloto de Orangi en Karachi, Paquistán, Hasan (1995) describe cuán enérgicamente la población de bajos ingresos exige servicios ambientales, una vez satisfecha la demanda primaria del abastecimiento de agua, y cómo es posible responder al reto de estas nuevas demandas.

### **7.3 Los retos financieros**

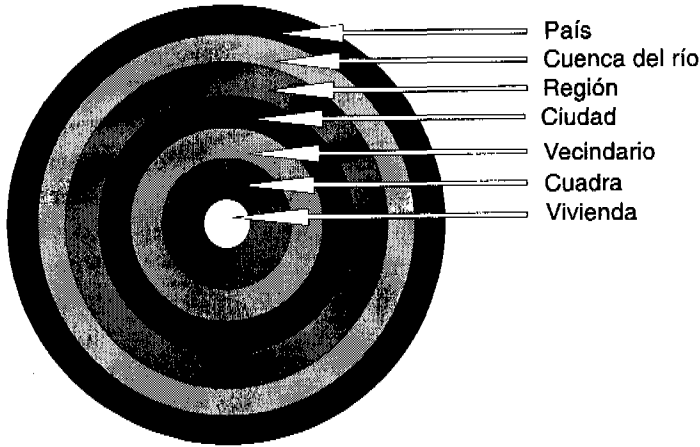
El suministro de servicios básicos de saneamiento y el progreso en el manejo de aguas residuales y control de la contaminación crean retos financieros importantes para los países en desarrollo. La movilización de los recursos financieros necesarios exige reconocer la importancia de un subsector de saneamiento urbano y la confiabilidad en las nuevas maneras de financiar el saneamiento urbano, alcantarillado y manejo de aguas residuales.

#### **7.3.1 Respuesta a las demandas de las viviendas y comunidades**

En los últimos años hay un consenso notable en las políticas del mercado y el ambiente en cuanto al manejo de recursos hídricos y prestación de servicios de agua y saneamiento de manera eficiente, equitativa y sostenible. Este consenso, en esencia, se guía por tres principios estrechamente relacionados que fueron expresados en la Conferencia Internacional de Dublín de 1992 sobre Agua y Ambiente, a saber:

- *El principio del ecosistema.* Los planificadores y encargados de formular políticas en todos los niveles deben seguir un enfoque holístico que vincule el manejo social y económico con la protección de los sistemas naturales.
- *El principio institucional.* El desarrollo y manejo del agua debe basarse en un enfoque de participación que incluya al usuario, planificadores y formuladores de políticas en todos los niveles para que adopten decisiones en el nivel apropiado más bajo.
- *El principio instrumental.* El agua tiene un valor económico en todos sus usos competentes y debe reconocerse como un bien económico.

El reto que enfrenta el subsector de saneamiento urbano es poner estos principios en operación y aplicarlos en el campo. El nuevo consenso da especial



**Figura 7.5** Niveles del proceso de toma de decisiones sobre agua y saneamiento (Serageldin, 1994).

importancia a un principio primordial de las finanzas públicas, es decir, que la eficiencia y equidad requieren que los recursos privados se usen para financiar bienes privados y que los recursos públicos se usen solo para financiar los bienes públicos. En este principio está implícita la creencia de que las mismas unidades sociales, ya sean viviendas, organizaciones comerciales, comunidades urbanas o asociaciones de cuencas, están en mejor posición para sopesar los costos y beneficios de los diferentes niveles de inversión. El aspecto vital en la aplicación de este principio al subsector de saneamiento urbano es la definición de la unidad de decisión y la identificación de lo que es interno (privado) y externo (público) para esa unidad.

Es útil pensar en los diferentes niveles en los cuales se pueden definir estas unidades, según se ilustra en la figura 7.5. Para cada nivel debe comprenderse la demanda por los servicios de saneamiento y cada unidad social debe pagar por los beneficios directos del servicio que recibe. Para ilustrar la aplicación de este ideal emergente, es necesario considerar cómo debe financiarse el saneamiento urbano.

### **7.3.2 Saneamiento, alcantarillado y manejo de aguas residuales**

Los beneficios de un saneamiento mejorado y los correspondientes manejos financieros son complejos. En el nivel más bajo (véase figura 7.5), las viviendas le dan un alto valor a los servicios de saneamiento porque permiten una instalación privada, conveniente y sin olor que remueve excretas y aguas residuales de la propiedad o las confina apropiadamente in situ. Sin embargo,



existen beneficios adicionales en un nivel más amplio que representan externalidades desde el punto de vista de una vivienda. Los estudios sobre la voluntad de pago (véase por ejemplo, Ducci (1991)) han mostrado consistentemente que las viviendas están dispuestas a pagar por la primera categoría de beneficios del servicio, pero tienen poco o ningún interés en pagar por beneficios externos (ambientales) por considerarlos más allá de su incumbencia.

En el siguiente nivel (es decir, de la cuadra) las viviendas de una cuadra específica valoran los servicios que remueven excretas de la cuadra en su totalidad. Subiendo un nivel, en el del vecindario, los residentes valoran los servicios que remueven excretas y aguas residuales del vecindario o que tornan estos residuos inocuos mediante tratamiento. De igual manera, en el nivel de la ciudad, se valora la remoción y tratamiento de residuos de la ciudad y sus alrededores. Sin embargo, las ciudades no existen de manera aislada –los residuos que descarga una ciudad contaminan el abastecimiento de agua de ciudades aguas abajo y de otros usuarios. En consecuencia, los grupos de ciudades (así como granjas, industrias y otros) de una cuenca pueden percibir el beneficio colectivo de la mejora ambiental. Finalmente, debido a que la salud y bienestar de una nación en su totalidad pueden estar afectados por el deterioro ambiental de una cuenca específica, a veces el manejo de aguas residuales en esa cuenca brinda beneficios adicionales para la economía nacional, la salud y el ambiente. El ejemplo de la tifoidea en Santiago (Banco Mundial, 1994c; Ferreccio, 1995) ilustra este último aspecto.

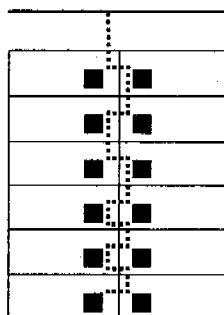
El principio fundamental de las finanzas públicas es que los costos deben asignarse en los diferentes niveles de esta jerarquía según los beneficios que se acumulen en los diferentes niveles. Esto sugiere que el financiamiento del saneamiento, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales debe asignarse del siguiente modo:

- Las viviendas pagan el costo de proveer instalaciones en el domicilio (baños, inodoros, conexiones al alcantarillado).
- Los residentes de una cuadra pagan colectivamente el costo adicional de recolectar los residuos de las viviendas individuales y transportarlos al límite de la cuadra.
- Los residentes de un vecindario pagan colectivamente el costo adicional de recolectar los residuos de las cuadras y transportarlos al límite del vecindario (o tratar los residuos del vecindario).
- Los residentes de una ciudad pagan colectivamente el costo adicional de recolectar los residuos de las cuadras y transportarlos al límite de la ciudad (o tratar los residuos de la ciudad).

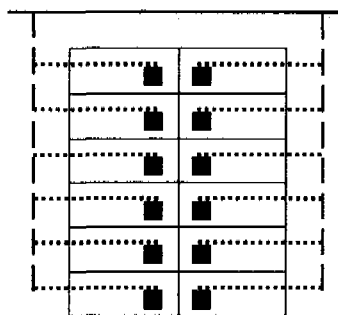
**Recuadro 7.1** El sistema de alcantarillado de condominios en Brasil

El sistema de condominios fue impulsado por José Carlos de Melo, un ingeniero socialmente comprometido de Recife. El nombre de condominio se dio por dos razones. Primero, por ser un bloque de casas considerado como una construcción horizontal de departamentos (o condominial en portugués) (véase la figura). Segundo, "Condominial" era una conocida telenovela brasileña asociada con lo mejor de la vida urbana. Según se desprende de la figura, el resultado es una disposición radicalmente diferente, con una secuencia más corta de alcantarillas más pequeñas y a menor profundidad instaladas en la parte trasera, lo que implica conexiones de poca profundidad que se conectan con el alcantarillado principal. Estas innovaciones reducen los costos de construcción entre 20 y 30 por ciento en comparación con los de un sistema convencional.

Alcantarillado en condominios



Alcantarillado convencional



— Alcantarillado principal  
 - - - Alcantarillado de la calle  
 ..... Alcantarillado domiciliario  
 ■ Baño  
 □ Vivienda

Sin embargo, la innovación más importante y radical es la participación activa de la población en la elección del nivel de servicio y en la operación y mantenimiento de la infraestructura del alcantarillado. Los elementos claves son que las familias pueden

Continuación

- Los interesados en una cuenca de río (ciudadés, agricultores, industrias y ambientalistas) evalúan colectivamente el valor de los diferentes niveles de la calidad del agua dentro de una cuenca, deciden el nivel de calidad que desean pagar y la distribución de responsabilidades para pagar por las actividades de tratamiento y manejo de la calidad del agua.
- La nación, a fin de lograr mayores beneficios para la salud pública y el ambiente, puede decidir pagar colectivamente el cumplimiento de normas de tratamiento más estrictas.

**Recuadro 7.1** Continuación

elegir continuar con su sistema actual de saneamiento; conectarse a un sistema convencional con arrastre de agua; o un sistema de condominio. Si una familia decide conectarse a un sistema de condominio, tiene que pagar un costo de conexión, que puede ser financiado por la empresa de agua, y una tarifa mensual. Por otro lado, si la familia desea una conexión convencional, tiene que pagar un costo inicial y una tarifa mensual (tres veces más caros), lo cual refleja los diferentes costos de capital y operación. Las familias están en libertad de seguir con su sistema actual, es decir, un tanque de almacenamiento que descarga en un desagüe abierto. Sin embargo, en la mayoría de casos, aquellas familias que inicialmente eligieron no conectarse, con el tiempo lo hacen, ya sea por la fuerte presión de sus vecinos o porque no toleran la acumulación de aguas residuales en y alrededor de sus casas cuando rebalsa el desagüe abierto.

Las viviendas individuales se encargan del mantenimiento de las alcantarillas intermedias y el organismo formal solo mantiene las tuberías centrales. Esto aumenta el sentido de responsabilidad de las comunidades por el sistema. Además, el uso inadecuado de cualquier porción del sistema de alcantarillado, por ejemplo, arrojar residuos sólidos en el inodoro, inmediatamente bloquea la porción de alcantarillado del vecino. El aviso inmediato y directo al usuario prácticamente elimina la necesidad de educar a los usuarios sobre lo que es "aceptable e inadmisibles" y resulta en menos bloqueos de los que ocurren en sistemas convencionales. Finalmente, debido a la responsabilidad considerablemente reducida de la empresa encargada de las aguas residuales, sus costos de operación se reducen drásticamente.

El sistema de condominio está beneficiando a cientos de miles de personas urbanas en el nordeste de Brasil y se está replicando en gran escala en todo el país. Sin embargo, el peligro es que la ingeniería innovadora es vista como "el sistema". Cuando ha faltado la participación y organización de la comunidad, la tecnología ha funcionado de manera deficiente (como en Joinville, Santa Catarina) o no ha funcionado (como en la Baixada Fluminense en Río de Janeiro).

Fuente: Briscoe, 1993; de Melo, 1985.

*Saneamiento y alcantarillado*

Si bien existen factores complicados que deben considerarse (incluidos los costos de la recolección de ingresos en diferentes niveles y la interconexión de los diversos beneficios), los principios discutidos anteriormente se reflejan en la manera como algunos países industrializados financian las inversiones en alcantarillado y en las formas más innovadoras y apropiadas de financiación observadas en los países en desarrollo. Por ejemplo, en muchas comunidades de los Estados Unidos, las viviendas y organizaciones comerciales pagan sus

**Recuadro 7.2** Programa para préstamos de saneamiento de la Fundación para la Vivienda Cooperativa

Al observar la necesidad y demanda de mejoras sanitarias, la Fundación para la Vivienda Cooperativa (FVC), una ONG internacional, ayudó a establecer un programa de crédito para diversos tipos de letrinas e inodoros, duchas y áreas de lavandería y lavado. Se creó un fondo de préstamos de saneamiento para hacer préstamos pequeños de corto plazo a los residentes de asentamientos informales alrededor de Tegucigalpa. Los préstamos varían de US\$ 100 a 400 y se hacen a través de organizaciones no gubernamentales (ONG) (es decir, organizaciones financieras no tradicionales). Los préstamos se basan en varios principios importantes que incluyen equiparar la cantidad del préstamo con el resultado esperado y asegurar el préstamo a través de mecanismos comunitarios (por ejemplo, codeudores) en lugar del enfoque tradicional de la hipoteca. Los elementos claves del modelo de Honduras son:

- Responde a la demanda individual y comunitaria.
- Incluye un programa sostenible de préstamo rotatorio.
- Enfatiza el fortalecimiento de la capacidad de las ONG locales.
- Procura estimular la economía local.
- Ofrece una variedad de tecnologías
- Exige educación sanitaria como condición (parte integrante) del préstamo.

Fuente: Hermanson, 1994

conexiones al alcantarillado; las redes primarias de alcantarillado son financiadas mediante un gravamen impuesto a todos los propietarios a lo largo de las calles servidas; y el alcantarillado secundario, los grandes colectores e interceptores a menudo son financiados por aumentos en los gravámenes.

En las ciudades de los países en desarrollo se están observando esquemas innovadores de financiamiento del alcantarillado. En Orangi, un asentamiento urbano informal de Karachi, se ha desarrollado un esquema jerárquico para financiar servicios de alcantarillado en el que las viviendas pagan los costos de sus servicios "en el lote" (es decir in situ) (por ejemplo, letrinas y tanques sépticos); el alcantarillado primario es financiado por las viviendas a lo largo de la calle (pasaje público entre filas de casas); las calles contiguas unen sus recursos para pagar el alcantarillado del vecindario; y la ciudad (a través de la autoridad de desarrollo municipal) paga el sistema troncal de alcantarillado (Hasan, 1995). Los acuerdos para financiar el alcantarillado de condominios en las poblaciones urbano marginales en Brasil (véase el cuadro 7.1) siguen un modelo notablemente similar; las viviendas pagan por los costos de servicios in situ, las cuerdas pagan por el alcantarillado de las cuerdas (y deciden el

nivel de servicio que requieren), y la empresa de agua o municipalidad pagan el alcantarillado troncal.

La falta de acceso al crédito puede impedir la inversión en saneamiento, drenaje y otros servicios ambientales urbanos esenciales, especialmente en ciudades pequeñas y pueblos. En algunos casos, este problema se ha superado al crear fondos especiales para el desarrollo municipal o fondos rotatorios para financiar inversiones en el ambiente. Por ejemplo, el Banco Mundial ha apoyado la creación de fondos para el desarrollo municipal en el Estado de Minas Gerais, Brasil, a fin de lograr mejoras ambientales en pequeñas ciudades y pueblos, y en México para inversiones municipales en abastecimiento de agua, alcantarillado y residuos sólidos en ciudades intermedias.

De manera similar, las viviendas urbano marginales necesitan mecanismos para financiar las conexiones de alcantarillados e instalaciones sanitarias domiciliarias. Algunas ciudades brindan crédito a las viviendas marginales para que estas inversiones puedan cancelarse en cuotas (no subsidios) durante períodos de tres a cinco años. Cuando existen servicios de agua y alcantarillado bien manejados, las cuotas pueden recaudarse como parte de la tarifa mensual de agua. En algunos casos, la comunidad puede proporcionar "mano de obra" (en forma de auto-ayuda para la construcción) o incluso efectuar pagos parciales mediante el aporte de materiales de construcción. En Honduras se estableció un fondo especial de crédito (cuadro 7.2) para el saneamiento de viviendas urbano marginales de acuerdo con el conocido crédito bancario Grameen para zonas rurales de Bangladesh. Estas experiencias demuestran que la población urbano marginal invierte en un ambiente más sano si puede diferir los costos iniciales a través de cuotas. De igual manera, en Lesotho (Blackett, 1994) y en Burkina Faso (Ouayoro, 1995) se han aplicado esquemas innovadores para brindar a las viviendas urbanas acceso al crédito para inversiones en saneamiento.

### *Tratamiento de aguas residuales*

Aún cuando se siguen los principios financieros e institucionales apropiados pueden surgir aspectos difíciles con respecto al financiamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales. En países industrializados se usan dos modelos muy diferentes.

En muchos países industrializados se ha seguido el enfoque de fijar estándares ambientales universales y luego recaudar los fondos necesarios para financiar las inversiones requeridas. Cada vez es más evidente que este enfoque resulta más costoso y no es económicamente factible, incluso para los países más industrializados. En el Reino Unido, la fecha proyectada para el

cumplimiento de los estándares de calidad del agua de la Unión Europea (UE) está siendo revisada porque las cuentas de los usuarios aumentan astronómicamente para pagar los enormes costos (más de US\$ 60.000 millones en esta década). En los Estados Unidos, los gobiernos locales recibieron US\$ 56.000 millones en subvenciones federales durante 1972-1989 para construir plantas de tratamiento secundario estipuladas por la ley, pero estas subvenciones se han eliminado (y reemplazado por fondos rotatorios del Estado para préstamos a municipios), al mismo tiempo que se proponen estándares ambientales cada vez más estrictos. Actualmente, muchos gobiernos locales rehusan cumplir los mandatos del Gobierno Federal que no estén financiados (Austin, 1994). Por ejemplo, la ciudad de San Diego se ha negado a gastar US\$ 5.000 millones en tratamiento secundario estipulado en la ley federal y ha argumentado que, a largo plazo, se obtiene una mejor relación costo-eficiencia si se emplean emisarios submarinos para la disposición de aguas residuales. San Diego entabló un juicio contra el Gobierno Federal y recientemente ganó su caso en los tribunales federales (Meams, 1994). El Consejo Nacional de Investigación Nacional de los Estados Unidos ha abogado para que el enfoque basado en los costos y beneficios para el manejo de aguas residuales cambie hacia un enfoque que priorice la calidad del agua en el nivel de la costa o cuenca (National Research Council, 1993).

En algunos países se ha desarrollado un modelo diferente y se han establecido instituciones de cuencas de ríos que:

- Garantizan amplia participación para el establecimiento de normas y para las compensaciones entre costos y calidad del agua.
- Aseguran que los recursos disponibles se destinen a inversiones que generen el más alto rendimiento ambiental.
- Usan instrumentos económicos para incentivar que los usuarios y contaminadores reduzcan los impactos ambientales adversos de sus actividades.

Estos acuerdos institucionales se describen a continuación. En las cuencas de ríos de Alemania y Francia, y más recientemente de Brasil, se aplicaron modelos de financiamiento y manejo de cuencas de ríos a fin de recaudar fondos de los usuarios y contaminadores de la cuenca para el tratamiento de aguas residuales y manejo de la calidad del agua. Los interesados, incluidos usuarios y contaminadores así como grupos de ciudadanos, deciden la cantidad que debe reunirse y el nivel consiguiente de calidad ambiental que desean “comprar”. Este sistema ha resultado ser eficiente, sólido y flexible al satisfacer las necesidades financieras del densamente industrializado valle de Ruhr durante 80 años y de toda Francia desde principios de los años sesenta (véase el recuadro 7.3).

**Recuadro 7.3** Financiación de recursos hídricos a través de organismos de cuencas de ríos en Alemania y Francia**El Ruhrverband**

La cuenca del Ruhr, con una población de cerca de cinco millones, contiene la aglomeración más densa de industrias y viviendas de Alemania. El Ruhrverband es una entidad pública autónoma que ha manejado el agua en la cuenca del Ruhr durante 80 años. Hay 985 usuarios y contaminadores del agua (incluidos comunidades, distritos y empresas industriales y comerciales) que son "asociados" del Ruhrverband. La entidad más alta encargada de tomar decisiones en el Ruhrverband es la asamblea de asociados, cuya tarea principal es aprobar el presupuesto (cerca de US\$ 400 millones anuales), establecer estándares y decidir las tarifas que deben exigirse a los usuarios y contaminadores. El Ruhrverband mismo se encarga de la infraestructura principal (diseño, construcción y operación de reservorios y plantas de tratamiento de aguas residuales), mientras que las comunidades se encargan de las alcantarillas que recolectan aguas residuales.

**Los organismos franceses de financiación de las cuencas de ríos**

En los años cincuenta se hizo evidente que Francia necesitaba una nueva estructura de manejo de recursos hídricos capaz de enfrentar con éxito los problemas emergentes de la calidad y cantidad del agua. Los franceses tomaron como modelo los principios del Ruhrverband y los aplicaron en el nivel nacional. En Francia, cada una de las seis cuencas de ríos está presidida por un comité de la cuenca, también conocido como "parlamento del agua", que comprende entre 60 y 110 personas que representan a todos los interesados, es decir el gobierno nacional, regional y local, intereses industriales y agrícolas y ciudadanos. El comité de la cuenca tiene el apoyo de un organismo técnico y financiero de la cuenca. Las tareas técnicas fundamentales del organismo de la cuenca son determinar cómo deben gastarse los recursos financieros (por ejemplo, dónde deben ubicarse las plantas de tratamiento y qué nivel de tratamiento debe aplicarse) para maximizar los beneficios ambientales y qué grado de calidad ambiental pueden "comprar" los recursos financieros. Basado en esta información, el parlamento del agua decide la combinación apropiada de costos y calidad ambiental para su sociedad (cuenca) y cómo será financiada, dependiendo en gran medida de los cobros exigidos a los usuarios y contaminadores. La principal tarea financiera del organismo de la cuenca es administrar la recolección y distribución de estos ingresos.

En el sistema francés, en contraposición al Ruhrverband, la mayoría de recursos recaudados se devuelven a los municipios y a las industrias para inversiones en instalaciones de manejo del agua y aguas residuales.

Fuente: Briscoe y Gran, 1994

**Cuadro 7.2** Impacto del sistema de impuestos a las descargas contaminantes en los Países Bajos (10<sup>6</sup> población equivalente)

	1969	1975	1980	1985
Descargas domésticas	12,5	13,3	14,3	14,5
Descargas industriales	33,0	19,7	13,7	11,3
Total de descargas	45,5	33,0	28,0	25,8
Aguas residuales tratadas	5,5	8,7	12,6	14,5
Contaminación remanente	40,0	24,3	15,4	11,3

Fuente: Jansen (1991)

Cada vez es más evidente que si se desarrollan estos organismos de participación, las personas estarían dispuestas a pagar cantidades sustanciales por la mejora ambiental, incluso en países en desarrollo (Serageldin, 1994). En el estado de Espirito Santo, Brasil, una encuesta indicó que las familias estaban dispuestas a pagar 1,4 veces el costo de los sistemas de recolección de aguas residuales, pero 2,3 veces el costo más alto de un sistema de recolección y tratamiento de aguas residuales. En el valle del río Doce, cuenca industrial de casi tres millones de habitantes en el sudeste de Brasil, se está desarrollando una autoridad de la cuenca del río (como en Francia). Los interesados han manifestado que están dispuestos a pagar cerca de US\$ 1.000 millones durante cinco años para mejorar el ambiente. En Filipinas, encuestas recientes indican que las viviendas a menudo están preparadas para invertir en mejorar la calidad de lagos y ríos vecinos.

Para los países en desarrollo, las implicaciones de la experiencia de los países industrializados son claras. Incluso los países desarrollados logran tratar solo una parte de sus aguas residuales, por ejemplo, solo 52 por ciento de las aguas residuales son tratadas en Francia y solo 66 por ciento en Canadá. Como en Estados Unidos, Japón y Francia, la mayoría de países ha proporcionado ciertas subvenciones ambientales a los municipios para lograr sus niveles actuales de tratamiento. Como en los países en desarrollo los niveles de tratamiento son muy bajos (por ejemplo, solo 2 por ciento de las aguas residuales fueron tratadas en América Latina al inicio de la década) y hay una urgente necesidad de mejorar la calidad del ambiente acuático, se requiere un enfoque que simultáneamente haga el mejor uso de los recursos disponibles y brinde incentivos a los contaminadores para que reduzcan sus cargas en las aguas superficiales y subterráneas.



El impuesto a los efluentes es una forma de incentivo que se usa en muchos países, desde Francia, Alemania y Países Bajos hasta China y México. Puede aplicarse a cualquier descargador, ciudad o industria con dos beneficios: induce la reducción y tratamiento de los residuos y proporciona una fuente de ingresos para financiar las inversiones en el tratamiento de aguas residuales (véase el capítulo 6). Jansen (1991) describe la notable repercusión del impuesto al efluente sobre las descargas industriales en los Países Bajos. Los resultados presentados en el cuadro 7.2 muestran que las cargas globales de efluentes industriales disminuyeron en dos tercios entre 1969, cuando se aplicó por primera vez un impuesto al efluente, y 1985 (con una reducción de 33 a 11 millones de población equivalente). La experiencia de China en la aplicación de un impuesto a los efluentes industriales para financiar las mejoras en el manejo de aguas residuales industriales ha sido descrita por Suzhen (1995). En Francia y México, el impuesto al efluente se aplica por igual a efluentes municipales e industriales, lo que fomenta la inversión local en plantas municipales de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, el impuesto al efluente debe usarse en combinación con cobros por el alcantarillado municipal para asegurar que las industrias no evadan el pago por sus descargas al pasar el costo a las municipalidades, así como para asegurar que la autoridad municipal de alcantarillado tenga ingresos suficientes para construir y operar obras de alcantarillado y plantas de tratamiento.

### **7.3.3 Participación comunitaria**

La aspiración de la mayoría de viviendas urbanas, incluidas las urbano marginales, es tener acceso a servicios de saneamiento asequibles y eficientes en función de los costos a través de servicios públicos o privados. En consecuencia, estarían dispuestos a participar como usuarios responsables al pagar las tarifas apropiadas por el servicio. Sin embargo, en ciudades de muchos países en desarrollo, estos servicios todavía no son accesibles a todos y las comunidades pobres deben participar en la planificación y prestación de servicios de saneamiento y alcantarillado.

Los ejemplos del sistema de alcantarillado de condominios en Brasil y el proyecto piloto de Orangi muestran un enfoque institucional importante de participación comunitaria en donde se forma una sociedad productiva entre grupos comunitarios y el gobierno municipal o el servicio de alcantarillado. A menudo, este sistema incluye la provisión pública de infraestructura externa o principal, que puede ser operada por el sector público o privado, y la comunidad que proporciona y maneja la infraestructura interna del alcantarillado. La conexión entre la infraestructura del alcantarillado principal y la auxiliar es

esencial para la evacuación y disposición de residuos humanos recogidos por la comunidad, pero también se descuida fácilmente. Existen muchas formas de participación comunitaria para la provisión de servicios de saneamiento y alcantarillado tales como:

- Recolección de información sobre las condiciones, necesidades de la comunidad y evaluaciones de impacto.
- Articulación y defensa de las preferencias y prioridades locales.
- Consultas en cuanto a programas, proyectos y políticas.
- Participación en la selección y diseño de las intervenciones.
- Contribución en mano de obra o manejo de la implementación de proyectos.
- Diseminación de la información.
- Monitoreo y evaluación de intervenciones.

La promoción y capacitación para la participación comunitaria pueden tomar muchas formas. Si existe voluntad política, los gobiernos pueden promover la participación y crear condiciones bajo las cuales las comunidades y viviendas, así como las ONG y el sector privado, puedan desempeñar funciones apropiadas. El proyecto PROSANEAR, por ejemplo, financiado por el Banco Mundial en Brasil (recuadro 7.4), proporciona un marco y los recursos para que las municipalidades y servicios experimenten modalidades innovadoras técnicas e institucionales para brindar servicios de saneamiento a zonas urbano marginales. Cuando no existe apoyo del gobierno se usan enfoques alternativos para estimular la participación comunitaria y crear la voluntad política necesaria. Primero, las ONG u organizaciones comunitarias (OC) a menudo desempeñan una función catalítica al movilizar las comunidades y formar asociaciones. En uno de los ejemplos de mayor escala que incluye a una ONG, Sulabh Shauchalaya International empezó a promover en 1970 la construcción de letrinas con arrastre de agua en Delhi y otras ciudades de la India y durante 20 años ayudó a construir más de 660.000 letrinas privadas y 2.500 complejos de inodoros públicos con participación comunitaria y apoyo del gobierno (NIUA, 1990). Segundo, las consultas y reuniones del pueblo se usan cada vez más como un foro para tratar y acordar prioridades ambientales y proponer soluciones con la participación de la mayoría (Bartone y otros, 1994). Finalmente, las comunidades pueden realizar protestas públicas o acciones legales como un medio de crear electorado en la población urbano marginal y presionar a los gobiernos y a la localidad para el diálogo y la acción. El proyecto piloto de Orangi (véase la sección 7.2.3) tuvo sus orígenes en el descontento de los residentes locales por el desborde de las excretas y aguas residuales en las calles como resultado del fracaso de la autoridad de desarrollo de Karachi para instalar un alcantarillado adecuado (Hasan, 1995).

**Recuadro 7.4** Proyecto PROSANEAR en Brasil

El Banco Mundial, en colaboración con el gobierno brasileño, ha financiado el proyecto PROSANEAR como un medio de abordar los temas complejos de la prestación de servicios de agua y saneamiento a vecindarios de bajos ingresos. El proyecto prueba soluciones técnicas e institucionales en las *favelas*, sin ningún plan preestablecido en función de los niveles de servicio, rendimiento ni metas. Aproximadamente US\$ 100 millones en inversiones están proporcionando infraestructura de agua y saneamiento a cerca de 800.000 residentes de *favelas* en 11 ciudades a través de un enfoque radicalmente diferente de otros proyectos. Se fomenta a las empresas estatales de agua y alcantarillado que prueben diseños flexibles, adaptables y que promuevan la participación para que los proyectos se basen en lo que los residentes de bajos ingresos desean y están dispuestos a pagar.

El proyecto PROSANEAR, que alcanzó su período máximo de implementación durante 1992-1995, presentó evidencias convincentes de las ventajas de seguir un enfoque de participación flexible. Como mínimo, los costos de inversión per cápita han promediado cerca de la mitad de las inversiones tope de US\$ 140 para el alcantarillado, que fueron permitidas a las empresas estatales de agua y alcantarillado por los acuerdos de préstamos para proyectos. Esta notable reducción de los costos puede atribuirse a varios factores:

- Se fomentó a los subproyectos que aprovecharan la experiencia propia y significativa del Brasil durante las dos últimas décadas con soluciones técnicas intermedias.
- De acuerdo con las reglas del proyecto, se requirió que las empresas del Estado consultaran a las OC (grupos de iglesia, asociaciones residentes y grupos de mujeres) en cada etapa, desde el diseño hasta la construcción.
- Se reforzó la participación al requerir a las empresas estatales que otorguen el diseño de proyectos a consorcios de empresas de ingeniería u ONG especializadas en participación comunitaria, en lugar de solamente a los primeros.
- Los consultores de diseño de proyectos y los ingenieros de empresas estatales de agua fueron supervisados activamente por el equipo de gestión de proyectos nacionales (en Caixa Economica Federal), para que las propuestas en los niveles de servicio, tecnología, fechas límites de construcción, recuperación de costos, facturación y otros detalles fueran finalizados solo después de negociaciones activas con las comunidades.
- La estrecha supervisión cercana de los documentos de licitación aseguró que los contratos de construcción fueran competitivos y que las empresas constructoras fueran plenamente responsables ante las comunidades locales.

Una característica interesante del proyecto PROSANEAR ha sido que se tomaron diversas rutas institucionales para finalizar diseños de subproyectos. Con el riesgo de hacer una simplificación excesiva, se puede identificar tres modelos. Una clase de modelos de "organización comunitaria" elaboró diseños del proyecto en consulta con los líderes de organizaciones comunitarias y luego los detalles se discutieron con los beneficiarios reales. Una segunda clase de modelos de "consultas directas" llegó a un acuerdo directo con los ingenieros de diseño y los beneficiarios, y los líderes de la comunidad y las organizaciones asumieron la función de consultores. En ambos modelos, los conflictos de intereses entre las empresas estatales y las OC se resolvieron a través de negociaciones. Los consultores de diseño del proyecto funcionaron como facilitadores y las reuniones de la comunidad actuaban como un sustituto del mercado. En la tercera clase de modelos «pedagógicos» se preconizó la capacitación en métodos de participación y educación en higiene como medios para incrementar la conciencia y crear la capacidad de las comunidades pobres para afrontar los poderes establecidos y los grupos de interés especiales.

Fuente: Banco Mundial, 1994a; Project Supervision Reports

### 7.3.4 Una función para el sector privado

Los recursos financieros también pueden movilizarse a través del sector privado; la prestación deficiente de servicios por el sector público a menudo indica la necesidad de aumentar la asociación con el sector privado. Sin embargo, la participación del sector privado es solo una posible oportunidad, no una panacea. En situaciones donde la prestación de servicios de saneamiento es muy costosa o inadecuada, la participación del sector privado debe examinarse como un medio de mejorar la eficiencia, reducir costos y ampliar los recursos disponibles para la prestación de servicios.

Al tomar decisiones sobre la participación del sector privado, es importante evaluar varios factores claves que han sido resumidos en *Infrastructure for Development: World Development Report, 1994* (Banco Mundial, 1994a). La introducción de la competencia es el paso más importante para crear condiciones de mayor eficiencia por parte de operadores privados y públicos; algunos servicios pueden dividirse en operaciones separadas para ayudar a crear mercados competitivos. El principio de responsabilidad con el público debe mantenerse a través de contratos transparentes abiertos al escrutinio público y deben ayudar a minimizar riesgos para el bienestar público, crear competencia real, asegurar la eficiencia y promover la autofinanciación. Paradójicamente, la capacidad del sector público tendrá que fortalecerse para lograr una participación efectiva del sector privado, lo que requiere organismos públicos con capacidad para preparar documentos de licitación e indicadores del rendimiento, evaluar los resultados y costos propuestos, administrar el proceso de contratación y regular el desempeño de los contratos.

En México, los municipios están otorgando concesiones al sector privado para construir y operar plantas de tratamiento de aguas residuales como un medio de financiar inversiones en plantas a través del sector privado y para superar problemas derivados de una pobre capacidad operativa local. La planta de tratamiento de aguas residuales de Puerto Vallarta fue la primera de muchas plantas que inició sus operaciones en los últimos años (Martin, 1995). Un aspecto importante que debe recordarse en casos como el de Puerto Vallarta, es que el sector privado cumple la función de movilizar el financiamiento para las inversiones necesarias, pero las inversiones junto con los costos de operación, mantenimiento y depreciación tendrán que recuperarse a través de tarifas impuestas a los clientes domésticos e industriales. Otro ejemplo innovador es una concesión a 26 industrias en el área de Vallejo, de la ciudad de México para formar una nueva empresa, Aguas Industriales de Vallejo, a fin de rehabilitar y ampliar con sus propios fondos una antigua planta de tratamiento de aguas residuales municipales, tratar hasta 200 l s<sup>-1</sup> de aguas residuales y

vender el agua tratada a los accionistas a 75 por ciento del precio de la empresa de servicio público (IFC, 1992).

#### **7.4 Planes y políticas estratégicos para servicios sostenibles de saneamiento**

La aplicación de un enfoque estratégico de planificación a problemas de saneamiento urbano debe conllevar a la elección de instrumentos apropiados de políticas, acuerdos sobre prioridades, selección de estándares adecuados para la prestación de servicios y al desarrollo de programas estratégicos de recuperación de costos e inversión. El aspecto de los estándares adecuados de servicio es particularmente crítico y, al final, debe corresponder a las preferencias y voluntad de pago de los usuarios. En una ciudad grande con muchos focos de pobreza, los estándares de servicio probablemente se diferencien espacialmente, ya que muchas viviendas no pueden pagar el alcantarillado convencional sin subsidios masivos del gobierno. El plan estratégico de saneamiento de Kumasi (recuadro 7.5) es un ejemplo de plan diferenciado que considera los diversos tipos de vivienda, niveles de ingresos y preferencia de los usuarios; el plan recomienda que el alcantarillado se use en áreas de vecindad, letrinas en áreas nativas y tanques sépticos e inodoros con agua en áreas de altos ingresos y del gobierno. Se realizaron encuestas sobre la voluntad de pago (Whittington y otros, 1992) y los resultados se usaron para ayudar a definir opciones diferenciadas de financiamiento. Se aplicaron los subsidios explícitos para la población de bajos ingresos de la ciudad.

El tratamiento municipal de aguas residuales es una intervención particularmente costosa y de largo plazo, por ello, la planificación estratégica adecuada y las políticas para el tratamiento son de especial importancia. El Programa de Acción Ambiental para Europa Central y Oriental (ECO) recientemente aprobado, formulado con la asistencia del Banco Mundial (1994b), reconoce que los países de ECO requerirán un plan para acercarse a los estándares de Europa Occidental durante 15 a 25 años a medida que se disponga de recursos financieros. Si bien los niveles de alcantarillado urbano en ECO son generalmente adecuados, 40 por ciento de la población actualmente no está servida por plantas de tratamiento de aguas residuales. La carga de contaminación doméstica representa 60 a 80 por ciento de la carga combinada de residuos municipales e industriales en muchas ciudades de ECO. Además, muchas de las plantas existentes están actualmente sobrecargadas, mal operadas y mantenidas, u obviadas. A continuación se presenta una lista de preguntas sobre aspectos políticos planteados en el Programa de Acción de ECO, las que

**Recuadro 7.5** Plan estratégico de saneamiento para Kumasi, Ghana

Kumasi ha tenido tres planes maestros en los últimos 40 años pero aún no tiene un sistema integral de alcantarillado. Entretanto, las condiciones sanitarias siguen deteriorándose a medida que la población aumenta. Los residentes de Kumasi pagan cerca de US\$ 1 millón al año para tener solo 10 por ciento de sus residuos removidos del ambiente inmediato. El sistema actual de manejo de residuos humanos en Kumasi es inadecuado; la mayoría de residuos de las letrinas termina en los arroyos vecinos y en lotes baldíos dentro de los límites de la ciudad, lo que favorece la propagación de enfermedades. Con el aumento de la urbanización y la competencia rápida por los recursos limitados, existe el temor de que las condiciones sanitarias ya deficientes empeoren si no se toman medidas urgentes y racionales.

En respuesta a las condiciones inadecuadas de saneamiento que prevalecen en la ciudad, la Unidad de Manejo de Residuos del Área Metropolitana de Kumasi, con la asistencia del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)/ Grupo Regional de Agua y Saneamiento para África Occidental del Banco Mundial, preparó un plan estratégico de saneamiento (PES). El PES refleja la voluntad de la Asamblea Metropolitana de Kumasi para tomar las medidas institucionales y financieras necesarias a fin de asegurar la prestación de servicios de saneamiento asequibles a todos los sectores de la población en el año 2000. El plan difiere de un plan maestro tradicional en que:

- Especifica opciones técnicas de acuerdo con el tipo de vivienda en la ciudad.
- Considera las preferencias y voluntad de pago de los usuarios.
- Emplea un horizonte de planificación relativamente corto (10 a 15 años), con énfasis en las acciones que pueden tomarse ahora.
- Divide el plan general en proyectos que pueden implementarse independientemente, pero que juntos proporcionan una cobertura total.

El PES va más allá de la confianza en el alcantarillado convencional únicamente y considera una variedad de tecnologías comprobadas que abordan las necesidades de todos los segmentos de la población urbana, reconoce la limitación de recursos y presta la atención debida a la voluntad y capacidad de los usuarios para pagar por mejores servicios.

El proceso de planificación estratégica usado en Kumasi es dinámico y el mismo PES evolucionará a medida que se adquiere experiencia. Este proceso iterativo comenzó con un proyecto piloto financiado por el PNUD, en el cual se evalúan y refinan los diversos temas técnicos, institucionales y financieros propuestos en el PES. El proyecto piloto es, en realidad, la primera fase de implementación en el nivel de ciudad que será apoyado por un proyecto financiado por el Banco Mundial.

Fuente: Whittington y otros, 1992; KMA, 1993

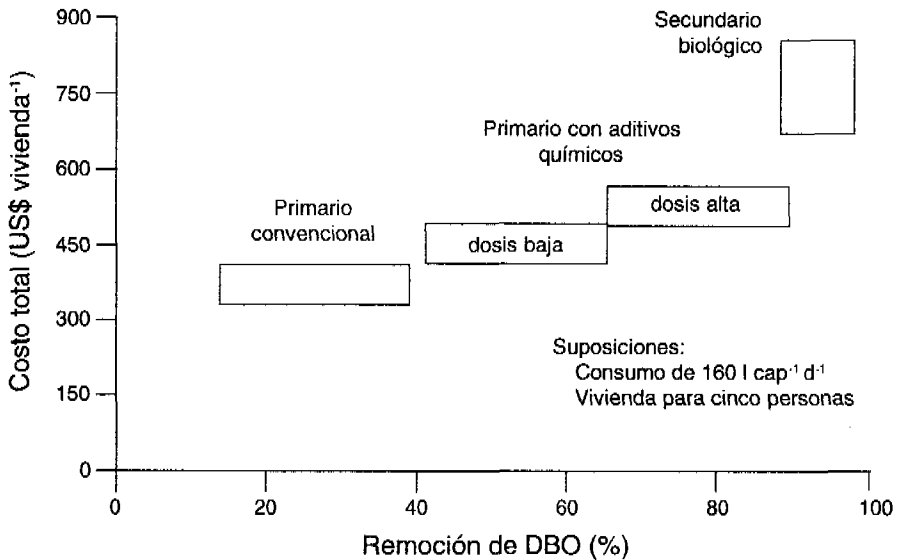
se deben responder antes de proceder con las inversiones en aguas residuales municipales:

- ¿Se han tomado medidas para reducir el consumo de agua doméstica e industrial?
- ¿Las aguas residuales industriales reciben pretratamiento?
- ¿Es posible reusar o reciclar las aguas residuales?
- ¿Se puede analizar la inversión propuesta en un contexto de cuenca de río? En ese caso, ¿los méritos de la inversión pueden compararse con los beneficios de diferentes tipos de inversión en otras partes de la cuenca? (Observe que una solución menos costosa para lograr una mejor calidad del agua puede incluir o no tratamientos diferentes o tratamiento en diversos lugares).
- ¿Se ha usado la opción de tratamiento más eficiente en función de los costos para lograr la calidad ambiental deseada del agua?
- ¿Se ha realizado un análisis económico para evaluar los beneficios (en función de la calidad del agua) que podrían lograrse con inversiones graduales durante 10 años o más?

#### **7.4.1 Costo-eficiencia de las tecnologías**

Las ciudades de los países en desarrollo están empezando a reconocer que los residentes urbano marginales no pueden pagar, ni necesariamente desean o necesitan un alcantarillado convencional costoso. Más allá de los centros urbanos densos, el costo promedio del alcantarillado convencional por vivienda puede variar de US\$ 300 a 1.000. Evidentemente, esto es demasiado costoso para muchas viviendas con ingresos anuales muy por debajo de US\$ 300. Afortunadamente, existe una amplia gama de opciones tecnológicas eficientes en función de los costos para responder a la demanda de los consumidores más allá del centro urbano, con el potencial de una reducción de US\$ 100 por vivienda. El Programa de Agua y Saneamiento del PNUD/Banco Mundial ha trabajado con muchos países durante la última década para desarrollar, demostrar, documentar y explicar muchas de estas opciones de saneamiento de bajo costo. Los ejemplos de este capítulo ilustran muchas de las opciones disponibles para letrinas (letrinas mejoradas de hoyo ventilado en Lesotho, letrinas con arrastre hidráulico en Sulabh, India, alcantarillado para condominios en Brasil y alcantarillado simplificado en Paquistán), así como sistemas institucionales y financieros de apoyo que permiten la aplicación de estas opciones en gran escala.

Las tecnologías de tratamiento de aguas residuales también tienen una amplia gama de costos. Los procesos convencionales de tratamiento pueden costar



**Figura 7.6** Costos del tratamiento convencional de aguas residuales (National Research Council, 1993)

US\$ 0,25 a 0,50 por metro cúbico (figura 7.6). Si se puede usar opciones no convencionales, esos costos pueden reducirse al menos hasta la mitad. Los enfoques prometedores del tratamiento de bajo costo, especialmente para ciudades pequeñas e intermedias, varían desde sistemas de tratamiento natural (tales como lagunas de estabilización, pantanos artificiales e incluso emisarios submarinos), hasta sistemas descentralizados de tratamiento (como en Curitiba, Brasil), nuevos procesos de tratamiento (por ejemplo, los reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA) que actualmente operan en ciudades de la India, Colombia y Brasil). En ciudades grandes, el terreno u otras limitaciones pueden hacer que el tratamiento convencional sea el enfoque más eficiente en función de los costos para lograr los objetivos deseados de la calidad del agua, aunque esto siempre debe ser una decisión basada en un análisis económico. El cálculo de los costos de vida siempre debe usarse para comparar y elegir entre las opciones de tratamiento, ya que la operación y el mantenimiento constituyen una proporción importante de los costos.



#### **7.4.2 Conservación y reúso de los recursos escasos**

Los principios ecológicos básicos para las ciudades sostenibles incluyen la conservación de los recursos y la minimización y reciclaje de residuos. La inclusión de estos principios en las políticas urbanas para el manejo de aguas residuales debe recalcar la importancia estratégica de la conservación del agua y la recuperación y reúso de aguas residuales en las ciudades. Es más, las políticas exitosas de conservación y reúso necesitan alcanzar un equilibrio entre las inquietudes ecológicas, económicas, financieras y de salud pública.

El establecimiento de precios y el manejo de demandas son instrumentos importantes para fomentar las prácticas eficientes del uso de agua en los domicilios e industrias, y para reducir los volúmenes y cargas de aguas residuales. Las tarifas de agua y alcantarillado pueden inducir a las organizaciones urbanas a adoptar tecnologías para el ahorro de agua, incluidos los sistemas de reciclaje y reúso del agua, y a minimizar o eliminar residuos que de otro modo terminarían como efluentes o desperdicios. Además de los incentivos basados en el precio, los programas de manejo de la demanda deben incluir componentes educacionales y técnicos, tales como campañas de conservación del agua, asesoramiento a los consumidores y promoción, distribución o venta de dispositivos que ahorran agua como los inodoros de “seis litros” que usan menos de la mitad del volumen de agua por descarga que un inodoro estándar (Banco Mundial, 1993b).

La recuperación y reúso de aguas residuales se reconocen cada vez más como una estrategia de protección ambiental y de manejo de recursos hídricos, especialmente en regiones áridas y semiáridas (véase el capítulo 4). El uso de las aguas residuales recuperadas para propósitos no potables, como el riego de áreas verdes o para la industria y agricultura y acuicultura periurbana, ofrece un recurso nuevo y confiable que puede sustituirse por las fuentes existentes de agua dulce. Los esfuerzos del control de la contaminación del agua pueden proporcionar efluentes tratados que representan una fuente económica de abastecimiento comparado con el alto costo de desarrollar nuevas fuentes de agua (Asano, 1994). Por el contrario, en países en desarrollo, donde recientemente se ha emprendido fuertes inversiones en el tratamiento de aguas residuales, el reúso tiene el potencial de reducir el costo de la disposición de aguas residuales a los municipios. Khouri y otros (1994) han proporcionado un marco para el análisis económico y financiero de los proyectos de reúso en una guía de planificación que integra los intereses económicos, ambientales y de salud con inquietudes agronómicas para el manejo apropiado de cultivos, suelo y agua.

## 7.5 Conclusiones

Este capítulo ha identificado varios retos financieros y otros que enfrentan las ciudades y los países al procurar satisfacer la creciente demanda de la población urbana por servicios de saneamiento y alcantarillado y un mejor manejo de las aguas residuales.

En primer lugar, las ciudades necesitan completar la “antigua agenda” de extender los servicios de saneamiento a toda la población urbana. Está claro que la inversión puede y debe provenir de los usuarios. Para lograrlo, se debe brindar servicios que las personas deseen y estén dispuestas a pagar. Para ayudar a que las viviendas urbano marginales satisfagan sus necesidades de saneamiento, también se requerirán mecanismos innovadores de crédito. Los acuerdos institucionales deben fundarse en el principio de responsabilidad compartida con la transferencia de la toma de decisiones al nivel apropiado más bajo; las instituciones de prestación de servicios deben ser sensibles y responsables ante los usuarios. En muchos casos, esto incluirá sociedades locales para garantizar la participación comunitaria efectiva en la prestación y financiación de los servicios, y una función esencial para que el sector privado movilice los recursos de inversión. En lo referente al aspecto técnico, las ciudades deben considerar la planificación estratégica del saneamiento para equiparar las opciones de servicio con los ingresos y preferencias de los usuarios, y deben adoptar tecnologías eficientes en función de los costos para prestar los servicios deseados.

En segundo lugar, se está haciendo un llamado a las ciudades de los países en desarrollo para que se embarquen en la “nueva agenda” de tratamiento de aguas residuales y manejo de la calidad del agua mientras siguen con la “antigua agenda”. Esto representa un gran reto financiero, como lo ilustra la experiencia reciente de los países industrializados. Las autoridades nacionales y locales deben hacer elecciones difíciles sobre el nivel de inversión que debe hacerse para preservar el ambiente acuático, sobre quién debe pagar y cómo gastar los recursos disponibles. Los recursos limitados y las difíciles compensaciones en los países en desarrollo refuerzan la necesidad de elegir alternativas estratégicas que simultáneamente hagan el mejor uso de los recursos disponibles y proporcionen incentivos a los descargadores para reducir sus cargas de contaminación, mediante el uso de instrumentos económicos, tales como la fijación de precios del agua e impuestos a la contaminación. Se requieren nuevos mecanismos institucionales, tales como asociaciones de cuencas de ríos, que permitan la participación de los interesados en la toma de decisiones difíciles sobre la calidad ambiental, financiamiento y asignación de responsabilidades para la acción. En condiciones ideales, estos acuerdos deben

respetar el principio de no interferencia en el funcionamiento de los municipios y a la vez crear las condiciones para que actúen como buenos ciudadanos ambientales, por ejemplo, a través de servicios económicamente autosuficientes de agua y alcantarillado. También se requieren nuevos enfoques de planificación, tales como la adopción de planes y políticas estratégicas que establezcan metas ambientales de largo plazo que identifiquen acciones inmediatas críticas y que determinen medios sostenibles de implementación. Finalmente, la mayor confianza en la conservación y reúso de aguas residuales también depende de los precios y manejo de la demanda.

Los retos son grandes, pero la evidencia indica que no son insuperables. Alcanzarlos requiere voluntad política y apoyo de los residentes urbanos para adoptar políticas apropiadas de inversión y recuperación de costos, así como apoyo en la implementación de las acciones estratégicas.

## 7.6 Referencias

- Asano, T. 1994 Reusing urban wastewater --an alternative and a reliable water resource. *Wat. Int.*, **19**(1), 36-42.
- Austin, T. Roiled waters: water politics in the 1990s. *Civ. Eng.*, **64**(7), 49-51.
- Banco Mundial 1992 *Development and the Environment: World Development Report, 1992*. Oxford University Press, Nueva York.
- Banco Mundial 1993a *Investing in Health: World Development Report, 1993*. Oxford University Press, Nueva York.
- Banco Mundial 1993b *Water Resources Management*. Policy Paper, Banco Mundial, Washington, D.C.
- Banco Mundial 1994a *Infrastructure for Development Report, 1994*. Oxford University Press, Nueva York.
- Banco Mundial 1994b *Environmental Action Programme for Central and Eastern Europe*. Technical Department, Europe and Central Asia, Middle East and North Africa Regions, Report No. 10603-ECA. Banco Mundial, Washington, D.C.
- Banco Mundial 1994c *Managing Environmental Problems in Chile: Economic Analysis of Selected Issues*. Environment and Urban Development Division, Country Department 1, Latin American and the Caribbean Region, Informe No. 13061-CH. Banco Mundial, Washington, D.C.
- Bartone, C. 1995 An overview of urban wastewater and sanitation: responding to growing household and community demand. En: Serageldin, I., Cohen, M. y Sivaramakrishnan, K. [Eds] *The Human Face of the Urban Environment: Proceedings of the Second Annual World Bank Conference on Environmentally Sustainable Development*. Environmentally Sustainable

- Development Proceedings Series No. 6. Banco Mundial, Washington, D.C., 139-49.
- Bartone, C., Bernstein, J., Leitmann, J. y Eigen, J. 1994 *Toward Environmental Strategies for Cities: Policy Considerations for Urban Environmental Management in Developing Countries*. Urban Management Programme Policy Paper No. 18. Banco Mundial, Washington, D.C.
- Blacket, I.C. 1994 *Low-Cost Urban Sanitation in Lesotho*. Water and Sanitation Discussion Paper Series No. 10, UNDP/World Bank Water and Sanitation Program, Washington D.C.
- Briscoe, J. 1993 When the cup is half full. *Environment*, **35**(4), 7-37
- Briscoe, J y Garn, M. 1994 *Financing Agenda 21: Freshwater*. Transport, Water and Urban Development Department Paper No. TWU OR5. Banco Mundial, Washington, D.C.
- de Melo, J.C.R. 1985 Sistema condominial. *Engen. Sanit.* **24**(2), 237-38.
- Ducci, J. 1991 *Valuación contingente y proyectos de alcantarillado sanitario: resumen de algunos estudios de caso*. Presentado en el Seminario de Evaluación Económica de Proyectos: La Utilización del Método de Evaluación Contingente, Bogotá, 6 al 31 de mayo.
- Ferreccio, C. 1995 Santiago, Chile: avoiding an epidemic. En: Serageldin, I., Cohen, M. and Sivaramakrishan, K. [Eds] *The Human Face of the Urban Environment: Proceedings of the Second Annual World Bank Conference on Environmentally Sustainable Development*. Environmentally Sustainable Development Proceedings Series No. 6. Banco Mundial, Washington, D.C., 160-62.
- Hasan, A. 1995 Replicating the low-cost sanitation programme administered by the Orangi Pilot Project in Karachi, Pakistan. En: Serageldin, I., Cohen, M. and Sivaramakrishan, K. [Eds] *The Human Face of the Urban Environment: Proceedings of the Second Annual World Bank Conference on Environmentally Sustainable Development*. Environmentally Sustainable Development Proceedings Series No. 6. Banco Mundial, Washington, D.C., 150-53.
- Hermanson, J.A. 1994 *New partnerships for a healthier environment*. Presentado en International Medical Services for Health (INMED) 5th Millennium Conference: Urban Center Challenges for the 21st Century, Washington, D.C., 22 de junio.
- IFC 1992 *Investing in the Environment: Business Opportunities in Developing Countries*. International Finance Corporation, Washington, D.C.
- Jansen, H.M.A. 1991 *West European Experiences with Environmental Funds*. Institute for Environmental Studies, La Haya, Países Bajos, mimeo, enero de 1991.

- Khouri, N., Kalbermatten, J.M. y Bartone, C.R. 1994 *Reuse of Wastewater in Agriculture: A Guide for Planners*. Programa del PNUD/Banco Mundial para Agua y Saneamiento, Washington, D.C.
- KMA 1993 *Strategic Sanitation Plan for Kumasi*. Versión preliminar, enero de 1993. Kumasi Metropolitan Assembly, Kumasi, Ghana.
- Martin, J. 1995 Sistemas BOOT para plantas de tratamiento de aguas servidas: El caso de Puerto Vallarta, México. Presentado en International Seminar on Treatment and Reuse of Urban Wastewater, Santiago, Chile, 8 al 12 de mayo.
- Mearns, A.J. 1994 How clean is clean? The battle for Point Loma. *Wat. Env. Res.*, 66(5), 667-668.
- NIUA 1990 *A Revolution in Low Cost Sanitation: Sulabh International*. Case study prepared for the Mega-Cities Project and the Urban Management Program. National Institute of Urban Affairs, Nueva Delhi.
- National Research Council 1993 *Managing Wastewater in Coastal Urban Areas*. National Academy Press, Washington, D.C.
- OMS 1989 *Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture*. Technical Report Series 778, Organización Mundial de la Salud, Ginebra.
- OMS 1992 *Our Planet, Our Health*. Organización Mundial de la Salud, Ginebra.
- OMS/UNICEF 1993 *Water Supply and Sanitation Monitoring Report 1993: Sector Status as of 31 December 1991*. World Health Organization/United Nations Children's Fund Joint Monitoring Programme, Ginebra.
- Ouayoro, E. 1995 Ouagadougou low-cost sanitation and public information program. En: Serageldin, I., Cohen, M. y Sivaramakrishnan, K. [Eds] *The Human Face of the Urban Environment: Proceedings of the Second Annual World Bank Conference on Environmentally Sustainable Development*. Environmentally Sustainable Development Proceedings Series No. 6. Banco Mundial, Washington, D.C., 154-59.
- Serageldin, I. 1994 *Water supply, sanitation and environmental sustainability: the financing challenge*. Keynote address to The Ministerial Conference on Drinking Water and Environmental Sanitation: Implementing Agenda 21, Noordwijk, Países Bajos, 22 al 23 de marzo.
- Suzhen, Y. 1995 Strategies for controlling industrial wastewater pollution in Beijing. En: Serageldin, I., Cohen, M. y Sivaramakrishnan, K. [Eds] *The Human Face of the Urban Environment: Proceedings of the Second Annual World Bank Conference on Environmentally Sustainable Development*. Environmentally Sustainable Development Proceedings Series No. 6. Banco Mundial, Washington, D.C., 163-68.

- WASH 1993 *The Economic Impact of the Cholera Epidemic in Peru: An Application of the Cost of Illness Methodology*. WASH Field Report No. 415. Water and Sanitation for Health, Washington, D.C.
- Whittington, D., Lauria, D.T., Wright, A.M., Choe, K., Hughes, J.A. and Swarna, V. 1992 *Household Demand for Improved Sanitation Services: A Case Study of Kumasi, Ghana*. PNUD/World Bank Water and Sanitation Program Report No. 3. Washington, D.C.

## Capítulo 8\*

### ESQUEMAS INSTITUCIONALES

#### 8.1 Introducción

Generalmente, el control de la contaminación del agua es una de las responsabilidades del gobierno pues tiene como objetivo proteger el ambiente para el bienestar del público en general. Para ello, los gobiernos establecen organizaciones apropiadas y promueven programas específicos. Estas intervenciones tienen como finalidad lograr objetivos nacionales o regionales que incluyen mejorar la productividad económica, la salud y el bienestar público (todo lo cual debe, idealmente, formar parte de una estrategia de desarrollo sostenible). Para cumplir con estos objetivos se movilizan recursos, especialmente financieros (capital de personas locales, gobierno y el mercado), recursos físicos (materias primas y productos agrícolas), recursos ambientales (tales como el agua) y recursos humanos (tiempo activo y capacidad de las personas). Estos recursos son escasos y tienen un costo asociado, por ello, su uso debe ser eficiente, es decir, se debe alcanzar la máxima producción (la mejor calidad del agua) con la menor cantidad de recursos. Alternativamente, puede ser más importante organizar el sector de control de la contaminación de manera que la política gubernamental se implemente efectivamente; por ejemplo, que se construyan y operen plantas de tratamiento de aguas residuales o que las instalaciones de saneamiento, una vez construidas, se usen y mantengan permanentemente. La implementación efectiva puede ser sumamente difícil, especialmente para el control de la contaminación. En realidad, el control de las aguas residuales siempre recibe la más baja prioridad, si bien su infraestructura es tan costosa como la del abastecimiento de agua.

El agua es un recurso ambiental con un profundo impacto sobre la salud pública, la actividad económica y la calidad ambiental (y ecosistema). Por ello, el prerrequisito para cualquier escenario de desarrollo sostenible es que las organizaciones encargadas del manejo del agua realmente tengan la capacidad para realizar esta tarea. Un esquema equilibrado de organizaciones dinámicas y flexibles y la coordinación entre instituciones relacionadas es la mejor garantía de que los recursos hídricos no contaminados permanezcan

\* *Este capítulo fue preparado por G.J. Alaerts*

disponibles en el futuro, que se brinde la cantidad y calidad adecuada de agua a los usuarios (incluidos los ecosistemas) y que las personas puedan vivir en un entorno saludable. Sin embargo, estas organizaciones solo pueden ejecutar estas funciones si tienen acceso a una base financiera apropiada para ampliar y mantener la infraestructura, a fin de atraer a profesionales capacitados y prepararse bien para el futuro.

## **8.2 El subsector de control de la contaminación del agua**

La estructura organizacional y los procedimientos administrativos para implementar el control de la contaminación del agua están determinados en gran medida por las características del subsector y sus funciones. Estos varían entre países así como con el transcurso del tiempo. Durante las últimas décadas, los países industrializados han aprendido que los recursos hídricos, aunque son finitos, deben continuar satisfaciendo una variedad de demandas de los usuarios (para el abastecimiento de agua, riego, recreación) y que necesitan protección (ICWE, 1992; Banco Mundial, 1993). También han aprendido que los diferentes tipos de contaminación (doméstica o industrial) exigen enfoques específicos y que la prevención de la contaminación es más eficiente en función de los costos que la remoción de contaminantes mediante el tratamiento al final del proceso industrial (véase el capítulo 3). Además, el control de la contaminación del agua está estrechamente vinculado con el trabajo de otros subsectores, en particular, con la gestión ambiental, manejo de recursos hídricos, desarrollo industrial, usos del suelo y planificación urbana.

Generalmente, el subsector de control de la contaminación del agua tiene cuatro funciones relativamente distintas que requieren experiencia específica (véase el capítulo 1):

- Manejo de la calidad de los recursos hídricos tales como ríos, lagos y zonas pantanosas. Incluye el establecimiento de estándares operativos de calidad para las aguas receptoras así como para los residuos descargados y la planificación integral para alcanzar niveles de calidad del agua que permitan su uso apropiado (por ejemplo, para la producción de agua potable, cultivo de peces, navegación) (véase los capítulos 2 y 5).
- Reglamentación de los estándares generales de calidad para la salud, agua y ambiente. Reglamentación y establecimiento de estándares para el tratamiento de aguas residuales industriales, promoción de la minimización de residuos y prevención de la contaminación en lugar de los enfoques convencionales al final del proceso industrial.
- Organización, construcción y manejo del saneamiento in situ en áreas rurales y periurbanas.



- **Recolección y tratamiento centralizado fuera del sitio de las aguas residuales domésticas, incluida la planificación, construcción y manejo.**

Las condiciones físicas y socioeconómicas de un país determinan qué funciones deben tener prioridad y la elección del mejor esquema institucional. Algunas veces estas funciones demandan dos o más entidades separadas, ya que cada función requiere un propósito, estructura y procedimientos organizacionales específicos, así como experiencia técnica especializada.

Las dos primeras funciones enumeradas son de naturaleza reglamentaria y las dos últimas son ejecutivas. En la mayoría de los países, el establecimiento de reglamentos de calidad del agua y descarga ha resultado ser el aspecto más fácil (y menos costoso). La ejecución de programas de inversión con uso intensivo de capital en ciudades y pueblos ha sido mucho más difícil de realizar o incluso de iniciar. Además, en muchos países, gran parte del nuevo sistema de alcantarillado termina siendo mal operado y mantenido, lo que reduce su efectividad de manera drástica. Las industrias grandes y comparativamente adineradas a menudo son las primeras en construir y operar plantas de tratamiento, mientras que la mayoría de industrias más pequeñas encuentran sumamente difícil cumplir con los estándares.

El saneamiento in situ comprende un conjunto de actividades diferenciadas. Gran parte del trabajo lo realizan los propietarios de las viviendas que invierten en la construcción de tanques sépticos o letrinas de hoyo seco. El mantenimiento, la remoción, disposición y tratamiento de lodos, generalmente lo realizan los contratistas privados. Las organizaciones sectoriales son responsables de asegurar que se cumplan las metas del gobierno a través de reglamentos adecuados de construcción y ordenanzas municipales y actúan principalmente como facilitadoras. En la mayoría de países, ésta también es una ardua tarea.

### **8.3 Instituciones y organizaciones**

Antes de tratar la función de las instituciones y organizaciones en las actividades del control de la contaminación del agua, primero es necesario distinguir las y reconocer que la función de todos los factores institucionales desborda los límites típicos de las "organizaciones sectoriales". Las instituciones representan las "normas" de cualquier clase de estructura social, es decir, las leyes, los reglamentos y su cumplimiento, los acuerdos y procedimientos (véase por ejemplo Uphoff, 1986; Israel, 1987; de Capitani y North, 1994). Las organizaciones son un tipo específico de institución y están compuestas por grupos de personas con un objetivo común. Las organizaciones pueden formalizarse, tales como las organizaciones sectoriales "oficiales" con objetivos operativos, presupuesto propio y personal profesional (tales como los

departamentos de agua en los ministerios, juntas de agua, agencias de protección ambiental, laboratorios, empresas de consultoría) o pueden ser informales y menos definidas (como “el público”, los “clientes” que pagan por un servicio de agua o los distintos grupos socioeconómicos de una comunidad o pueblo).

El éxito en la implementación de una política gubernamental para controlar la contaminación del agua depende principalmente de la idoneidad del esquema institucional que se elija. Otros prerrequisitos importantes son también la disponibilidad de capital, de tecnología y de recursos humanos (experiencia). Sin embargo, generalmente, el máximo beneficio de los recursos disponibles solo se puede derivar mediante un esquema institucional “óptimo” que permita que los recursos funcionen efectivamente para el subsector. Lo “óptimo” depende de las características del subsector, las que difieren de los otros subsectores que emplean agua, tales como abastecimiento de agua o hidroenergía, y los requisitos del país. Los esquemas institucionales óptimos son esenciales para poder liberar y desarrollar recursos; por ejemplo, para atraer mayores recursos financieros al incrementar la voluntad de pago de los clientes por los servicios de alcantarillado o para educar y capacitar a los profesionales.

Un sector puede preparar y manejar sus programas solamente si todas las instituciones participan en las tres fases principales: planificación, implementación (construcción) y operación y mantenimiento vinculados con la recuperación de costos. Si bien esto es normal para las organizaciones formales, como los departamentos del gobierno, también lo es para todas las otras instituciones indirectamente implicadas y afectará, de un modo u otro, al programa de contaminación del agua. Ejemplos de estas instituciones son:

- Las políticas y reglamentos que determinan la fijación de tarifas e impuestos. Si bien su éxito depende del poder financiero, usualmente están fuera de la jurisdicción de las organizaciones de control de la contaminación. Por lo general, la responsabilidad de la toma de decisiones recae sobre los políticos, el ministerio de finanzas o municipios.
- El cumplimiento de reglamentos y leyes. Cualquier ley de control de la contaminación es tan fuerte como fuerte sea la voluntad y capacidad de las instituciones que vigilan su cumplimiento.
- Los recursos humanos y desarrollo de la experiencia. El control de la contaminación es técnicamente complicado y, por ello, las instituciones de educación e investigación deben ser capaces de apoyar una política nacional de control de la contaminación.
- Los mecanismos para que las organizaciones sean más flexibles, responsables y sensibles a la demanda de los clientes. Por lo general, esto requiere otorgar autonomía financiera y capacidad para tomar decisiones

en los niveles administrativos más bajos del gobierno. También puede conducir a la inclusión de socios privados. Las normas que reprimen la iniciativa y el buen desempeño deben eliminarse y reemplazarse por otros reglamentos que generalmente se basan más en el desempeño. El marco institucional necesario se determina fuera del sector ambiental o de agua.

- Los mecanismos que permiten definir el valor económico de la buena calidad del agua para la nación. Esto requiere una apreciación y comprensión total de los usos del agua y su importancia para el desarrollo sostenible de la nación a largo plazo.

Una institución crucial para el éxito del control de la contaminación del agua es el grupo de personas que se beneficiará con ello. En todo el mundo, numerosos esquemas de abastecimiento de agua y saneamiento han fracasado completa o parcialmente porque los usuarios (y agencias financieras) no fueron consultados sobre si valoraban la nueva infraestructura y si estaban dispuestos a contribuir con su adecuada operación. La escasa participación de los usuarios durante la fase de planificación crea una situación donde no se puede apreciar el sentir de estos. La prestación de un servicio, como un ambiente limpio, no solo es cuestión de satisfacer una presunta demanda de los clientes. Sin una demanda claramente expresada, los clientes no se comprometen con la infraestructura, dejan de usarla adecuadamente y no pagan una compensación razonable por ella. Una demanda existente puede desarrollarse insuficientemente, por ejemplo, porque los futuros clientes no reconocen los beneficios a largo plazo del servicio (buena salud pública o educación) o porque prefieren el “disfrute adquisitivo” (incrementar bienes de consumo) en lugar de invertir en beneficios a largo plazo. En consecuencia, se debe desarrollar la demanda.

#### **8.4 Criterios y factores determinantes**

No existe ningún modelo fijo u óptimo de esquema institucional apropiado para todos los países que sea válido en todo momento. Las organizaciones que cumplirían mejor con los requisitos en un país determinado y en un período específico de su desarrollo, dependen de las características locales, es decir, de la hidrogeología y topografía, industrialización, cultura, economía y entorno natural. El esquema institucional de un subsector tendrá que ajustarse continuamente, ya que el entorno institucional del subsector cambia permanentemente. De preferencia, este esquema debe prever y facilitar el cambio continuo. Inevitablemente, los esquemas institucionales son muy específicos para cada caso; lo que funciona en un país en un lapso determinado quizá sea perjudicial en otro. No obstante, la experiencia indica que los buenos

esquemas constan de componentes estándares (por ejemplo, tipos de organización, medidas financieras) que funcionan bien en diferentes circunstancias. Generalmente, los factores determinantes para estos esquemas son las condiciones externas con las que el subsector tiene que trabajar. A menudo, los criterios se derivan de la administración pública y de negocios, y especifican cómo debe manejarse con éxito un sector y sus organizaciones ejecutantes.

#### **8.4.1 Funciones prioritarias y propósitos de las organizaciones**

En primer lugar, se deben determinar los aspectos prioritarios del control de la contaminación del agua a mediano plazo (con un horizonte de planificación de 10 a 20 años). Los países con una alta densidad de población y producción industrial requieren un enfoque diferente al de los países predominantemente rurales y menos industrializados. De la misma manera, las regiones áridas pueden dar mayor prioridad a la conservación y reúso del agua. Otras regiones pueden enfrentar problemas con los diversos componentes de las aguas residuales que a largo plazo pueden tener efectos nocivos, a veces en lugares muy distantes del punto de descarga. Por ejemplo, los nutrientes descargados por las viviendas a lo largo del río Rin en Suiza, causan afloramiento de algas a lo largo de la costa del Mar del Norte danés y desencadenan deficiencia de oxígeno y muerte de peces; y los bifenilos policlorados (BPC) descargados en Europa pueden acumularse durante años en el tejido graso de las focas cerca del Polo Norte. Los esquemas institucionales deben reflejar las prioridades ambientales.

A menudo se asume que el control de la contaminación del agua requiere los mismos esquemas institucionales que el abastecimiento de agua. Sin embargo, este no suele ser el caso. En muchos países, la recolección y tratamiento de aguas residuales domésticas está a cargo de la misma organización de abastecimiento de agua, como sucede en la India, Uganda, China, Brasil (algunas regiones), Mozambique, Yemen, Filipinas, Inglaterra y Gales. En otros países, se han creado organizaciones separadas, como en Indonesia (para las áreas urbanas), Colombia, Argentina y la mayoría de países de África occidental y Europa occidental. Las funciones ejecutivas para grandes proyectos de infraestructura y su manejo, generalmente corresponden a un departamento del gobierno, una junta, autoridad o empresa relacionada con obras de ingeniería, los que pueden tomar muchas formas (véase la sección 8.5). Por contraste, la función ejecutiva del saneamiento in situ usualmente se relaciona con autoridades del manejo urbano responsables de la planificación del uso del suelo y reglamentación de la vivienda. Lamentablemente, la mayoría

**Recuadro 8.1** Las dos caras de una moneda: la operación y mantenimiento y la recuperación de costos

Cuando el Banco Mundial monitorea los proyectos, insiste en buenos procedimientos de contabilidad y finanzas. Sin embargo, cuando los indicadores financieros, tales como la tasa de recuperación de costos y la balanza de pagos se monitorean durante cuatro o cinco años pueden esconder debilidades estructurales. Una organización puede invertir la mayor parte de los costos recuperados en la contratación de personal no calificado y al mismo tiempo posponer el mantenimiento esencial. Así, puede permanecer totalmente desprevenida en caso de problemas serios inminentes (tales como la eutroficación de un lago que abastece a millones con agua potable óptima). El monitoreo de los indicadores financieros claves solo es apropiado si se complementa con datos sobre el desempeño institucional, en particular, su capacidad para mejorar en el futuro.

de las autoridades urbanas manifiestan poco interés o no comprenden bien el control de la contaminación del agua. Además, se sienten menos responsables por las metas nacionales del manejo ambiental y, generalmente, restringen sus intervenciones a la remoción de la contaminación local dentro de los límites de la ciudad. De igual manera, las autoridades de planificación urbana pueden obligar a las industrias y talleres a salir de las áreas residenciales y trasladarse a las zonas industriales designadas, donde (en teoría) estarían mejor equipadas para separar y contener los flujos de aguas residuales domésticas e industriales (una condición para el control adecuado de la contaminación del agua). A menudo, la función del manejo de la calidad del agua está a cargo de un departamento del gobierno, pero en muchos casos la función gerencial ha sido asumida por la organización encargada de la infraestructura, especialmente cuando se cubre un territorio extenso que abarca un sistema entero de agua natural (por ejemplo una cuenca fluvial). Finalmente, las funciones de reglamentación son responsabilidad de un ministerio (de salud o ambiente), si bien en algunos casos se delegan a un organismo del gobierno (como el caso de las agencias de protección ambiental en los Estados Unidos y China y la Junta de Control de la Contaminación en la India).

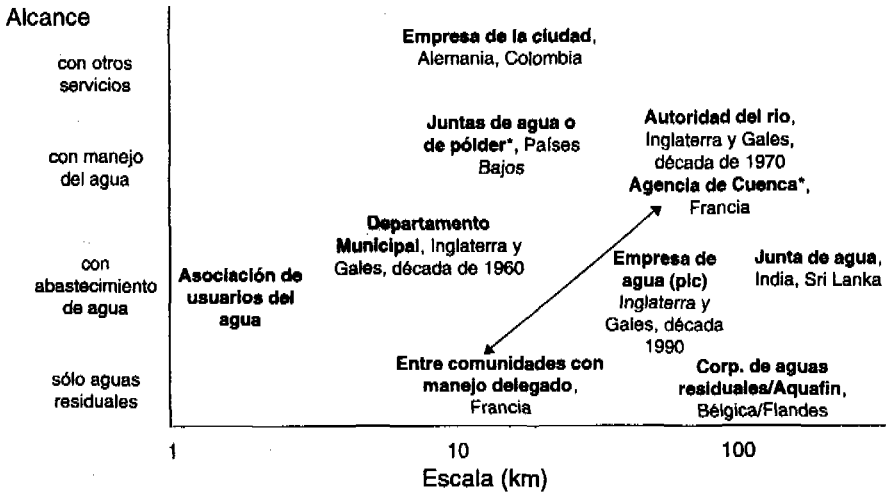
Una segunda consideración importante es la asignación de prioridades de inversión (construcción) u operación y manejo (O&M). La sostenibilidad depende de que las instituciones aseguren que la infraestructura tenga una vida larga y activa. Los dispositivos bien operados y mantenidos minimizan las pérdidas de recursos debido a derrames y roturas. La O&M deficientes también conducen a un servicio deficiente al consumidor. Los desagües y bombas atascados y las plantas de tratamiento fuera de servicio condicionan

un servicio poco confiable y de bajo nivel que reduce seriamente la voluntad de pago del usuario.

En muchos países, la O&M de la infraestructura del agua es muy débil. Esto es preocupante, ya que puede originar que muchas organizaciones sean incapaces de recuperar los costos (incluida la depreciación de bienes) de sus operaciones de abastecimiento de agua y mucho menos de sus operaciones de alcantarillado. Existe consenso de que en un subsector eficiente, las organizaciones de agua deben ser capaces, a la larga, de recuperar los costos totales de sus consumidores. En muchos países en desarrollo, las organizaciones necesitan ser orientadas y requieren capacitación para ejecutar esta tarea de manera más eficiente (véase la sección 8.5.8). En particular, la infraestructura del alcantarillado no recibe mucha atención en el presupuesto de las autoridades y ciudadanos. Actualmente, varios países europeos aún no recuperan totalmente los costos del tratamiento de aguas residuales. La operación y mantenimiento es un elemento costoso aunque inevitable del presupuesto de cualquier servicio, sin embargo, a menudo se le descuida, lo que trae consecuencias negativas para la recuperación de costos de una empresa (recuadro 8.1). En muchos casos, un objetivo de construcción bien definido (usual en muchas organizaciones en países en desarrollo) no es compatible con los objetivos de la recuperación de costos ni la O&M. A menudo, un esfuerzo de inversión concentrado requiere el establecimiento de una organización exclusiva por un período de tiempo específico (véase por ejemplo el estudio de caso I sobre la India y la sección 8.5.5 sobre Aquafin en Bélgica).

#### **8.4.2 Escala y alcance de las organizaciones y descentralización**

Las organizaciones sectoriales requeridas pueden ser de diferente escala y alcance. La escala refleja el tamaño característico del área que cubre una organización, la que puede variar de pequeña, como un barrio o pueblo, hasta un país o estado de más de 100 millones de habitantes (por ejemplo, India). El alcance de la organización define si se concentra en el control de la contaminación del agua, en un aspecto solamente, o si también cubre otros servicios. Los otros servicios pueden estar más o menos relacionados con las aguas residuales, tales como el abastecimiento de agua, drenaje, administración de la calidad del agua, manejo de la cuenca del río, generación o distribución de energía, transporte público y protección del ambiente. Es importante señalar que como gran parte de la O&M y recuperación de costos está físicamente asociada con redes reticuladas detalladas y viviendas individualizadas, debe buscarse la descentralización u otorgamiento de responsabilidades en el nivel administrativo más bajo (ICWE, 1992). Luego, parte de la red local de



**Figura 8.1** Ejemplos de la escala y alcance de la organización responsable del manejo de aguas residuales. Se excluyen las organizaciones netamente reglamentarias. El manejo de la calidad del agua está a cargo de las organizaciones marcadas con un asterisco. La doble flecha conecta, en Francia, a las dos organizaciones complementarias que cubren el sector

infraestructura puede encomendarse a una asociación local de usuarios del agua.

La determinación de la escala y alcance preferido depende de las características locales del sector de agua, las posibles interacciones con los avances de otros sectores, como el de energía y las prioridades identificadas; también dependen de la política nacional sobre la organización estatal (véase la sección 8.5). Actualmente, en muchos países de Europa existe un proceso de concentración (incremento de la escala, a veces con una expansión del alcance). La justificación de este desarrollo es que el manejo de aguas residuales, junto con el abastecimiento de agua, cada vez es más complejo con respecto a la experiencia técnica y manejo de recursos hídricos. Para hacerle frente, las organizaciones requieren instalaciones centralizadas fuertes y costosas de ingeniería y laboratorio, necesitan recolectar grandes sumas de dinero y estar en condiciones de coordinar el trabajo en toda la región de manera eficiente. Es interesante notar que en un período de apenas 15 años, Inglaterra y Gales han cambiado dos veces la escala y alcance de sus organizaciones relacionadas con el agua (véase la sección 8.5.1). La figura 8.1 proporciona una visión de las posibles situaciones.

### **8.4.3 Flexibilidad en la reglamentación y autonomía de la empresa**

La estructura institucional, por un lado, debe asegurar la consistencia de la política sobre todo el territorio y, por el otro, debe ser lo suficientemente flexible para responder a la situación y demanda locales y para adaptarse a las condiciones variables del país. El primer requisito demanda un enfoque centralizado, vertical, con un control adecuado desde arriba. Sin embargo, el segundo tiende a otorgar mayor responsabilidad a los niveles locales e implica una mayor autonomía local y subsectorial. Si bien se acepta que muchas organizaciones en niveles diferentes realizan gran parte del trabajo, los gobiernos tienden a mantener el control a través de los reglamentos. Por ejemplo, los gobiernos definen estándares nacionales para la salud y el ambiente y estructuras de personal en el servicio público, deciden las metas para lograr el control de la contaminación, establecen estructuras de precios y pueden atribuir a los mecanismos del mercado una mayor o menor función y, aún más, deciden quién adoptará las decisiones importantes. La experiencia durante las últimas décadas ha mostrado que una reglamentación excesiva es ineficiente porque se crean distorsiones y se reprimen iniciativas que podrían mejorar el sistema.

Los mecanismos para reducir el nivel de reglamentación vertical incluyen:

- Descentralización y participación en la toma de decisiones en los niveles administrativos más bajos, incluido el derecho de incrementar las finanzas (por ejemplo a través de tarifas).
- Que las empresas de aguas residuales y, en algunos casos, las organizaciones del manejo de la calidad del agua puedan operar como entidades autónomas, es decir, que puedan decidir sobre la estructura de las tarifas y el manejo de personal sin interferencia explícita del gobierno local o central.
- Participación de los socios privados para realizar el manejo o parte de él; atraer inversiones; o comprar los activos (infraestructura, terreno, organización) y operarlos como una empresa privada. Estas opciones, con mayor participación sectorial, son conocidas como arrendamiento, concesión y privatización.
- Identificar los derechos del agua y de las aguas residuales y permitir que sus propietarios las comercialicen basados en sus valores de mercado.
- Evitar introducir medidas, tales como subsidios o impuestos que puedan distorsionar el valor del precio del agua como es percibido por el usuario de este servicio.
- Aplicar incentivos financieros o multas en lugar de reglamentos inflexibles de control, por ejemplo, para las descargas de agua (véase el capítulo 6).

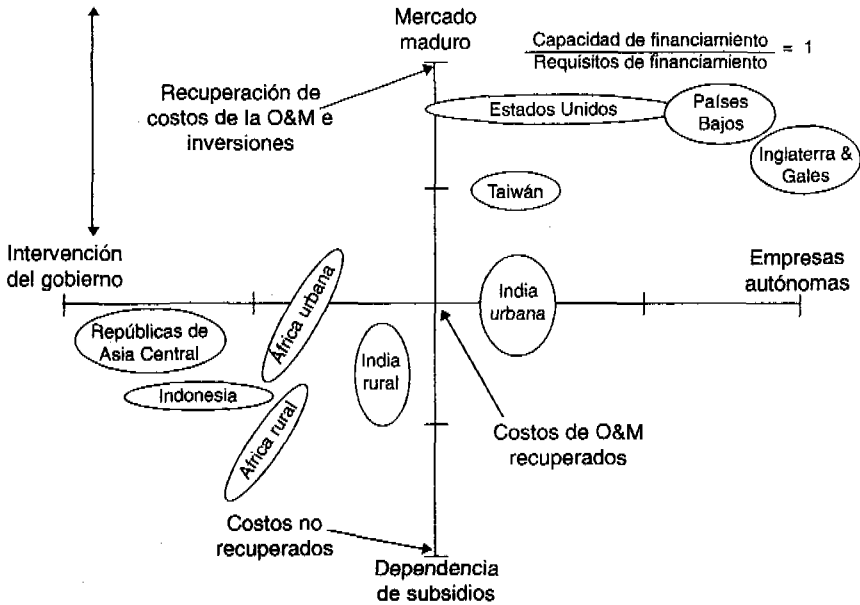
Si bien la finalidad de la flexibilidad en la reglamentación es otorgar responsabilidad y autonomía fuera del control directo del gobierno, el gobierno



nacional tiene una función importante en la formulación de políticas y monitoreo y, en particular, es responsable del funcionamiento de las organizaciones sectoriales. Por ello, las políticas de flexibilidad en la reglamentación deben ser compensadas por otro tipo de reglamentos. Los reglamentos típicos incluyen:

- El establecimiento de control mutuo entre las organizaciones al crear la competencia abierta, por ejemplo, mediante la licitación de todos los contratos del gobierno a empresas privadas y semi-gubernamentales.
- Control mutuo entre las organizaciones al crear entidades de vigilancia a fin de equilibrar el poder de una organización con el de otra, por ejemplo, al establecer una agencia de reglamentación potente y objetiva (como en Inglaterra y Gales luego de la privatización, véase la sección 8.5.1). Cualquiera sea la situación, se debe evitar que una organización ejecutiva se autorice y reglamente a sí misma (como sucedió con las autoridades del agua en Inglaterra y Gales en los años setenta, véase la sección 8.5.1) ya que esto crea conflictos de intereses internos.
- La garantía de que las entidades que se benefician con un mayor grado de autonomía sean más responsables ante sus clientes, sus accionistas (comúnmente el gobierno local) y ante el gobierno nacional en lo que se refiere al apoyo para alcanzar las metas nacionales.
- La prevención del monopolio y la formación de cárteles. La reciente legislación de la Unión Europea (UE) prohíbe la formación de cárteles y trata de deshacer los monopolios, incluidos los de los servicios de agua.

El grado de autonomía deseado para una organización se relaciona con la “madurez” del mercado, es decir, la voluntad de los consumidores para pagar por el servicio. La figura 8.2 señala las diversas relaciones institucionales con respecto al grado de autonomía en su sector de agua o aguas residuales y la madurez del mercado. Proporcionalmente, las organizaciones locales son más autónomas cuando el mercado es maduro y la demanda está más desarrollada. Sin embargo, Inglaterra y Gales tienen el mayor grado de autonomía porque sus organizaciones están privatizadas y operan como empresas independientes. Lo más probable es que la madurez y autonomía deban desarrollarse de manera coordinada y deban reforzarse mutuamente. Una organización que repentinamente deja de recibir subsidios regulares no tiene otra opción que educar a los consumidores. La autonomía se mide por la ausencia de interferencia política en una organización y no simplemente por su “nombre”; por ejemplo, los departamentos de las ciudades de Europa occidental pueden tener una autonomía de gestión más real que las empresas gubernamentales de los países en desarrollo.



**Figura 8.2** Relaciones entre las organizaciones nacionales del sector de agua como una función de su autonomía y el desarrollo del "mercado" de servicios de agua. Un mercado "maduro" implica que la voluntad de pago de los consumidores equilibre los requisitos financieros.

#### 8.4.4 Organizaciones capaces

Las organizaciones del sector solo pueden funcionar bien si se manejan apropiadamente. Esto implica que:

- La gerencia debe ofrecer liderazgo para asegurar que la organización y su personal tengan un criterio claro y compartido sobre su propósito y cómo será alcanzado.
- El personal debe ser adecuado y con la combinación apropiada de niveles de experiencia.
- El manejo del personal debe ser dinámico, debiéndose estimular la lealtad y minimizar el costo operativo.

Los instrumentos para lograr la capacidad incluyen medidas para el desarrollo de la carrera y una escala de salarios que motive al personal a mejorar su rendimiento, educación y capacitación (véase la sección 8.5.8), y consultoría en gerencia. En Francia se argumenta que el sistema de gerencia delegada (véase la sección 8.5.2) permite que los gobiernos municipales se concentren

en la formulación de políticas y tareas esenciales, mientras que el manejo técnico se delega a las organizaciones privadas que son más expertas y están mejor equipadas para esta finalidad.

Además, las instituciones sostenibles poseen la capacidad de monitorear críticamente la contribución general del subsector a las metas de la nación y de influenciar estas metas y lograr mejoras, por ejemplo, al introducir el valor de reemplazo económico de la calidad del agua y el ambiente a la planificación económica nacional, y al demostrar el valor económico del agua para el desarrollo económico sostenible. Estas instituciones poseen mecanismos internos que les permiten revisar su desempeño, la efectividad de las organizaciones separadas y las medidas institucionales. En condiciones ideales, se debe permitir que una organización opere en un entorno institucional de tal manera que, sin interferencia del gobierno, brinde un máximo desempeño, aprenda de los errores, mejore sus aspectos débiles y pueda identificar los requisitos futuros del sector y proponer nuevos esquemas institucionales (aun si ello implica abolir la organización y reemplazarla por otra).

## 8.5 Ejemplos de esquemas institucionales

### 8.5.1 Inglaterra y Gales

En años recientes, Inglaterra y Gales han pasado por cuatro fases de esquemas institucionales. Antes de 1972, la infraestructura del control de la contaminación del agua estuvo bajo la responsabilidad y fue propiedad de los departamentos del gobierno local y a menudo se combinaba con el subsector de abastecimiento de agua. Esto condujo a graves ineficiencias, ya que cada municipio tenía su propia planta pequeña de tratamiento y no había una masa crítica de experiencia técnica ni apoyo financiero. La reglamentación y manejo de la calidad del agua correspondía a las inspectorías y autoridades del río (una para cada una de las nueve cuencas principales).

Entre 1972 y 1982, se crearon nueve autoridades del agua y toda la *infraestructura, con excepción del alcantarillado local, les fue transferida para incrementar la escala de las organizaciones y para que cada autoridad asuma todas las funciones del manejo del agua.* Esto condujo a la fusión de muchos subsectores, incluidos el drenaje y el manejo de ríos y permitió que se unieran las funciones de reglamentación y ejecución; así se expandió su alcance (para más detalle véase Okun, 1977). Las organizaciones recién creadas resultaron muy grandes y dispersas, con conflictos de intereses internos e incapaces de generar inversiones suficientes para cumplir con los crecientes estándares de calidad ambiental.

Entre 1982 y 1989, las autoridades del agua tuvieron una orientación más gerencial tendiente a incrementar su eficiencia así como su efectividad. Además, estuvieron principalmente bajo la supervisión del ministerio nacional del ambiente. Se hicieron preparativos para la privatización. Después de 1989, el Gobierno vendió la infraestructura de abastecimiento de agua y aguas residuales de las autoridades del agua a inversionistas públicos y privados. Estas empresas privadas siguen operando en las mismas cuencas del río. Una de sus tareas principales es generar finanzas para la ampliación y modernización de la infraestructura que debieron hacerse tiempo atrás y que permitirán cumplir con las estrictas directivas ambientales de la Unión Europea. Como resultado, las tarifas han aumentado. Las funciones reglamentarias y de manejo de la calidad del agua fueron adoptadas por la Autoridad Nacional de Ríos (ANR), que también se encarga del manejo de ríos y las inspectorías del ambiente y la salud. Las empresas están autorizadas a operar como monopolios dentro de su región y, por ello, se creó la nueva Office of Water (Ofwat) (Oficina del Agua) para reglamentar las finanzas (bajo el Ministerio del Ambiente) a fin de asegurar que las empresas de agua cumplan con la política del gobierno y que no exploten su posición de monopolio a expensas de los ciudadanos o las naciones. El éxito de este esquema es un asunto que se debate continuamente.

En 1996 la función reglamentaria de la calidad del agua de la ANR se fusionó con las funciones reglamentarias de las inspectorías de la calidad del aire y suelo para crear un organismo de protección ambiental al estilo estadounidense (conocido como la Agencia Ambiental).

### **8.5.2 Francia**

En 1982, la estructura estatal francesa se alteró fundamentalmente por una ley descentralizada que delegó parte sustancial del gobierno central al gobierno local. Tradicionalmente, Francia estaba firmemente centralizada, pero con esa ley se atribuyó mayor responsabilidad a los municipios por la planificación y financiación de la infraestructura. Además, el desarrollo económico y manejo del agua requirieron un nuevo enfoque regional con mayor integración entre sectores. Así, la nueva ley permitió que los municipios y departamentos (condados) desarrollaran instituciones apropiadas.

La recolección y tratamiento de aguas residuales es responsabilidad de los municipios que comúnmente forman empresas conjuntas (entre comunidades) para ejecutar esta tarea. Sin embargo, en la mayoría de casos, el manejo real (operación, mantenimiento y recuperación de costos) se delega a las empresas privadas. Cinco de estas empresas operan en Francia y compiten entre sí para el otorgamiento de contratos o, por ejemplo, para la operación y mantenimiento

en el nivel nacional. Estos contratos son muy específicos y consideran lo que el municipio desea que el contratista logre en un período determinado (5 a 20 años) y los parámetros de desempeño asociados. Se acuerda un precio del agua, a partir del cual el contratista tiene que recuperar los costos y pagar una tarifa de arrendamiento al municipio. El contratista puede administrar la infraestructura perteneciente al municipio (contrato de arrendamiento) o también puede financiar la inversión que luego revierte en la propiedad municipal (concesión) (Lorrain, 1995). El manejo y reglamentación de la calidad del agua está a cargo de las Agences de Bassin (Juntas de Cuencas) encargadas de la planificación, recolección de pagos por la extracción y contaminación de los recursos hídricos y también provee subsidios al gobierno local para la infraestructura del alcantarillado (Chéret, 1993). Los estándares de calidad son desarrollados por el Ministerio del Ambiente.

### 8.5.3 Alemania

En Alemania, el manejo de aguas residuales es responsabilidad de los municipios. Si son demasiado pequeños para manejar la complejidad financiera y técnica de esta tarea, los municipios forman Verbände (empresas autónomas conjuntas entre municipios) o, en el caso de ciudades, los diversos servicios se amalgaman en una Stadtwerke (empresa de la ciudad) y abarcan el abastecimiento de agua, distribución de energía, calefacción, (a menudo) alcantarillado y tratamiento de aguas residuales y, aún más importante, el transporte público. Los municipios son propietarios de las acciones de estas empresas. La administración tiene un alto grado de autonomía, si bien las decisiones críticas necesitan aprobación de la junta, en la cual los representantes de las empresas municipales tienen la mayoría. Las ganancias de la empresa están sujetas a tributación. Sin embargo, como a menudo el transporte y alcantarillado pierden dinero, mientras que la distribución de energía y abastecimiento de agua generalmente producen un beneficio, la ganancia neta es cero y se evita la tributación.

Según la topografía y carga de contaminación local, pueden crearse empresas conjuntas basadas en las cuencas para manejar el agua y aguas residuales, incluida la operación de plantas de tratamiento. El Emscher Genossenschaft (Asociación de Tratamiento para el Río Ems) en el corazón industrial de la región de Ruhr, tiene un esquema inusual: los municipios locales (en proporción con su población), industrias y otros socios forman un "Parlamento del Agua" completamente autónomo. La función de este "Parlamento del Agua" es recolectar las aguas residuales domésticas y parte de las industriales en la cuenca y después del pre-tratamiento, las trata en forma centralizada cerca de la

desembocadura del Ems en el Rin. Este esquema ha operado durante casi un siglo, si bien actualmente se considera que la calidad ambiental está más protegida si se hace un tratamiento descentralizado especializado. La reglamentación y parte del manejo de la calidad del agua están a cargo del Departamento Ambiental de Estado y del Ministerio Federal del Ambiente.

#### **8.5.4 Países Bajos**

Tradicionalmente, los Países Bajos han estado muy influenciados por la necesidad de proteger sus tierras bajas de inundaciones del mar o grandes ríos (Rin, Meuse y Scheldt). Se necesita infraestructura para proteger de las inundaciones a setenta por ciento del territorio y las grandes áreas de pólderes requieren drenaje continuo y un manejo cuidadoso del agua. Las juntas de pólder operan desde el siglo doce. Éstas eran inusuales, ya que representaban una línea separada del gobierno local; los consejos de estas juntas estaban, y aún están, compuestos por representantes que tienen un interés comercial o residencial dentro de los confines del área más antigua del pólder y son elegidos por balotas. A cambio, todos estos grupos pagan una contribución sustancial para el mantenimiento de los diques y manejo del agua. Después de los años cincuenta, la tarea del manejo de la calidad del agua y de las aguas residuales, con pocas excepciones, se convirtió en una nueva función de las recién nombradas juntas del agua. El alcantarillado local continuó siendo responsabilidad de los departamentos técnicos de los municipios. Las juntas cubren un área que representan la mitad de una provincia, generalmente con medio millón de habitantes. Recientemente, se ha iniciado un movimiento para incrementar la escala (fusión) a fin de unir experiencia técnica y recursos financieros y permitir un enfoque más integrado para todo el sistema de agua (es decir, canales y lagos interrelacionados).

Las juntas de agua actuales no son propiedad del gobierno local ni nacional, más bien han acumulado sus propios recursos financieros y han consolidado su posición institucional. Todas las unidades contaminantes en el país (viviendas, industrias y granjas) pagan una tarifa por la recolección y tratamiento de aguas residuales que se incluye en el recibo de abastecimiento de agua y permite la recuperación completa de costos de toda la infraestructura de aguas residuales. Las juntas también actúan como gerentes de la calidad del agua y, como tales, se reportan al Ministerio de Transporte y Manejo del Agua. Los reglamentos los emite este ministerio, así como el Ministerio del Ambiente.

### 8.5.5 Bélgica, Flandes

Desde 1986 Bélgica es un país federal. Flandes está en la región del norte y consta de cinco provincias con aproximadamente cinco millones de habitantes. A principios de los años cincuenta, se adoptó una ley integral de control de la contaminación que responsabilizaba a los municipios por el tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, si bien la mayoría de industrias instalaron gradualmente plantas de tratamiento, redujeron su carga contaminante o cerraron, la mayoría de las aguas residuales domésticas no fueron tratadas debido a la falta de mecanismos institucionales para hacer que los municipios cooperen y por la carencia de medios financieros y voluntad política. En los años setenta, las autoridades nacionales y provinciales establecieron dos organizaciones gubernamentales regionales para combinar el manejo de la calidad del agua y el manejo de aguas residuales. Este intento solo llegó a producir una pequeña proporción de las inversiones necesarias, en parte, porque el país en su totalidad estaba en reorganización (con transferencia de poder a las regiones) y en parte porque los organismos del gobierno no podían generar las finanzas necesarias. En 1989, las dos entidades se reorganizaron en una entidad de inversión autónoma "mixta", conocida como Aquafin, donde coopera el gobierno regional (responsable de 51 por ciento) y un socio privado, y en una corporación regional de aguas residuales (que después de 1992 se convirtió en el Flemish Environmental Agency) para el manejo de la calidad del agua y operación de la infraestructura. El socio es una de las empresas privadas de agua de Inglaterra que contribuye con experiencia técnica y financiera sustancial que luego se retribuye con el pago de tarifas. Los ministerios nacionales y regionales del ambiente se encargan de la reglamentación.

### 8.5.6 India

La India debe tratar simultáneamente las condiciones sanitarias deficientes de las zonas rurales pobres y urbano marginales con las regiones industrializadas y urbanizadas. La figura 8.3 muestra la asignación de responsabilidades entre diferentes instituciones.

La reglamentación y establecimiento de estándares han logrado un gran progreso y pueden considerarse bien organizados. Las juntas centrales y estatales de control de la contaminación funcionaban durante los años sesenta. En los años setenta se estableció un sistema básico integral de estándares de calidad del agua (MINimal NATional Standards - MINAS) que, entre otras cosas, especifica los estándares de calidad de acuerdo con los diversos usos concebidos del agua y establece estándares específicos para la descarga de cada sector industrial. Estas juntas también reglamentan la calidad del aire y suelo y

	Reglamentación	Planificación integrada	Construcción	Operación de la recuperación de costos
Rural y periurbano			Corporac./Junta de agua	Corporac./Junta de Gobierno local
Urbano	JCC, JCCC del Estado	Ministerio de Consr. Urb. Ministerio de Recursos Hídricos	Corporac./Junta de agua	Gobierno local
Industrial	JCC, JCCC del Estado		Industria	Industria

**Figura 8.3** Típica asignación de responsabilidades para el saneamiento y manejo de aguas residuales entre organizaciones de la India. El área sombreada indica efectividad comparativamente débil debido a la inadecuada definición de responsabilidades e inapropiada y capacidad organizacional. JCC: Junta de Control de la Contaminación; JCCC: Junta Central de Control de la Contaminación.

monitorean las tendencias de calidad. Las juntas han obligado a las grandes fábricas a que instalen tratamiento primario o más avanzado, si bien no asumen responsabilidad por la ejecución de los programas de tratamiento. Su efectividad puede atribuirse, en parte, a la clara demarcación de sus tareas, a su tamaño relativamente pequeño y alto grado de profesionalismo que facilitan su manejo.

En las grandes ciudades, tales como Nueva Delhi, Bombay, Madrás y Calcuta, los organismos o empresas estatales se encargan del drenaje, alcantarillado, saneamiento y tratamiento de aguas residuales. En el resto del territorio, esta responsabilidad recae sobre las juntas de agua o corporaciones estatales del agua, tales como el Jal Nigam en Uttar Pradesh y el Panchayat Raj Engineering Department en Andra Pradesh. Sin embargo, estas organizaciones estatales se estructuran y equipan principalmente para desarrollar y ejecutar nuevos esquemas de construcción. Una vez construida la infraestructura de abastecimiento de agua y alcantarillado para los pueblos más grandes, se entregan al gobierno local para la O&M (se asume que el gobierno local también se encarga de la recuperación de costos). En las zonas rurales, los organismos estatales son responsables de la O&M.

La implementación ha resultado ser más difícil que la reglamentación. Las juntas y corporaciones estatales fueron efectivas en la planificación y construcción de la infraestructura de abastecimiento de agua y drenaje, pero los resultados estuvieron por debajo de las expectativas en cuanto a la



recolección y tratamiento de aguas residuales urbanas y la sostenibilidad del abastecimiento de agua y saneamiento en las comunidades rurales. Una razón clave para la primera deficiencia es la poca capacidad tecnológica y el débil manejo del gobierno local, especialmente la capacidad para recuperar los (altos) costos de la población urbana. Las corporaciones locales para el abastecimiento de agua y aguas residuales tienen una base financiera débil, manejo deficiente de personal y sufren de continua interferencia política. En la mayoría de ciudades y pueblos existe una continua crisis administrativa. En las zonas rurales, estas juntas y corporaciones carecen de estrategias para comunicarse con las comunidades locales, decidir el nivel de servicio que las comunidades están dispuestas a pagar, incluirlas en la planificación del esquema y, lo que es aún más importante, no tienen capacidad para organizarlas ni concientizarlas para que sean responsables de parte del manejo y recolección local de las tarifas. Algunas juntas estatales están experimentando esquemas para delegar más poder al nivel distrital.

El gobierno de la India ha seguido un camino alternativo para poder superar los puntos institucionales débiles. En 1986, el entonces primer ministro, Rajiv Gandhi, lanzó un programa separado de alto perfil dedicado a “limpiar el sagrado río Ganges” que incluía la construcción de numerosas plantas de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales en la cuenca del río (véase el estudio de caso 1). A lo largo de esta iniciativa se desarrollaron varios programas integrados de saneamiento urbano con infraestructura de alcantarillado y abastecimiento de agua y asesoría de los organismos gubernamentales a la industria para orientarlos sobre las opciones de minimización de residuos y prevenir descargas en cuerpos receptores de agua. Este Plan de Acción del Ganges (PAG) tiene un período limitado y es financiado y manejado de manera centralizada por una dirección especial del proyecto en el Ministerio del Ambiente y Bosques, si bien es ejecutado por las autoridades locales y estatales. Uno de sus componentes, en una de las ciudades más grandes y pobladas de la India, Kanpur, incluye un programa intensivo de desarrollo institucional. El éxito del PAG condujo en 1993 al desarrollo de planes de acción en Yamuna y Gumti y se extenderá al Plan Nacional de Acción de Ríos (véase el estudio de caso 1). Se sostiene que la recuperación de costos de la operación y mantenimiento es completa, aunque estas cifras a menudo esconden una subestimación de los costos reales para reparaciones importantes, almacenamiento de repuestos y la remuneración adecuada del personal capacitado. Se están elaborando planes para mejorar la recuperación de costos y al mismo tiempo se destinan más fondos para mejorar la O&M (recuadro 8.2).

**Recuadro 8.2** Recuperación de costos y operación y mantenimiento

Las organizaciones débiles pueden recuperar parte de sus costos, pero por razones políticas tal vez no resistan la tentación de usar los fondos para otros fines. El único escape de la trampa de "O&M deficiente-recuperación de costos deficiente" es mejorar el servicio gradualmente al mejorar la O&M de la red por partes. Así se brinda un mejor servicio y se obtienen más ingresos que pueden reinvertirse exclusivamente en la mejora adicional de la O&M. Para asegurar la sostenibilidad institucional de la gran infraestructura de aguas residuales planificada para la ciudad de Kanpur (Uttar Pradesh), se creó un programa en etapas con metas establecidas (Anon, 1993). Actualmente, la infraestructura sufre de un mantenimiento deficiente y bajos estándares técnicos y debido a los niveles bajos de servicio y frecuentes deterioros, los consumidores están insatisfechos y renuentes a pagar las tarifas. La corporación de la ciudad carece de capacidad profesional, a pesar de estar saturada de personal y estar muy politizada. El programa para la ciudad de Kanpur comprende cinco pasos para mejorar gradualmente la eficiencia operativa y la satisfacción del consumidor y, en consecuencia, la recuperación de costos (véase el cuadro a continuación). El incremento financiero permitirá mejorar aún más la calidad del servicio.

Etapa	Metas	Tiempo previsto
1	O&M subestándar con prestación deficiente de servicios básicos. Recuperación parcial de costos de O&M y subsidio estatal significativo. El Estado paga la inversión y O&M del tratamiento de aguas residuales.	Presente
2	O&M subestándar pero con mejoras en la prestación de servicios (abastecimiento de agua y alcantarillado) a un área objetivo. Recuperación total de costos para la O&M. El Estado paga por el tratamiento de aguas residuales.	Factible a corto plazo: 3 a 5 años
3	Mejora sistemática en la O&M con mejor prestación de servicios básicos. Recuperación total de costos de la O&M. El estado paga por el tratamiento de aguas residuales.	Factible a mediano plazo: 4 a 10 años
4	Como en la etapa 3. Los insumos están parcial a completamente depreciados y se ha cubierto la deuda de la inversión. El estado paga por el tratamiento de aguas residuales.	Factible a largo plazo: 8 a 15 años
5	Como en la etapa 3. Depreciación completa de todos los bienes y pago de las deudas, incluidos los gastos en estaciones de bombeo y tratamiento de aguas residuales.	No factible en un futuro previsible; subsidiado por el gobierno central.

El hecho de que la recuperación local total de costos del tratamiento de aguas residuales no sea factible en el futuro previsible no es sorprendente, ya que en algunos países de altos ingresos de Europa occidental esta costosa infraestructura aún es subsidiada con fondos del gobierno central.

Entretanto, el saneamiento in situ tiene poca prioridad en los departamentos de desarrollo urbano y la comprensión del manejo de agua y de las comunidades sigue siendo deficiente. No obstante, están ejecutando varias iniciativas prometedoras que incluyen a las comunidades urbanas locales en las etapas de planificación y operación. Además, la contratación de empresas privadas y organizaciones no gubernamentales (ONG) para la instalación y operación de bloques con lavatorios y baños está teniendo un éxito relativo.

### **8.5.7 Corea del Sur: instituciones para el manejo sostenible**

Entre 1985 y 1986, Corea del Sur experimentó cambios rápidos en sus esquemas institucionales, incentivados por el rápido desarrollo económico del país y la presión asociada con la contaminación. Además, el país tiene pocos recursos de agua dulce y los usa intensivamente. El proceso de desarrollo condujo a una mayor escala y ámbito de las organizaciones encargadas del control de la contaminación del agua y requirió un concepto integral del manejo del agua.

En 1985, la recolección y tratamiento de aguas residuales eran responsabilidades exclusivas de los municipios. Éstos se enfrentaron con la necesidad de realizar inversiones mayores. El enfoque característico subsectorial (con una visión limitada de la sostenibilidad a largo plazo) de ese momento se manifiesta, por ejemplo, en el diseño hidráulico de las obras de alcantarillado. Estos se basaban en un incremento lineal proyectado del consumo de agua de 100 a 440 litros per cápita por día. Sin embargo, no se reconocía que los recursos hídricos disponibles no podrían mantener ese nivel de consumo en un futuro cercano. De igual manera, las obras de tratamiento subsiguientes serían tan costosas que, en el mejor de los casos, solo sería posible el tratamiento secundario de aguas residuales, seguido de la descarga en aguas costeras (ya que la mayoría de ciudades están cerca de la costa). Sin embargo, los ecosistemas costeros que permiten la cosecha de algas marinas (actividad económica importante) se verían muy afectados por los efluentes ricos en nutrientes de las plantas de tratamiento secundario.

En 1990 se desarrolló un programa nacional para la mejora del agua en el nivel nacional a fin de integrar la planificación y manejo del agua y aguas residuales de manera más efectiva. En 1992, el Ministerio de Obras Públicas, en coordinación con otros ministerios, elaboró planes maestros para la calidad del agua de captaciones específicas en las regiones. Los planes trataron de evitar pérdidas de recursos y minimizar gastos. Esta planificación regional y co-financiación de obras de infraestructura son administradas por las autoridades de captación que dirigen y complementan las iniciativas municipales. En consecuencia, desde 1994, las ciudades de Kwangju y Seúl contemplaron la

aplicación de lineamientos de diseño hidráulico más modestos, el reúso total de aguas residuales en la agricultura, la prevención de cualquier disposición de nutrientes en las aguas costeras y menores inversiones en la infraestructura de aguas residuales.

### **8.5.8 Sri Lanka: cambio de una organización**

Entre 1985 y 1991, la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) apoyó el desarrollo de un programa institucional importante con la Junta para el Abastecimiento de Agua y Drenaje (NWSDB) (Edwards, 1988; Wickremage, 1991). Esta junta funcionaba razonablemente bien en términos de construcción de nuevos esquemas, pero su desempeño era menos que satisfactorio en cuanto a operación y viabilidad financiera. En 1983, por ejemplo, la recolección de tarifas cubría solo 12 por ciento de los costos de O&M. El problema básico con la NWSDB era que no había podido ajustarse a las diferencias significativas causadas por el cambio de un departamento del gobierno a una empresa pública. La nueva función exigía dar mayor atención a la O&M y a los usuarios, en lugar de los proyectos de capital. Las deficiencias incluían la falta de compromiso con la viabilidad financiera, carencia de disciplina en el presupuesto, ausencia de planificación institucional, poca atención a las comunidades y usuarios y, acatamiento a las presiones políticas. Estas deficiencias no podían superarse sin un cambio de actitud en el personal apoyado por la adquisición de nuevas aptitudes y procedimientos de organización. Los objetivos principales del programa de desarrollo institucional fueron:

- Descentralización del manejo a las oficinas regionales para estar más cerca de los consumidores.
- Cambio de actitudes y estructura organizacional para que la O&M sea la responsabilidad más importante de la NWSDB.
- Cooperación cercana con el Ministerio de Salud, ONG y comunidades para brindar apoyo coordinado a los programas de salud pública.

El proceso consistió en consultorías, sesiones de capacitación práctica y formal, análisis organizacional y cambios en la organización y procedimientos administrativos. Al hacer esto, se creó en el personal un mayor sentido de "propiedad". Los cambios más notables fueron la descentralización de responsabilidades financieras (incluido el establecimiento de un sistema de contabilidad y de información gerencial), desarrollo de habilidades administrativas, planificación institucional (se estableció una división de planificación institucional), viabilidad financiera (se reformó el sistema de tarifas y se mejoró la eficiencia de recolección), desarrollo de recursos humanos (especialmente en aptitudes básicas de administración y contabilidad y

programas de capacitación en el extranjero) y participación comunitaria. También se revisó la estructura de incentivos para los ingenieros.

A un costo de US\$ 14 millones, toda la organización se reestructuró en seis años. Después del programa, el desempeño de la NWSDB mejoró notablemente desde todos los puntos de vista y mostró un alto grado de compromiso con los servicios públicos de agua y salud. Aún más importante, actualmente su sistema de gestión asegura una “sostenibilidad institucional”.

### **8.6 Creación de la capacidad**

La creación de la capacidad en el sector de agua es un nuevo concepto que se basa en tres premisas (Alaerts y Hartvelt, 1996):

- El agua es un recurso finito, por el cual compiten numerosos usuarios, en particular quienes descargan residuos (y reducen la utilidad del agua).
- El agua es esencial para una economía saludable así como para el ambiente y, por ello, es un recurso que debe manejarse de manera sostenible.
- La debilidad del sector se debe más a factores institucionales que técnicos.

Por ello, la creación de la capacidad implica una visión integral del sector, analiza sus características físicas e institucionales en detalle, define oportunidades y limitaciones claves para el desarrollo sostenible, y luego selecciona un conjunto de programas de acción a corto y largo plazo. Muy a menudo, el sector de agua funciona mal debido a esquemas institucionales inapropiados o rígidos. Si pueden mejorarse, se eliminan las limitaciones estructurales. El agua es un recurso finito, por ello, es necesario el manejo de la demanda en lugar de la creación de fuentes, ya que cualquier suministro adicional a partir de una nueva fuente inmediatamente generará más usuarios y con ello, mayor demanda, lo que no resulta sostenible.

Los países deben crear “capacidades” para alcanzar la meta del buen desarrollo del sector, para que sea efectivo en la prestación de servicios, eficiente en el uso de recursos y sostenible. A través de la Declaración de Delft, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) estableció las siguientes definiciones de los objetivos de la creación de la capacidad aplicables al sector de agua (Alaerts y otros, 1991):

- Creación de un entorno favorable con política y marco legal apropiados.
- Desarrollo institucional, incluida la participación comunitaria.
- Desarrollo de recursos humanos y fortalecimiento de los sistemas gerenciales.

La experiencia, especialmente en países en desarrollo y en economías en transición, indica que las tareas principales que se deben realizar se pueden formular del siguiente modo:

- El establecimiento de precios, recuperación de costos y el cumplimiento de las reglas son más difíciles de implementar que la reglamentación (de la calidad del agua, por ejemplo), por ello, las estrategias para lograrlo merecen prioridad.
  - Muchas ineficiencias pueden mejorarse al asignar responsabilidades apropiadas y al examinar regularmente el desempeño de los esquemas. Esto permitirá que las organizaciones estén más alertas y orientadas hacia la meta.
  - En países de altos y bajos ingresos, las organizaciones deben estar orientadas hacia los consumidores de sus “servicios ambientales”. En particular, en los países de bajos ingresos, los ingenieros deben estar dispuestos y capacitados para cooperar con la comunidad en la O&M y la recuperación de costos.
  - Las organizaciones deben desarrollar el perfil de experiencia apropiado.
- Para la creación de la capacidad se puede aplicar los siguientes instrumentos:
- Asistencia técnica para el análisis del sector y desarrollo del programa. Desde 1992, el PNUD ha desarrollado “evaluaciones del sector de agua” que analizan de manera integral los sectores nacionales de agua y desarrollan un programa de acción prioritario. Otros organismos, tales como el Banco Mundial y los bancos europeos y asiáticos de desarrollo, también están involucrados en tareas similares. Estos análisis necesitan ser realizados por un equipo interdisciplinario.
  - Asistencia técnica para el cambio institucional. La experiencia diferirá de acuerdo con la institución y puede relacionarse con la política, estructuras micro o macro económicas, sistemas de manejo y esquemas administrativos.
  - La capacitación para el cambio en diferentes niveles, incluidos los responsables de adoptar decisiones, personal ejecutivo e ingenieros con tareas gerenciales, personal de apoyo e ingenieros que ejecutan los programas, técnicos, operadores y otras partes interesadas (como comuneros locales que operan o manejan sus propios sistemas).
  - Educación de futuros expertos que tendrán una influencia en el sector. Esto abarca las ciencias físicas, las disciplinas tecnológicas, así como el manejo financiero y administrativo y las ciencias del comportamiento. El subsector de control de la contaminación del agua es tan complejo y se desarrolla tan rápidamente que en los países en desarrollo solo se encuentra disponible 10 por ciento de la experiencia técnica necesaria (como graduados universitarios). Muchos graduados no están preparados adecuadamente para estas tareas en su país (Alaerts, 1991).

## 8.7 Conclusiones

El control de la contaminación del agua comprende cuatro funciones principales: manejo de la calidad del agua, reglamentación y establecimiento de estándares, saneamiento in situ y recolección y tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. Cada función necesita un esquema institucional apropiado para que todo el subsector trabaje efectivamente. En muchos casos, la función de reglamentación ha resultado ser una parte comparativamente fácil de la tarea general.

Los esquemas institucionales para el control de la contaminación del agua a menudo difieren, pero no siempre, de los de abastecimiento de agua. El esquema "óptimo" depende del ambiente político e institucional, la política económica, las funciones y valores del agua en el país, la topografía, hidrogeología local y el ambiente natural.

Existen muchos tipos de esquemas que podrían cumplir con los requisitos necesarios. No existe un tipo "ideal" que pudiera prescribirse a cualquier país y en cualquier momento. Un prerrequisito es que exista un balance apropiado entre las responsabilidades y estructuras organizacionales y el ambiente institucional. Según las condiciones locales, las organizaciones preferidas pueden tener una determinada escala y alcance. Sin embargo, generalmente el control de la contaminación del agua requiere una relación con el manejo del agua y, en consecuencia, una gran escala (10 a 100 km de una cuenca fluvial o de drenaje o un grupo de municipios). Usualmente, una sola municipalidad no puede generar la visión, financiamiento y conocimientos técnicos requeridos. Cuando hay posibilidad de mejorar las funciones específicas, se recomienda la fusión con otros subsectores o servicios.

Debido a que la infraestructura de aguas residuales es tan costosa, la generación de finanzas es una consideración clave para la inversión y para la operación y mantenimiento. Consecuentemente, se deben diseñar instituciones para permitir la recuperación de costos. Esto exige la participación de los niveles administrativos más bajos en la toma de decisiones y en la operación y mantenimiento, es decir, se necesita estar más cerca del consumidor y del ciudadano.

Para que las organizaciones sean flexibles, orientadas hacia el rendimiento y rentables, se requiere un alto grado de autonomía. Para ello, el esquema de dominio y control convencional debe reemplazarse por medidas que aseguren la autorreglamentación. Esto puede incluir esquemas para la competencia (para contratos de servicio, por ejemplo), la prevención o control de monopolios, y evitar que las organizaciones ejecutivas se reglamenten a sí mismas. La delegación administrativa y la privatización pueden ser componentes útiles en

una estrategia de flexibilidad en la reglamentación. Sin embargo, el entorno institucional debe desarrollarse por igual para asegurar el control adecuado de los socios privados y evitar la formación de monopolios y cárteles.

## 8.8 Referencias

- Alaerts, G.J. 1991 Training and education for capacity building in the water sector. En: G.J. Alaerts, T.L. Blair y F.J.A. Hartvelt [Eds] *A Strategy for Water Sector Capacity Building*. IHE Report 14. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Nueva York, International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, Delft.
- Alaerts, G.J., Blair T.L. y Hartvelt F.J.A. [Eds] 1991 *A Strategy for Water Sector Capacity Building*. IHE Report 14. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Nueva York, International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, Delft.
- Alaerts, G. y Hartvelt F.J.A. 1996 *Water Sector Capacity Building — Models and Instruments*. Capacity Building Monographs. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Nueva York.
- Anon. 1993 *Programme Support for the Ganga Action Plan in Kanpur*. DGIS-Ministry of International Cooperation, La Haya y el Ministry of Environment and Forests, Nueva Delhi.
- Banco Mundial 1993 *Water Resources Management. Policy Paper*. BIRF/Banco Mundial, Washington, D.C.
- Chéret, I. 1993 Managing water: the French model. En: I. Serageldin y A. Steer [Eds] *Valuing The Environment*. Banco Mundial, Washington, D.C.
- de Capitani A. y North D.C. 1994 *Institutional Development in Third World Countries: The Role of the World Bank*. HRO Working Papers 42. Banco Mundial, Washington, D.C.
- Edwards D.B. 1988 *Managing Institutional Development Projects: Water and Sanitation Sector*. WASH Water and Sanitation for Health Project, Technical Report 49, Washington, D.C.
- ICWE (International Conference on Water and the Environment) 1992 *The Dublin Statement and Report of the Conference*, World Meteorological Organization, Ginebra.
- Israel, A. 1987 *Institutional Development*. Johns Hopkins University Press Baltimore.
- Lorrain, D. [Ed.] 1995 *Gestions Urbaines de l'Eau*. Ed. Economica, París.
- Okun, D.A. *Regionalization of Water Management — A Revolution in England and Wales*. Applied Science Publishers, Londres.



- Uphoff, N. 1986 *Local Institutional Development: An Analytical Sourcebook with Cases*. Kumarian Press, West Hartford.
- Wickremage, M. 1991 Organisational Development — A Sri Lankan Experience. En: G.J. Alaerts, T.L. Blair y F.J.A. Hartvelt [Eds) *A Strategy for Water Sector Capacity Building*. IHE Report 14. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Nueva York e International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, Delft.



## Capítulo 9\*

### SISTEMAS DE INFORMACIÓN

#### 9.1 Introducción

Es evidente que en el último decenio de esta era de la información hay un cambio en la manera de concebir el papel que desempeñan el monitoreo y la información. En el pasado, el monitoreo se basaba en el ideal científico de buscar el conocimiento. Por ello, especialmente en países avanzados, el monitoreo se vincula implícitamente con la investigación científica. En todo el mundo existe una falla sistemática al establecer objetivos significativos en los programas de monitoreo de la calidad del agua. Además, se reconoce que muchos países occidentales sufren del síndrome “ricos en datos, pero pobres en información”. Las organizaciones responsables reconocen que han compilado muchos datos, pero no pueden responder las preguntas básicas de quienes usan el agua. En consecuencia, en muchos países, los programas de recopilación de datos se consideran prescindibles y son reducidos o incluso eliminados porque no hay un criterio claro del producto de información que se requiere ni de la eficiencia del costo del monitoreo (Ward *y otros*, 1986; Ongley, 1995; Ward, 1995a). Actualmente, existe consenso en que la información debe estar enfocada hacia la acción, la toma de decisiones y el uso. Los datos que no conducen a una acción de la administración o que no tienen un uso explícito se les denomina “innecesarios” (Adriaanse *y otros*, 1995).

Independientemente de la finalidad del monitoreo del agua, la pregunta que aparece constantemente en todas las discusiones sobre el diseño de sistemas de monitoreo es ¿cómo puede ser el monitoreo más eficiente en cuanto a costos? (Adriaanse *y otros*, 1995). Los temas característicos que se abordarán son, por ejemplo (Ongley, 1995): ¿una mejora de 10 por ciento en la exactitud de los datos amerita el incremento de 30 a 40 por ciento del costo del programa de recopilación de datos y en realidad cambiaría o mejoraría las decisiones de la gestión? ¿Puede tomarse 90 por ciento de las decisiones de manejo con solo 50 por ciento de los datos existentes del programa?

\* *Este capítulo fue preparado por M. Adriaanse y P. Lindgaard-Jørgensen*

**Cuadro 9.1** Diferentes categorías de usos de los recursos hídricos

Categoría	Principales usos
Categoría 1: Usos sin normas de calidad	Sistema de transporte (agua, aguas residuales, embarque) Extracción de minerales (arena, grava, gas natural, aceite) Generación de energía (centrales hidroeléctricas)
Categoría 2: Usos con normas definidas de calidad	Proceso/enfriamiento del agua en la industria Riego en la agricultura Pesquería Recreación y turismo Abastecimiento de agua
Categoría 3: Uso con calidad estable	Funcionamiento del ecosistema

Fuente: Dogterom y Buijs, 1995

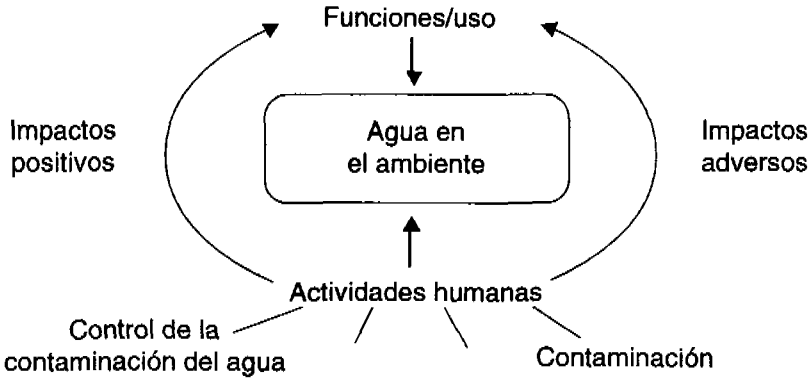
En general, la información es la base para cualquier gestión y control. Las actividades de manejo del agua no se excluyen de esta afirmación general. Las medidas de manejo que no están basadas en información adecuada y confiable resultan insustanciales. Por consiguiente, se requiere información eficaz apropiada para cada uso, consecuentemente, el desarrollo de sistemas eficaces de información está recibiendo mayor énfasis. Usualmente, los programas de monitoreo se “hacen a la medida”.

## 9.2 La importancia de la integración

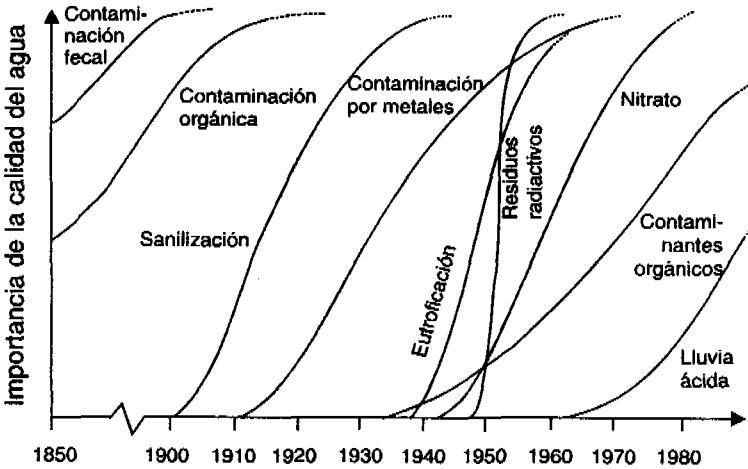
Las necesidades de información para el control de la contaminación del agua sólo pueden definirse a partir del contexto general del manejo de los recursos hídricos. Al considerar las diversas influencias y aspectos incluidos hoy en día en el manejo de los recursos hídricos, es posible identificar algunas necesidades fundamentales de información. A continuación se destaca brevemente algunos aspectos relevantes del manejo de los recursos hídricos.

### *Funciones y uso*

De los marcos existentes de política, convenciones internacionales y regionales, así como de los planes de acción estratégica para cuencas de ríos y mares se pueden identificar diversas funciones y usos de los cursos de agua, ya sea con relación a las actividades humanas o el funcionamiento ecológico (cuadro 9.1), (Dogterom y Buijs, 1995). Estos usos determinan diversos requerimientos para la calidad del agua. Los usos pueden competir o incluso entrar en conflicto, especialmente en situaciones de escasez y deterioro de la calidad del agua.



**Figura 9.1** Interacciones entre las actividades humanas y las funciones y usos de los recursos hídricos



**Figura 9.2** Secuencia de los aspectos de la calidad del agua en los países industrializados (Meybeck y Helmer, 1989)

Además, las funciones y usos pueden verse afectados tanto en forma positiva como negativa por las actividades humanas (figura 9.1). Los aspectos de la calidad química del agua que han suscitado conflictos entre los usos de agua en los países industrializados se resumen en la figura 9.2.

### *Enfoque multifuncional*

Un enfoque integral trata de encontrar el equilibrio entre todos los usos deseados, incluido el funcionamiento de los ecosistemas. Un enfoque multifuncional permite que se establezca una jerarquía en los usos, mayor flexibilidad en la aplicación de las políticas de manejo de los recursos hídricos en diferentes niveles del desarrollo y la asignación oportuna de prioridades. Esto podría ser importante para aquellos países donde las necesidades básicas, como el suministro del agua potable segura, son tan urgentes que los otros usos pasan a un segundo plano o para los países donde los recursos hídricos se han deteriorado a tal grado que los usos que requieren calidad del agua más estricta sólo pueden restaurarse gradualmente durante un largo período y según prioridades (Niederlander y otros, 1995; Ongley, 1995).

El concepto del manejo integral del agua se adoptó ampliamente en los años ochenta y como resultado, las funciones y usos de los cuerpos de agua, sus problemas y amenazas y los efectos de las medidas del manejo del agua, así como las necesidades de información para administrar esta complejidad, son considerados cada vez más con mayor frecuencia en el contexto del ecosistema. Actualmente, el enfoque se centra en el comportamiento del agua en el ambiente. En vez de dividir el ambiente en partes manejables, los administradores están dejando sus disciplinas restringidas y tradicionales y están tomando una perspectiva más amplia del manejo de la calidad del agua y el monitoreo como un sistema (Ward, 1995b).

### *Diversas disciplinas*

Se requiere el conocimiento de diversas disciplinas porque las funciones y usos de los recursos hídricos pueden estar relacionados con características fisicoquímicas, biológicas, morfológicas, hidrológicas y ecológicas. La naturaleza de la contaminación del agua y los efectos de las medidas de control no permiten un enfoque dividido; tienen que caracterizarse de manera integral. Por la misma razón, las necesidades de información también requieren un enfoque integral.

### *Medios apropiados*

Los diversos medios, como el agua misma, la materia suspendida, sedimentos y biota son elementos que integran la masa de agua. Las necesidades de información también están relacionadas con estos medios en la medida que proporcionen información sobre las funciones, problemas y medidas de control. Las interacciones de los recursos hídricos con el aire y suelo demandan el mismo enfoque (Laane y Lindgaard-Jørgensen, 1992).

**Cuadro 9.2** Diferencia de los enfoques basados en la emisión y calidad del agua para el control de la contaminación del agua

Aspecto de manejo	Enfoques basados en la emisión	Enfoques basados en la calidad del agua
Límites del efluente	Punto de descarga no especificado	Se especifica la concentración en el lugar de la descarga
Técnicas necesarias de tratamiento	Basado en propiedades intrínsecas (tóxicas) de las sustancias químicas en el efluente o basado en la tecnología	Basado en criterios de calidad del agua o prevención de efectos tóxicos en el cuerpo receptor
Requerimientos de datos	Datos básicos químicos y ecotoxicológicos	Datos básicos químicos y ecotoxicológicos. Características físicas, químicas y biológicas de las aguas receptoras y el destino de las descargas químicas
Monitoreo	Efluente	Aguas receptoras
Competencia	Igualdad ante la ley	Desigualdad
Práctica	Puede tender al enfoque del peor caso en general, pero puede subestimar los efectos de las descargas en situaciones específicas	Puede tender a la dilución como una solución en general, pero las normas estrictas son posibles cuando los efectos son intolerables en situaciones específicas

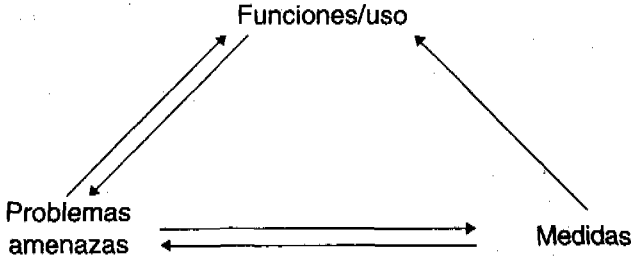
Fuente: Stortelder y Van de Guchte, 1995

### *Fuentes múltiples*

Las fuentes múltiples de contaminación del agua requieren un enfoque integral, equilibrado y en el sitio específico. Si la contaminación se produce por fuentes puntuales bien definidas, el monitoreo de los efluentes descargados quizás sea el mejor enfoque. Sin embargo, generalmente las fuentes puntuales son numerosas y no están bien definidas. Además, las fuentes dispersas constituyen un aspecto sustancial y creciente de los problemas de la contaminación del agua. A menudo resulta importante el conocimiento de la contribución relativa de las diferentes fuentes (agricultura, viviendas, industrias, partículas de aire) para comprobar la eficacia de las medidas de control.

### *Enfoques para el control de la contaminación del agua*

Hay dos enfoques para el control de la contaminación del agua: el enfoque basado en la emisión y el enfoque basado en la calidad del agua (Stortelder y Van de Guchte, 1995). Las diferencias entre estos enfoques provienen de los sistemas que se aplican para limitar la descarga y de los mecanismos. Estas diferencias también se reflejan en las estrategias para la evaluación de riesgos



**Figura 9.3** Elementos principales para el manejo y control de la contaminación del agua

y en el monitoreo de las descargas en el agua, es decir, el enfoque se puede centrar en los efluentes o en el cuerpo receptor; ambos tienen sus ventajas y desventajas (cuadro 9.2). Un enfoque combinado puede hacer uso óptimo de las ventajas.

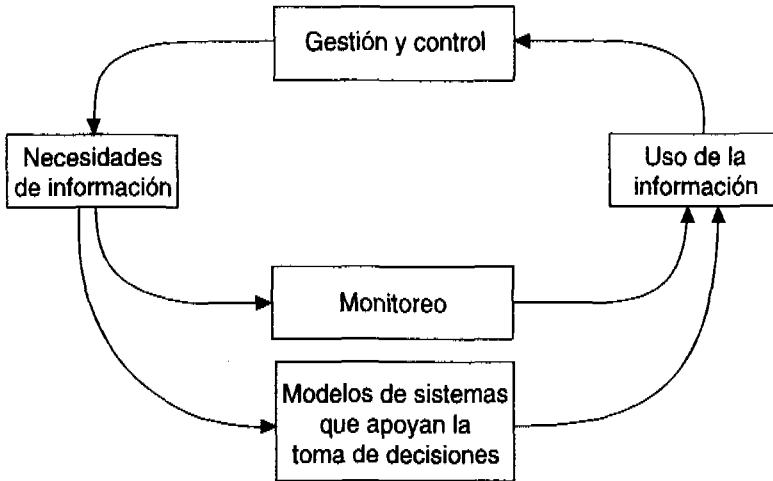
#### *Gestión de las cuencas*

Los ecosistemas no están restringidos por límites definidos por los seres humanos, tales como los gobiernos locales o países. En consecuencia, el manejo integral de las cuencas es cada vez más común. La Convención para la Protección y Uso de Aguas Transfronterizas y Lagos Internacionales, Helsinki (CEPE, 1992) subraya la necesidad de un enfoque integral de la cuenca para el manejo del agua y de un monitoreo y evaluación adecuados de las aguas transfronterizas.

#### *Colaboración institucional*

En muchos países, la responsabilidad de recolectar información sobre el agua está dividida entre diferentes ministerios, consejos ejecutivos y otros organismos. Este enfoque produce duplicación, falta de armonía y desalienta un enfoque integral. A menudo, las responsabilidades del manejo de los recursos hídricos y el control de la contaminación del agua están repartidos entre diferentes ministerios y niveles gubernamentales (federal, regional, local). El establecimiento de sociedades para la colaboración y coordinación de los esfuerzos de monitoreo entre los ministerios o instituciones involucradas puede mejorar enormemente la calidad de la información obtenida y posibilita el mejor uso de los recursos disponibles.





**Figura 9.4** Componentes de los sistemas de información de la gestión ambiental

### 9.3 Especificación de las necesidades de información

Las necesidades de información se centran en tres elementos del manejo y control de la contaminación del agua, a saber, las funciones y uso de las masas de agua, los problemas reales y amenazas para el funcionamiento futuro y las medidas emprendidas (con sus respuestas esperadas) para beneficiar las funciones y usos (figura 9.3).

El monitoreo es la actividad principal que satisface las necesidades de información para el control de la contaminación del agua. Los modelos y sistemas que apoyan la toma de decisiones, que a menudo se usan en combinación con el monitoreo, son también herramientas útiles de información para apoyar la toma de decisiones. La figura 9.4 ilustra algunos de los componentes claves del sistema de manejo ambiental.

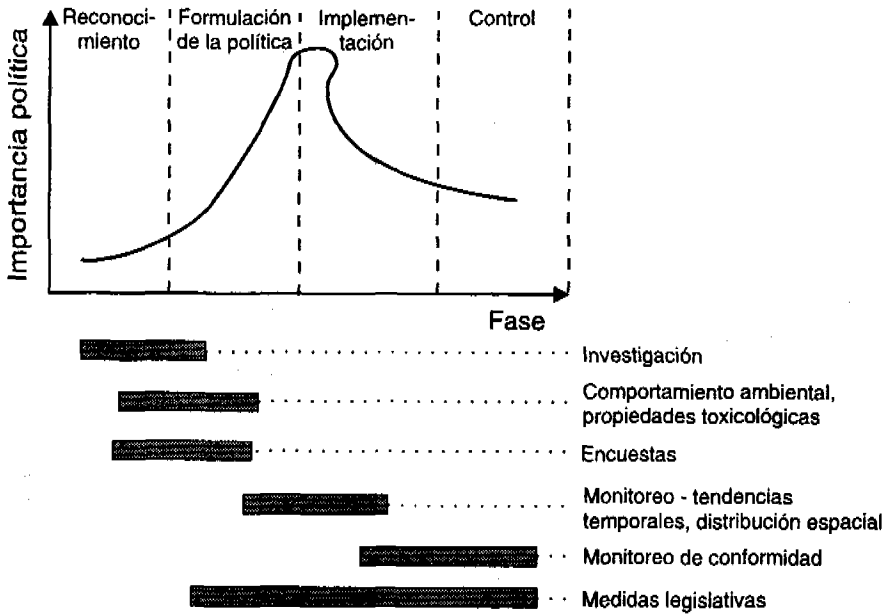
Los objetivos del monitoreo se establecen según el foco de interés de las actividades del manejo y control de la contaminación del agua y según los temas que estén captando la atención pública. Los objetivos del monitoreo pueden ser de muchas clases, pero pueden estar dentro de las siguientes categorías básicas:

- Evaluación de los cuerpos de agua para verificar regularmente el cumplimiento de las normas fijadas a fin de definir los requisitos para diversas funciones y usos del agua.

- Pruebas para detectar la conformidad con las licencias de descarga o para establecer multas.
- Comprobación de la eficacia de las estrategias de control de la contaminación, lo que equivale a obtener información sobre el grado de implementación de las medidas y detección de las tendencias de las concentraciones y cargas a largo plazo.
- Advertencia temprana de las consecuencias adversas sobre los usos concebidos del agua, por ejemplo, en el caso de una contaminación accidental.
- Mayor conciencia sobre la calidad del agua mediante investigaciones exhaustivas, por ejemplo, a través de encuestas que investigan la presencia de sustancias potencialmente nocivas. Las encuestas dan una idea de las muchas necesidades de información para el manejo operativo del agua.

Una vez que se define un objetivo del monitoreo, se identifica a la audiencia meta. Se debe conocer quiénes serán los usuarios de la información y por qué se necesita la información. También se identifica el campo de la gestión y la naturaleza de la toma de decisiones para la cual se necesitará la información. Debe reconocerse que la detección de las tendencias en sí no es un objetivo del monitoreo, sino un tipo de monitoreo. Sólo cuando se especifica el uso de la información de la tendencia puede considerarse un objetivo.

Una vez que se han fijado los objetivos, es importante identificar la información que se necesita para apoyar el objetivo específico. El contenido y nivel de detalle de la información requerida depende de la fase del ciclo de vida de la política (figura 9.5). En la primera fase, la investigación y las encuestas pueden identificar los problemas prioritarios de contaminación y los elementos del ecosistema que pueden servir como indicadores apropiados. Se deberá implementar políticas para éstos. En la segunda y tercera fase, la retroalimentación sobre la eficacia de las medidas adoptadas se obtiene mediante la evaluación de las distribuciones espaciales y tendencias temporales. Los contaminantes pueden poner en peligro la salud de los seres humanos al afectar los recursos acuáticos, como el agua potable, consecuentemente, se puede iniciar programas específicos de monitoreo para comprobar sistemáticamente la conveniencia de tales recursos. La legislación también puede prescribir medidas para ciertos procesos de toma de decisiones, tales como la disposición de material dragado contaminado. En la última fase se puede continuar el monitoreo, aunque con un diseño diferente para verificar que se mantiene el control. Las necesidades de información cambian en las diferentes fases de la política (Winsemius, 1986; Cofino, 1995).



**Figura 9.5** El ciclo de vida de la política y medidas típicas que se aplican en cada fase

Quienes toman decisiones tienen que decidir sobre los contenidos y rendimiento de los productos de información que desean. Ellos son los usuarios de la información (para la gestión y control) y tienen que dar cuenta de sus actividades al público. La especificación de las necesidades de información es un desafío que requiere que los procesos de toma de decisiones de los usuarios de información se formulen anticipadamente. Deben especificarse diversos aspectos del producto de información, tales como:

- Se tiene que definir las necesidades de evaluación de la calidad del agua y los métodos que se aplicarán; se dará énfasis al desarrollo de la estrategia de evaluación antes que a un simple inventario de necesidades arbitrarias para la medición de sustancias.
- Se debe considerar los métodos para hacer el informe y presentar el producto de información; estos están estrechamente relacionados con los métodos de evaluación aplicados. A menudo, la información visual y agregada (como índices) es mucho más eficaz (y por consiguiente más apreciada) que los informes voluminosos.
- Se tiene que seleccionar variables apropiadas de monitoreo. Las variables seleccionadas deben ser indicadores que caractericen adecuadamente la

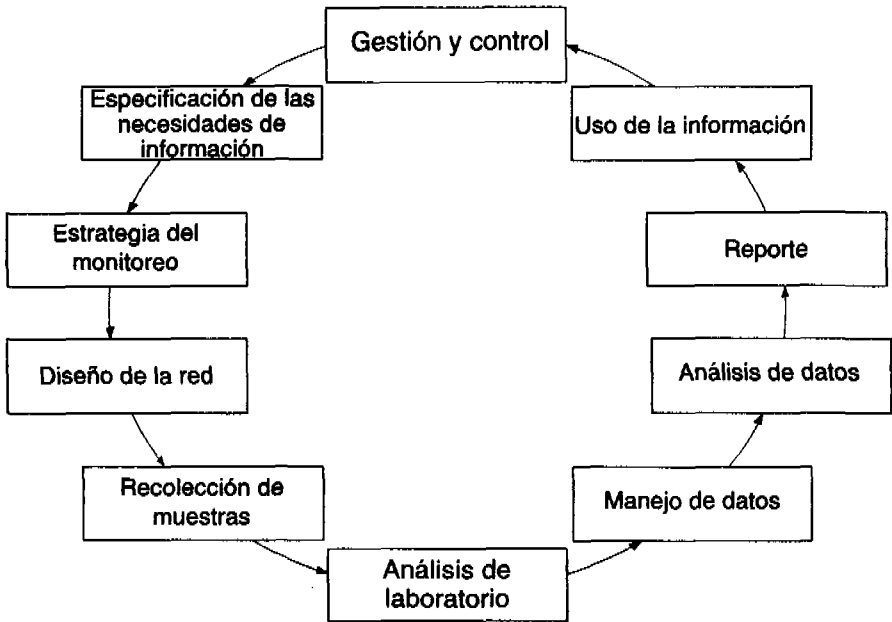
descarga de contaminantes o que sean representativas de las funciones y usos de los cuerpos de agua, a fin de determinar aspectos de la calidad del agua o probar la eficacia de las medidas de control de la contaminación.

- Se tiene que considerar los márgenes pertinentes de la información. Para evaluar la eficacia del producto de información, se tiene que cuantificar las necesidades de información, por ejemplo, ¿qué nivel de detalle es pertinente para la toma de decisiones? Tales márgenes tienen que especificarse para cada variable del monitoreo. Un margen pertinente puede definirse como el “margen de información que el usuario considera importante”.

Las necesidades de información deben especificarse de tal manera que permitan derivar criterios de diseño para los componentes del sistema de información. Los márgenes específicos pertinentes son una herramienta valiosa para el diseño de redes. Con estos se puede optimizar la frecuencia del muestreo y la densidad de la red, especialmente si se dispone de series de tiempo confiables para la medición. Los márgenes pertinentes destacan el detalle requerido en la presentación. Las decisiones sobre el desarrollo de métodos analíticos más exactos deben estar relacionadas con los márgenes pertinentes o valores límites de calidad del agua. Sin embargo, los últimos están relacionados críticamente con la eficacia de los costos.

En general, un sistema de monitoreo e información puede considerarse como una cadena de actividades (figura 9.6). La cadena se cierra con el manejo y acción de control del encargado de tomar decisiones, mientras que en el pasado los esquemas han mostrado una secuencia vertical de un número restringido de actividades que comienzan con una red de muestreo elegida arbitrariamente y concluyen con la producción de un conjunto de datos. La creación de un sistema responsable de información requiere que las actividades de la cadena se diseñen secuencialmente, comenzando por las necesidades específicas de información.

Así como el monitoreo es continuo, las necesidades de información también evolucionan. Esto ya ha sido ilustrado por el ciclo de vida de la política en la figura 9.5. Con el tiempo, se va progresando en la gestión y control y podrán alcanzarse las metas o cambiar las políticas, lo que implica que la estrategia de monitoreo puede necesitar adaptación. Las cambiantes necesidades de información requieren una reevaluación regular del sistema de información; es esencial agregar, cancelar, revisar y actualizar el concepto. A fin de visualizar esto, el círculo de la figura 9.6 puede tomar la forma de una espiral (Cofino, 1994) para reflejar la naturaleza continua del monitoreo y la incorporación del mecanismo de retroalimentación.



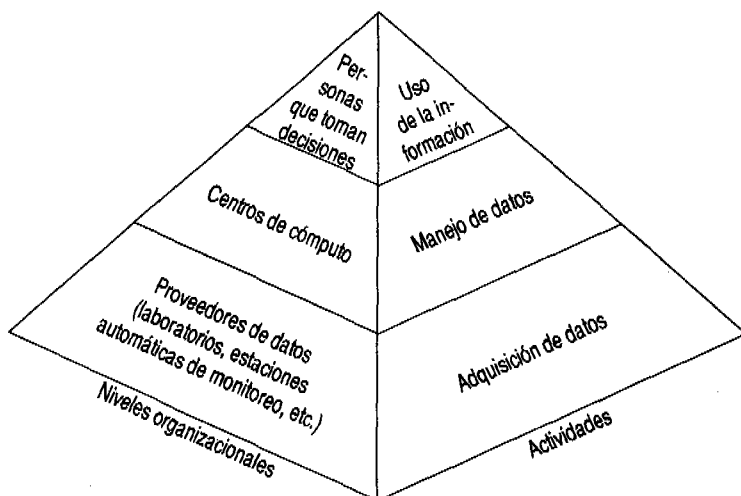
**Figura 9.6** Cadena de actividades de un sistema de información

## 9.4 Recolección y diseminación de información

### 9.4.1 Organización del sistema y flujo de información

El objetivo de un sistema de información para el control de la contaminación del agua es proporcionar y diseminar información acerca de las condiciones de la calidad del agua y cargas de contaminación a fin de cumplir con las necesidades de información definidas por los usuarios. Los sistemas de información pueden basarse en los informes que circulan por rutas definidas o en datos que se procesan en un computador y se almacenan y recuperan electrónicamente. En la práctica, la mayoría de los sistemas de información son una combinación de estos. Sin embargo, dada la disponibilidad de potentes hardwares y softwares de bajo costo, hoy en día es casi inimaginable diseñar un sistema de información sin usar computadoras para el manejo y análisis de datos. Los principales tipos de datos que se procesan en un sistema de información son:

- Datos sobre la naturaleza de los cuerpos de agua (tamaño y disponibilidad de los recursos hídricos, calidad y función del agua y estructura del ecosistema).



**Figura 9.7** Pirámide de información que muestra las actividades del sistema de información y sus correspondientes niveles organizacionales

- Datos sobre las actividades humanas que contaminan los cuerpos de agua (aguas residuales y residuos sólidos domésticos, actividades industriales, agricultura y transporte).

- Datos sobre el entorno físico (topografía, geología e hidrología climática).

Tales datos deben extraerse de las redes de estaciones nacionales, regionales y locales que monitorean la calidad del agua y las fuentes de contaminación. En la sección 9.6 se dan las pautas para el establecimiento de tales redes.

Se debe definir con precisión el flujo de datos en los sistemas de información para cumplir con los requisitos de los usuarios y la demanda general de confiabilidad. Se considera que el flujo de datos presenta tres direcciones, ascendente, descendente y horizontal. El flujo ascendente de información, que parte de estructuras organizacionales inferiores hacia las superiores, reduce la cantidad de detalles pero aumenta el valor de la información a través de la interpretación de los datos. El flujo descendente es importante para la comunicación de objetivos o decisiones en relación con las normas y políticas nacionales y también para lograr la reacción de los involucrados en la adquisición y manejo de datos dentro del sistema de información. El flujo horizontal, lo cual significa compartir datos entre organizaciones, es esencial para desarrollar un enfoque integral del monitoreo y gestión ambiental y para hacer uso eficaz de los datos que a menudo se recopilan y almacenan en un gran número de instituciones.

El flujo vertical de información puede ser descrito como un sistema de tres etapas en relación con los niveles organizacionales y las actividades desarrolladas en cada nivel. Esto se ilustra en la pirámide de información (figura 9.7) que muestra gran número de datos en el nivel más bajo y son menos detallados a medida que alcanza los niveles más altos de la pirámide, pero poseen mayor valor de información. El primer nivel es responsable de la adquisición primaria de datos mediante el monitoreo, la validación y almacenamiento de datos. A menudo, los datos serán dinámicos, como los de las mediciones y análisis y se usan localmente (para fines de control). Es importante implementar sistemas de control básicos para garantizar la calidad y los procedimientos que generan datos primarios porque los datos que surgen en este nivel influirán en el resultado del análisis de datos, informes y decisiones adoptados en los otros niveles.

Usualmente, el manejo de datos (segundo nivel) se lleva a cabo en los centros de cómputo y puede organizarse por temas, como calidad del agua de ríos, lagos o fuentes subterráneas o por la fuente de contaminación, por ejemplo, las aguas residuales municipales e industriales o contaminación agrícola dispersa. Los centros de cómputo también pueden dividirse geográficamente según las cuencas o límites administrativos locales o regionales. Estos centros tienen la tarea primaria de transformar los datos en información. Por consiguiente, son los usuarios de los datos primarios del nivel de adquisición, así como los centros de servicio que producen la información necesaria. Estos centros usan y mantienen herramientas gráficas y estadísticas adecuadas, modelos de proyección y formatos para la presentación de información. Además, a menudo mantienen datos de naturaleza más estática, como los datos geográficos y también pueden ser responsables de la adquisición primaria de datos dentro de su área específica de responsabilidad.

El tercer nivel (uso de información) está constituido por las autoridades que toman decisiones y son los usuarios finales de la información generada. En este nivel se usa la información para comprobar y corregir las políticas y procedimientos de gestión. Sin embargo, este nivel también es responsable de la generación final de la información que se disemina al público y a otras partes interesadas, como el sector privado y los organismos internacionales. Este nivel puede tener sus propias herramientas para integrar la información sobre el ambiente acuático con información de otros medios y sectores.

#### **9.4.2 Adquisición de datos**

La adquisición de datos trata sobre la generación y almacenamiento de datos de las actividades de monitoreo. Los datos deben almacenarse para verificar la

exactitud y permitir el fácil acceso, recuperación y manipulación. El volumen de datos que se adquirirá y almacenará depende del tamaño y alcance de la red de monitoreo. Para volúmenes pequeños de datos, se pueden usar sistemas manuales eficientemente para almacenar y recuperar datos, producir diagramas de series de tiempo y realizar análisis estadísticos sencillos. No obstante, un sistema automatizado que emplee sistemas sencillos como hojas de cálculo, puede mejorar sustancialmente la capacidad del manejo de datos y permitir simultáneamente análisis básicos estadísticos y gráficos que son directos y fáciles de realizar. Para mayores volúmenes de datos, un sistema generalizado de almacenamiento de datos con una base de datos relacional tendrá una capacidad de manejo más potente. Además de ser usado para almacenamiento y recuperación de datos, se puede elaborar programas especiales para automatizar la entrada de datos, análisis y generación de informes.

En las bases de datos se puede identificar los siguientes requisitos generales para el almacenamiento (Ward y otros, 1990):

- Los datos deben almacenarse y recuperarse sin ambigüedad.
- El software debe ser portátil.
- El software debe ser fácil de usar.
- Debe asegurarse la protección contra daños voluntarios o accidentales.
- Los productos que se generen no deben ser ambiguos.
- Debe haber flexibilidad en la búsqueda de información y en la manera de presentarla.

### 9.4.3 Manejo de datos

El manejo de datos abarca el análisis y la transformación de estos en información. En la sección 9.5 se describen las herramientas para esas funciones. La preparación de informes y la diseminación de información es otro aspecto importante de un sistema de información. Los asuntos, tales como para quiénes se hacen los informes, frecuencia y nivel de detalle de cada informe, deben aclararse y los sistemas de reporte deben planificarse como parte integral del sistema de información.

Los informes que contienen resultados de los análisis de rutina de los datos recopilados de un programa de monitoreo (diario, semanal, mensual, trimestral o anual) y que presentan avances en la calidad o carga de contaminación del agua respecto al período precedente deben prepararse en un formato estandarizado. El reporte puede automatizarse con un sistema apropiado de manejo de datos. Otros tipos de reportes presentan información basada en datos de diversas fuentes de contaminación y lugares, analizados con herramientas avanzadas como modelos y sistemas de información geográfica (SIG). Estos



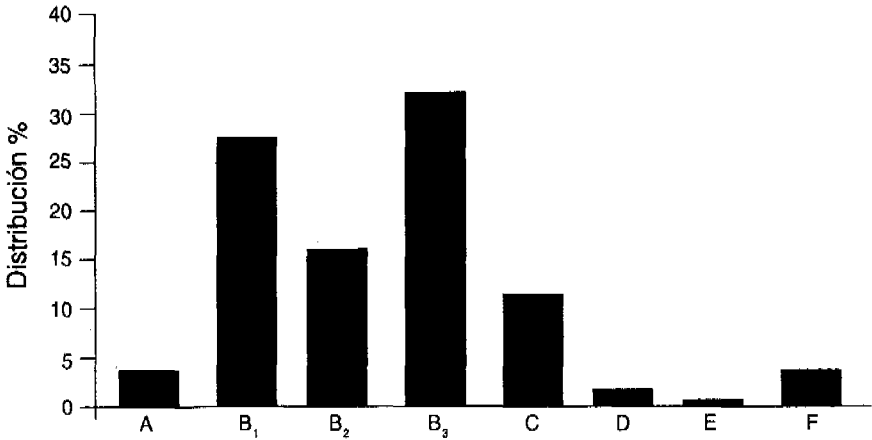
tipos de informes son particularmente útiles para el control de la contaminación del agua porque se centran en su calidad, así como en las fuentes de contaminación. Algunos ejemplos son:

- *Informes sobre la situación ambiental.* Son evaluaciones ambientales resumidas para informar a quienes adoptan decisiones, organizaciones ambientales, científicos y público en general, acerca de la calidad del ambiente. Normalmente, tales informes incluyen el estado del ambiente; sus cambios y tendencias; conexiones entre el ser humano, la salud ambiental y las actividades humanas, incluida la economía; y las medidas que adopta la sociedad para proteger y restaurar la calidad ambiental.
- *Informes sobre indicadores ambientales.* Estos informes se consideran un medio eficaz de comunicación con el público, entre otros, presentan información acerca del desarrollo de algunos indicadores en el tiempo y espacio. Los indicadores ambientales son un conjunto de datos seleccionados y derivados de programas de monitoreo y otras fuentes, así como de bases de datos que contienen información estadística, por ejemplo, sobre economía, demografía y socioeconomía. Para el control de la contaminación de ríos, algunos ejemplos de indicadores son el oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nitrato, usos y alcance de los recursos hídricos disponibles, grado de tratamiento de las aguas residuales, uso de fertilizantes nitrogenados, cambios en el uso del suelo y accidentes con consecuencias ambientales. En la figura 9.8 se presenta como ejemplo un informe de indicadores para el estado de los ríos de Dinamarca.

#### **9.4.4 Uso y diseminación de la información**

El uso de la información es el tercer y más alto nivel del sistema de información. En este nivel, la información, principalmente en forma de reportes, puede usarse para apoyar a quienes toman decisiones. Los nuevos enfoques del control de la contaminación del agua ponen mayor énfasis en la participación activa del público, así como de las industrias. Por consiguiente, cada vez será más importante diseminar a las partes interesadas información relevante y de fácil comprensión acerca del estado del ambiente, así como el grado en que las políticas ambientales e inversiones ambientales privadas y públicas están mejorando el estado del ambiente.

Además de la diseminación de informes, otras actividades pueden ayudar a aumentar la conciencia ambiental de los gobiernos, ministerios y administración, así como del sector privado y público. Los ejemplos de estas actividades incluyen seminarios, reuniones y audiencias públicas celebradas por el lanzamiento de informes significativos, como el estado del informe ambiental o los indicadores ambientales.



**Figura 9.8** La distribución porcentual de los tipos de objetivos de calidad adoptados para las aguas de Dinamarca (según los mapas de los planes regionales de los países) (véase el cuadro 9.2 para la definición de objetivos de calidad) (DEPA, 1991)

### 9.5 De datos a herramientas de información

Para evitar el síndrome “ricos en datos pero pobres en información”, el análisis de datos, generación y reportes de información deben recibir la misma atención que la generación de datos. El control de la contaminación del agua requiere el acceso a estadísticas, gráficos y modelos para el análisis e interpretación de los datos. Teóricamente, la mayoría de estos análisis pueden realizarse manualmente aunque este enfoque a menudo toma tanto tiempo que no se recomienda para grandes conjuntos de datos y métodos complejos de tratamiento de datos (Ward y otros, 1990; Demayo y Steel, 1996).

#### 9.5.1 Información gráfica

Los datos analizados y presentados en forma de gráficos son probablemente el enfoque más útil para transmitir información a una amplia variedad de usuarios, tanto técnicos como no técnicos. Los análisis gráficos y las gráficas son fáciles de realizar y el valor informativo es alto cuando se presentan adecuadamente. Los tipos de información que pueden presentarse con mayor eficacia mediante gráficos son:

- Series de tiempo (variación temporal).
- Datos estacionales (variación temporal).
- Calidad del agua por localidades (variaciones espaciales).

- Cargas de contaminación en sitios específicos.
- Resúmenes estadísticos de las características de la calidad del agua.
- Correlaciones entre variables.
- Comparaciones espaciales y temporales de variables de la calidad del agua.

Los métodos ampliamente usados incluyen gráficos de series de tiempo para dar una indicación visual de la distribución de datos y el cambio de la distribución a lo largo del tiempo o de un lugar a otro (Ward *y otros*, 1990; Demayo y Steel, 1996; Steel *y otros*, 1996).

### 9.5.2 Información estadística

La información estadística es el tratamiento más útil de los datos para tomar decisiones cuantitativas, tales como si la calidad del agua está mejorando o empeorando con el transcurso del tiempo o si la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales ha sido eficaz o si se han cumplido los criterios de calidad del agua o normas de emisión. También se puede usar la estadística para resumir los datos de calidad del agua y emisiones en formas más sencillas y comprensibles, como la media y la mediana (Demayo y Steel, 1996).

Otra aplicación importante de la estadística con relación al control de la contaminación del agua, es la transformación de los datos para dar una comprensión del promedio y extremos de las condiciones de la calidad del agua y también los cambios o tendencias que se estén produciendo. Los métodos estadísticos para proporcionar este tipo de información pueden clasificarse como gráficos (como se describe en la sección 9.5.1), métodos de estimación o prueba de hipótesis (Ward *y otros*, 1990; Demayo y Steel, 1996). El método clásico del análisis de tendencias, por ejemplo, es la estimación de una pendiente de tendencia lineal con una regresión cuadrada mínima, seguida de una prueba *t* para verificar la importancia estadística de los parámetros de la pendiente. Existen softwares estándares para la mayoría de métodos estadísticos. Demayo y Steel (1996) presentan una explicación del uso de los métodos estadísticos junto con algunos ejemplos.

### 9.5.3 Índices y clases de calidad del agua

Se obtiene un índice de calidad del agua al agregar varias mediciones de ésta en un número único (NRA, 1991). Por consiguiente, los índices son expresiones simplificadas de un conjunto complejo de variables y han resultado ser muy eficaces para transmitir información sobre calidad del agua a quienes toman decisiones y al público. Existen diferentes índices de calidad del agua que se usan en todo el mundo, entre los más conocidos se encuentran los índices biológicos, como el índice Saprobic (NRA, 1991; Friedrich *y otros*, 1996).

Muchos países usan un sistema de clasificación para la calidad del agua de ríos, dividiéndolos en cuatro clases (o más) que van de mala a buena calidad. Tales sistemas se basan principalmente en el uso de índices biológicos, en ocasiones combinados con índices químicos (DEPA, 1992; Friedrich *y otros*, 1996). En Dinamarca, por ejemplo, los objetivos de calidad para ríos han sido adoptados y aprobados como directivas obligatorias en los planes regionales de los condados. Estos objetivos de calidad para los cursos de agua se establecen según las características físicas y de flujo y las condiciones aceptadas por las autoridades responsables de la calidad de las masas de agua. El cuadro 9.3 muestra estos objetivos de calidad y la figura 9.8 presenta la distribución de porcentajes de los tipos de objetivos de calidad adoptados para los cursos de agua daneses. Los objetivos A y B, que se aplican a más de 75 por ciento de las extensiones de todos los cursos de agua, incluyen criterios biológicos para las áreas con objetivos más estrictos o de alto interés científico (A) u objetivos generales para áreas de pesca (B) (DEPA, 1991).

Los índices y clasificaciones de la calidad del agua no deben ser el único método usado para el análisis y reporte de datos de un sistema de monitoreo de la calidad del agua porque puede ser imposible determinar tendencias menos obvias en la calidad del agua y algunas de sus variables pueden cambiar dramáticamente sin afectar la clasificación general.

#### 9.5.4 Modelos

Los modelos de calidad del agua pueden ser una herramienta valiosa para el manejo del agua porque pueden simular la respuesta potencial del sistema acuático ante cambios, como el agregado de contaminantes orgánicos o nutrientes, el aumento o disminución de los niveles de nutrientes o tasas de abstracción de agua y cambios en el tratamiento de aguas residuales. Los efectos potenciales de los tóxicos también pueden estimarse mediante modelos (SAST, 1992; Vieira y Lindgaard-Jørgensen, 1994). Por consiguiente, los modelos matemáticos son herramientas útiles para el manejo de la calidad del agua porque permiten:

- Predecir las repercusiones del desarrollo de las masas de agua.
- Relacionar los datos sobre cargas contaminantes con los datos sobre calidad del agua.
- Proveer información para el análisis y prueba de políticas.
- Predecir la propagación de los puntos máximos de contaminación para prevenirlos anticipadamente.
- Perfeccionar el diseño de redes.

**Cuadro 9.3** Tipos de objetivos de calidad para los cursos de agua daneses

Objetivos de calidad	Índice máximo de Saprobic
A Área con interés científico específico	II
B <sub>1</sub> Desove y pececillos	II
B <sub>2</sub> Agua para salmónidos	II
B <sub>3</sub> Agua para ciprínidos	II (II-III)

Fuente: Basada en información del National Agency of Environmental Protection, Dinamarca

Además, y con igual importancia, permiten una mejor comprensión de los procesos complejos de la calidad del agua y la identificación de variables importantes en determinados sistemas acuáticos.

La obtención de los datos necesarios para la construcción o comprobación de los modelos puede requerir encuestas adicionales y datos del programa de monitoreo. Si los modelos se usan habitualmente en el manejo de la calidad del agua, también es importante comprobarlos y que el usuario del modelo sea consciente de las limitaciones de los modelos.

El desarrollo de modelos en los que se combinan sistemas que relacionan procesos físicos, químicos y biológicos ha permitido una mejor técnica para elaborar modelos y mayor comprensión de los procesos químicos y bioquímicos, así como de las reacciones del comportamiento. También ha mostrado cómo esos procesos interactúan con procesos físicos básicos (es decir, flujo, advección y dispersión). Estos tipos de modelos se usan cada vez más en la gestión de la calidad del agua. Existen modelos dedicados a objetivos específicos de la gestión de la calidad del agua, como la evaluación del impacto ambiental, planificación de la preinversión de plantas de tratamiento de aguas residuales y modelos de emergencia y de tiempo real (SAST, 1992; Vieira y Lindgaard-Jørgensen, 1994). Los sistemas basados en el conocimiento (también llamados sistemas de apoyo para la toma de decisiones) son programas de computación capaces de identificar relaciones y vínculos inesperados basados en el conocimiento de expertos. Los sistemas basados en el conocimiento pueden usarse para el diseño de redes, validación de datos e interpretación de datos espaciales. También se pueden aplicar para manejar las complejas reglas de la legislación, reglamentos y pautas. En años recientes, se han introducido sistemas basados en el conocimiento para aplicaciones ambientales (Hushon, 1990). La mayoría se ha centrado en la interpretación de datos, aunque también se han desarrollado

sistemas para la estrategia de muestreo; por ejemplo, Olivero y Bottrell (1990) diseñaron una estrategia de muestreo para suelos y Wehrens y otros, (1993) informaron sobre un sistema de apoyo para la toma de decisiones en el muestreo de sedimentos acuáticos.

Los sistemas sencillos basados en el conocimiento pueden proporcionar, por ejemplo, la información necesaria para decidir si se debe actuar y qué acciones se deben tomar cuando las concentraciones específicas de contaminantes exceden ciertas normas. Una de las ventajas de los sistemas de apoyo para la toma de decisiones es que ponen el conocimiento de algunos expertos a disposición de muchos no expertos. Además, desarrollar sistemas basados en el conocimiento obliga a los expertos a hacer explícito su conocimiento y, de esta forma, se puede descubrir nuevos conocimientos. Estos sistemas pueden trabajar con conocimiento incompleto e incertidumbre.

El desarrollo de sistemas basados en el conocimiento es todavía incipiente. Por consiguiente, la falta de experiencia en su uso sugiere precaución al ser implementados. Los posibles problemas que se deben considerar son:

- El desarrollo de sistemas basados en el conocimiento toma tiempo y, a menudo, es costoso.
- La adquisición del conocimiento es difícil porque el número de expertos es pequeño y muchos nunca han conceptualizado el proceso mediante el cual llegan a conclusiones específicas.
- La adaptación de estos sistemas a nuevas situaciones requiere la asistencia de las personas que elaboraron el sistema.

Los sistemas basados en el conocimiento se pueden considerar como una rama de la inteligencia artificial (Walley, 1993). Otra rama prometedora (que recientemente está ganando interés) son las redes neurales artificiales. Éstas redes son muy importantes para el reconocimiento de patrones en conjuntos de datos y en el manejo de incertidumbres en el ingreso de los mismos. Por lo tanto, se aplican especialmente cuando el conocimiento de los expertos no se puede explicitar fácilmente o cuando la variabilidad de los datos que se ingresan es considerable. La normalización mediante la aplicación de redes neurales artificiales conducirá a una mejor interpretación de los datos, en particular para las evaluaciones biológicas. La mayoría de las aplicaciones de las redes neurales artificiales aún se encuentran en una etapa experimental aunque se pueden encontrar algunos ejemplos interesantes en la clasificación biológica de la calidad del agua de ríos (Ruck y otros, 1993) y la identificación automática de fitoplancton (Dubelaar y otros, 1990).

### 9.5.5 Sistemas de información geográfica (SIG)

Los datos para el control de la contaminación del agua, tales como la calidad del agua, hidrología, clima, carga de contaminación, uso del suelo y aplicación de fertilizantes, se miden a menudo en diferentes unidades y en diferentes escalas temporales y espaciales. Además, las fuentes de datos son muy diversas (Demayo y Steel, 1996).

Los SIG computarizados son herramientas valiosas para obtener información, por ejemplo, sobre la extensión y causa de los problemas de calidad del agua (como los efectos de las prácticas de uso del suelo). Se pueden usar para la presentación, análisis e interpretación de datos. Los sistemas de información geográfica permiten la referencia geográfica de datos, análisis y muestra de múltiples niveles de información y se ha comprobado su valor en muchos aspectos del control de la contaminación del agua. Por ejemplo, se han usado para proporcionar información sobre:

- Ubicación, distribución espacial y área afectada por contaminación de fuentes puntuales y no puntuales.
- Correlaciones entre los datos de la cobertura agrícola y la topografía con variables ambientales, tales como escorrentía superficial, drenaje y tamaño de la cuenca de drenaje.
- Presentación de resultados de monitoreo y modelos en escala geográfica.

Un sistema SIG característico consta de:

- Un sistema de entrada de datos que recopila y procesa datos espaciales, por ejemplo, información digital de mapas, fotografías aéreas codificadas y datos de referencia geográfica, como datos de calidad del agua.
- Un sistema de almacenamiento de datos y recuperación.
- Un sistema de manipulación de datos y análisis que transforma los datos en un formato común que permite el análisis espacial.
- Un sistema de notificación de datos que muestra los datos en gráficos o mapas.

### 9.5.6 Sistemas de apoyo a la gestión ambiental

Los sistemas avanzados que combinan bases de datos, SIG y sistemas de modelos reciben el nombre de sistemas de apoyo a la gestión ambiental. Estos sistemas están diseñados para cumplir una finalidad específica, como el manejo de recursos hídricos y permiten la evaluación integral de la eficacia de la política y planificación ambiental, tales como la buena práctica agrícola y aplicación de la mejor tecnología disponible (Vieira y Lindgaard-Jørgensen, 1994). Tales sistemas requieren un esfuerzo sustancial en el monitoreo, diseño, implementación y actualización de sistemas. Sin embargo, debido a que pueden

servir de base para el desarrollo y evaluación de políticas durante un período largo, pueden ser una herramienta eficiente en función de los costos para controlar problemas de alta prioridad sobre calidad del agua.

Un sistema que integra el monitoreo y modelo de recursos hídricos (de aguas subterráneas y superficiales) tiene los siguientes elementos:

- Una base de datos SIG, con datos topográficos, sistemas de ríos (incluido drenaje), tipos de suelos, uso presente y futuro de los recursos hídricos y del suelo (incluida, por ejemplo, la siembra forestal, cantidad y distribución de estiércol animal, licencias para abrevaderos de ganado, recuperación del agua, pozos y extracciones permitidas), disposición de desechos y otras fuentes puntuales y límites administrativos.
- Una base de datos geológica con todos los datos geológicos e hidrogeológicos pertinentes.
- Una base de datos de series de tiempo que incluya datos sobre el clima, escorrentías, nivel de presión del agua subterránea, calidad del agua (superficial y subterráneas), recuperación y extracción del agua.
- Modelos de calidad del agua e hidrológicos establecidos y calibrados en diferentes niveles de detalle en lo que se refiere al tipo de datos, densidad del monitoreo y modelo de la red.

### **9.6 Diseño de redes de monitoreo y selección de variables**

Para obtener el enfoque necesario en una red de monitoreo para el control de la contaminación del agua, el diseño de la red debe iniciarse mediante encuestas a fin de identificar problemas potenciales de calidad del agua y usos de agua, y mediante inventarios de fuentes de contaminación que identifiquen las principales cargas de contaminación. Primero, se debe identificar los objetivos de cualquier actividad de monitoreo (véase también la sección 9.3) mediante el análisis de los requerimientos de los usuarios de los datos. Los ejemplos de objetivos específicos del monitoreo son:

- Seguir los cambios (tendencias) del ingreso de contaminantes en el ambiente acuático y el cumplimiento de las normas.
- Seguir los cambios (tendencias) en la calidad del ambiente acuático (ríos, lagos y reservorios) y en el desarrollo del uso del agua.
- Evaluar las relaciones posibles entre los cambios en la calidad del ambiente y los cambios en las cargas contaminantes y el comportamiento humano, en particular los cambios en los patrones de uso del suelo.
- Predecir la calidad futura de los recursos hídricos y evaluar la adecuación de las medidas de control de la contaminación del agua.



La función clave del diseño de redes es traducir los objetivos del monitoreo en orientación sobre dónde, qué y cuándo medir. Por lo tanto, el diseño de redes trata la ubicación del muestreo, su frecuencia y selección de las variables de calidad del agua (Ward y otros, 1990). La obtención de información para el control de la contaminación del agua puede requerir las siguientes estaciones de monitoreo:

- *Estaciones de referencia:* monitoreo de la calidad del agua en ríos y lagos donde hay poca o ninguna probabilidad de contaminación por fuentes dispersas o puntuales a fin de proporcionar datos sobre efectos y tendencias naturales o casi naturales.
- *Estaciones de impacto:* monitoreo tanto de la calidad del agua como del transporte de contaminantes. Se ubican aguas abajo de áreas actuales o futuras de urbanización, industria, agricultura y bosques. Para proteger la captación del agua se puede establecer estaciones adicionales de monitoreo aguas arriba del área de captación.
- *Estaciones de monitoreo de fuentes:* monitoreo de la calidad del agua que permite calcular las cargas de contaminación. Se ubican en las principales fuentes puntuales y también en captaciones influidas por las fuentes no puntuales de contaminación.

Un requerimiento adicional para seleccionar la ubicación geográfica de las estaciones de referencia y de impacto es que deben estar en o cerca de estaciones hidrológicas o donde se pueda programar confiablemente la información hidrológica necesaria. Esto se debe a que no se puede hacer una interpretación significativa de los resultados analíticos para la evaluación de la calidad del agua sin los correspondientes datos hidrométricos básicos. Se deben asociar todas las observaciones y muestras de campo con las mediciones hidrológicas apropiadas. Otros requerimientos para seleccionar la ubicación de las estaciones incluyen la accesibilidad y facilidad del muestreo, seguridad de los operadores y tiempo de transporte de las muestras que van al laboratorio.

Si fuera posible, las estaciones de monitoreo de fuentes se deben ubicar en la salida de las descargas principales de aguas residuales municipales e industriales (Nordic Fund for Technology and Industrial Development, 1993). El monitoreo de las fuentes puntuales que requiere recursos sustanciales de personal se debe basar preferentemente en el automonitoreo realizado por los municipios e industrias, en combinación con la inspección y sistemas de control públicos. La frecuencia del monitoreo refleja la variabilidad, así como la magnitud de la carga de contaminación, por ejemplo, se debe vigilar con mayor frecuencia los grandes volúmenes antes que los pequeños contaminantes.

Si no es posible el monitoreo en el punto de descarga o si ésta es mínima, se puede calcular la carga de contaminación de las industrias con la información sobre el tipo y capacidad de producción mediante las tasas de emisión estándares. Las descargas urbanas se pueden calcular mediante equivalentes por persona. La validez de la información debe contrastarse con los valores del transporte de la contaminación basados en los resultados de las estaciones de monitoreo aguas arriba y abajo de las descargas.

El monitoreo directo de las cargas de contaminación de fuentes no puntuales a los cuerpos de agua no es posible. Sin embargo, una estación de monitoreo del impacto ubicada aguas abajo de una captación dominada principalmente por fuentes no puntuales, como la agricultura, se puede usar para evaluar las tendencias en las cargas de estas fuentes (DEPA, 1992). Si esto no es posible porque la captación contiene tanto fuentes puntuales como no puntuales, se puede evaluar la tendencia de las cargas no puntuales mediante la substracción de la carga de las fuentes puntuales (monitoreada en la estación de la fuente puntual) de los valores obtenidos en la estación de monitoreo aguas abajo.

Se puede hacer una evaluación adicional de la carga de contaminación de fuentes dispersas con los datos sobre usos del suelo para la agricultura, silvicultura, áreas urbanas, rellenos y vertederos de desechos. La información requerida en relación con la agricultura y silvicultura incluye la producción pecuaria, tipos de cultivos y suelos, uso de fertilizantes (por tipo y cantidad) y plaguicidas. Los datos sobre el tamaño de la población son apropiados para la evaluación de cargas de contaminación de las zonas urbanas y rurales más pequeñas donde no hay infraestructura para la recolección y tratamiento de aguas residuales. Para transformar este tipo de datos en información útil, se necesitan herramientas, como los modelos y el SIG (véase la sección 9.5).

Cuando las estaciones de monitoreo están ubicadas en lagos con largos tiempos de retención, la evaluación de las cargas de contaminación puede requerir información del monitoreo de la deposición atmosférica del nitrógeno, fósforo y metales pesados, especialmente en las áreas más industrializadas.

La selección de la frecuencia de muestreo y variables se basa generalmente en el equilibrio entre las densidades promedio de la estación, frecuencia promedio del muestreo y un número restringido de variables (según las actividades industriales y agrícolas en la captación y los recursos financieros del organismo de monitoreo). El cuadro 9.4 da alguna orientación para el desarrollo de un programa de control de la contaminación del agua con niveles diferentes de complejidad. También se debe reconocer que la frecuencia de muestreo y el número de muestras requeridas pueden adaptarse para permitir el adecuado análisis estadístico (Ward y otros, 1990; Demayo y Steel, 1996).

**Cuadro 9.4** Selección de los análisis y recursos para diferentes niveles de programas de monitoreo del control de la contaminación del agua

Nivel de monitoreo	Frecuencia de muestreo (a <sup>-1</sup> )	Análisis del agua	Análisis de sedimentos	Monitoreo biológico	Monitoreo de fuentes	Recursos requeridos
Simple	6	°C, pH, O <sub>2</sub> , SST, iones principales, observación visual			°C, pH, O <sub>2</sub> , SST, DQO, DBO	Personal de muestreo, laboratorio general de química
Intermedio	6-12	Además de PO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> , NO <sub>2</sub> , DBO, DQO,	Elementos traza	Índices biológicos	PO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> , NO <sub>2</sub> y elementos traza, además de lo anterior	Laboratorio especializado, equipo de hidrobiólogos
Avanzado	>12	Contaminantes orgánicos solubles, DQO, POC y algunos elementos traza, además de lo anterior	Además de lo anterior, microcontaminantes orgánicos	Análisis químicos de organismos objetivos, además de lo anterior	Pruebas de toxicidad y microcontaminantes orgánicos, además de lo anterior	Laboratorio central, ecotoxicólogos, instituto nacional de investigación

Fuente: Adoptado de Chapman, 1996

Un programa avanzado de monitoreo en áreas con grandes fuentes de contaminación industrial y agrícola, incluidos plaguicidas y fertilizantes químicos, requiere medios adicionales, como la sedimentación y el uso de material biológico en donde se acumulan metales pesados y algunos productos químicos peligrosos y variables, en particular, algunos metales pesados y compuestos orgánicos específicos, cuando se compara con el monitoreo del control de la contaminación por residuos municipales o métodos agrícolas tradicionales. Algunas descargas químicas pueden contener tóxicos que pueden afectar la vida acuática. La introducción de pruebas de toxicidad acuática, mediante el uso de efluentes industriales, puede ser una forma eficaz de proporcionar información sobre la toxicidad (OCDE, 1987).

### 9.7 Tecnología de monitoreo

Esta sección solo presenta un breve resumen de la tecnología de monitoreo para el control de la contaminación del agua. El énfasis principal se encuentra en los requerimientos adicionales comparados con monitoreos más básicos de calidad del agua, tales como la tecnología para monitorear fuentes de

contaminación de muestreo y sedimento, monitoreo biológico y equipo de laboratorio necesario para análisis avanzados de algunos metales pesados y compuestos orgánicos específicos. En *GEMS/WATER Operational Guide* (OMS, 1992) y Bartram y Ballance (1996) se proporciona orientación adicional sobre tecnología del monitoreo y métodos de laboratorio.

### 9.7.1 Monitoreo de fuentes

La cantidad de flujo es particularmente importante para la determinación de cargas contaminantes provenientes de fuentes puntuales. De preferencia, se debe registrar el flujo continuamente o al menos durante el período de muestreo (Nordic Fund for Technology and Industrial Development, 1993). El equipo manual apropiado para monitorear el flujo incluye un medidor unido a un propulsor, sensores electromagnéticos o incluso un sistema con baldes y medidor del tiempo (el último puede proporcionar un buen cálculo).

Se pueden tomar muestras de agua o de efluente manualmente con un equipo sencillo como baldes y botellas o automáticamente con una aspiradora o bomba de alta velocidad. El muestreo de un lugar específico que proporciona la concentración en el momento, se debe usar solo si no hay otra opción. En cambio, se deben tomar muestras proporcionales de tiempo o flujo durante un período (por ejemplo, cada 24 horas) para estimar mejor la variación de las cargas durante un período determinado.

Las variables, tales como la temperatura, pH, potencial redox, turbiedad y concentración de oxígeno disuelto se pueden monitorear *in situ* con medidores manuales portátiles. Para otras variables, tales como la demanda química de oxígeno (DQO), DBO, nutrientes o variables avanzadas como metales pesados y compuestos orgánicos específicos, las muestras se tienen que transportar y analizar en un laboratorio. Frecuentemente, tales variables se especifican en las licencias de descarga.

Las descargas de algunos procesos industriales pueden tener un efecto adverso sobre los organismos acuáticos por su toxicidad, la que puede ser evaluada por diferentes pruebas biológicas con organismos expuestos al efluente (OCDE, 1987). Un ejemplo de este método es Microtox, que es un método para medir la toxicidad aguda mediante bacterias bioluminescentes. El principio de la prueba estandarizada en algunos países europeos es medir la producción de luz de las bacterias antes y después de la exposición a las aguas residuales durante un período definido. Se puede usar el resultado para estimar si la descarga tiene probabilidad de afectar la vida acuática en el cuerpo de agua que recibe la descarga. Otras pruebas que pueden ser más pertinentes y también más laboriosas se basan en la exposición de peces u otros organismos que

abundan en los cuerpos receptores de agua (OCDE, 1987; Chapman y Jackson, 1996; Friedrich y otros, 1996).

### 9.7.2 Muestreo de partículas y monitoreo biológico

Los programas de monitoreo de partículas y material biológico necesitan un diseño cuidadoso. En general, la frecuencia de muestreo es baja comparada con el muestreo del agua. Sin embargo, el análisis de muestras demanda a menudo más tiempo (Bartram y Ballance, 1996; Chapman, 1996). El monitoreo de partículas (suspendida o depositada en el fondo) es particularmente importante porque los metales pesados y algunos compuestos orgánicos industriales peligrosos y plaguicidas están asociados con las partículas y se acumulan en sedimentos; por consiguiente, las muestras de agua no dan una representación exacta de la carga de contaminación por tales sustancias (Thomas y Meybeck, 1996). El muestreo se puede realizar con métodos baratos que recolectan sedimentos del fondo o mediante filtración o centrifugación de las muestras de agua (para material en suspensión). Se puede realizar análisis químicos con extractos de las muestras (Ongley, 1996).

Mientras que el monitoreo de la calidad del agua proporciona un panorama de la calidad en el momento del muestreo, el monitoreo biológico puede dar una imagen integral de la calidad durante el período de vida de la fauna y flora seleccionada. Es imposible monitorear por separado los miles de compuestos químicos que se presentan simultáneamente en el ambiente, pero los métodos biológicos proporcionan una indicación de sus efectos combinados (Tørsløv y Lindgaard-Jørgensen, 1993; Chapman y Jackson, 1996; Friedrich y otros, 1996). En consecuencia, el monitoreo biológico se ha introducido en muchos sistemas de monitoreo de calidad del agua.

### 9.7.3 Análisis avanzado

El control de la contaminación del agua por productos químicos industriales y pesticidas requiere equipo más avanzado y costoso y una mejor infraestructura de laboratorio que lo que se puede encontrar en muchos laboratorios de calidad del agua (Suess, 1982). Un equipo apropiado incluye espectrofotómetros de absorción atómica (EAA) para el análisis de metales pesados, cromatógrafos de gas (CG) y de líquido para contaminantes orgánicos, en combinación con la eficaz concentración previa (Ballance, 1996).

### 9.7.4 Automatización de sistemas de monitoreo e información

En el último decenio se ha logrado mucho en la automatización del monitoreo y transferencia automática de datos del sistema de monitoreo al sistema de

información. Probablemente, los recientes descubrimientos que usan sensores y telemetría acelerarán este proceso. A continuación se presenta un breve resumen de los enfoques principales para el muestreo y análisis (SAST, 1992; Griffiths y Reeder, 1992):

- El muestreo manual o automático del agua en el lugar con equipo analítico portátil y análisis posterior. Este enfoque es importante para las variables físicas y químicas, tales como pH, temperatura, potencial redox, conductividad y turbiedad, así como para variables que tienen que ser monitoreadas *in situ* (por ejemplo, oxígeno disuelto). Los recientes avances en equipo portátil de monitoreo e instrumentos manuales para variables químicas aumentarán el número de variables que se pueden monitorear.
- El muestreo manual o automático del agua en el lugar con transporte posterior a un centro de análisis y procesamiento. Actualmente, este es el enfoque más común. En algunas áreas, donde el tiempo de transporte a un laboratorio es muy largo o los caminos no se encuentran en buenas condiciones, puede ser factible el análisis en un laboratorio móvil.
- La medición en el lugar (con sensores) y análisis simultáneos en el lugar. Tales métodos reducen el costo operativo y limitan los requerimientos de personal aunque actualmente no han alcanzado un nivel adecuado como para generalizar su uso.
- El uso de sensores remotos para identificar características regionales, como el uso del suelo por satélites o sensores aéreos. Tales métodos han ganado mucho interés en años recientes, en particular para la aplicación de los SIG.

La advertencia anticipada es importante para los casos de contaminación accidental del agua superficial y donde hay peligro directo de contaminación accidental del agua superficial (advertencia anticipada del efluente). La advertencia anticipada tiene dos objetivos, alertar y detectar el problema. Se puede usar la alarma para alertar a los usuarios del agua e iniciar el manejo de operaciones. Principalmente, informa a los responsables del tratamiento de agua superficial para el consumo humano. En menor grado, puede informar a los demás usuarios directos, por ejemplo, a los ganaderos, agricultores e industriales. Los sistemas de detección se pueden usar para detectar las descargas o identificar fallas en la operación. Como resultado de la advertencia oportuna, se puede suspender la captación y uso del agua, limitar la propagación del contaminante a ciertas áreas menos vulnerables, adoptar medidas de manejo del agua (por ejemplo, control de componentes o vertederos y la distribución del agua) y prevenir la continua y tal vez calamitosa descarga (específicamente para la advertencia temprana relacionada con efluentes).

Además de las medidas adoptadas por un sistema de monitoreo de advertencia temprana, otros componentes desempeñan un papel importante, tales como:

- Un sistema de comunicación, en el que se definen procedimientos de advertencia y mediante el cual puede informarse rápidamente a todos los involucrados en la cuenca del río.
- Un modelo para calcular el tiempo de tránsito de una contaminación accidental confirmada desde un centro de advertencia o estación de monitoreo al lugar donde se usa o extrae el agua.
- Un inventario de sustancias tóxicas que proporcione información sobre las propiedades nocivas de las sustancias.

Un sistema adecuado de advertencia temprana integra todos estos componentes. En los últimos 20 años han habido logros importantes en los sistemas de advertencia temprana. Se han desarrollado sistemas integrales de advertencia temprana para las cuencas del río Rin (Spreafico, 1994), la región de la Isla de Francia (Mousty y otros, 1990) y el Elba (IKSE, 1992), entre otros. Ahora se está desarrollando un sistema integrado para la cuenca del río Danubio (EPDRB, 1994), una de las cuencas fluviales más grandes de Europa.

## 9.8 Referencias

- Adriaanse, M., Van de Kraats, J., Stoks, P.G. y Ward, R.C. 1995a Conclusions monitoring tailor-made. En: M. Adriaanse, J. Van de Kraats, P.G. Stoks y R.C. Ward [Eds] *Proceedings of the International Workshop Monitoring Tailor-made*. Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment (RIZA), Lelystad, Países Bajos.
- Bartram, J. y Ballance, R. [Eds] 1996 *Water Quality Monitoring. A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes*. Publicado a nombre del PNUMA y OMS por Chapman y Hall, Londres.
- CEPE 1992 *Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes*. Comisión Económica para Europa, Ginebra.
- Chapman, D. [Ed.] 1996 *Water Quality Assessments. A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. 2ª. ed. Publicado para la UNESCO, OMS y PNUMA por Chapman y Hall, Londres.
- Chapman D. y Jackson, J. 1996 Biological monitoring. En: J. Bartram y R. Ballance [Eds] *Water Quality Monitoring. A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring*

- Programmes*. Publicado para el PNUMA y OMS por Chapman y Hall, Londres, 263-302.
- Cofino, W.P. Quality management of monitoring programmes. En: M. Adriaanse, J. Van de Kraats, P.G. Stoks y R.C. Ward [Eds] *Proceedings of the International Workshop Monitoring Tailor-made*. Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment (RIZA), Lelystad, Países Bajos.
- DEPA 1991 *Environmental Impact of the Nutrient Emissions in Denmark*. Publicado para el Ministry of the Environment por la Danish Environmental Protection Agency.
- DEPA 1992 *Redegørelse fra Miljøstyrelsen – Aquatic Environment Nationwide Monitoring Programme 1993-1997*. No. 3. Publicado para el Ministry of the Environment por la Danish Environmental Protection Agency.
- Demayo, A. y Steel, A. 1996 Data handling and presentation. En: D. Chapman [Ed.] *Water Quality Assessments. A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. 2ª ed. Publicado para la UNESCO, OMS y PNUMA por Chapman y Hall, Londres, 511-612.
- Dogterom, J. y Buijs P.H.L. 1995 *Concepts for Indicator Application in River Basin Management*. Informe 95.01. International Centre of Water Studies (ICWS), Amsterdam.
- Dubelaar, G.B.J., Balfort, H.W. y Hofstraat, H.W. 1990 Automatic identification of phytoplankton. En: *North Sea Pollution: Technical Strategies for Improvement*. N.V.A. Rijswijk, Países Bajos, 539-542.
- EPDRB (EPDRB) 1994 *Strategic Action Plan (SAP) for the Danube River Basin 1995-2005*. Task Force for the Environmental Programme for the Danube River Basin, Brussels.
- Friedrich, G., Chapman, D. y Beim, A. 1996. The use of biological material. En: D. Chapman [Ed.] *Water Quality Assessments. A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. 2ª ed. Publicado para la UNESCO, OMS y PNUMA por Chapman y Hall, Londres, 175-242.
- Griffiths, I.M. y Reeder, T.N. 1992 Automatic river quality monitoring systems operated by the National Rivers Authority – Thames Region, U.K. *Eur. Wat. Poll. Cont.*, 2 (2), 523-30.
- Hushon, J.M. 1990 *Expert Systems for Environmental Applications*. American Chemical Society Symposium Series 431. American Chemical Society, Washington, DC.
- IKSE 1992 *Internationales Warn- und Alarmplan Elbe*. Magdenburg, julio de 1992, actualizado en septiembre de 1994, International Kommission zum Schutz der Elbe, Magdeburg, Alemania.



- Laane, W. y Lindgaard-Jørgensen, P. 1992 Ecosystem approach to the integrated management of river water quality. En: P.J. Newman, M.A. Piavaux y R.A. Sweeting [Eds] *River Water Quality. Ecological Assessment and Control*. EUR 14606 EN-FR. Comisión de las Comunidades Europeas, Luxemburgo.
- Meybeck, M. y Helmer, R. 1989 The quality of rivers: from pristine state to global pollution. *Paleogeog. Paleoclimat. Paleoecol.* (Global Planet. Change Sect.) **75**, 293-309.
- Mousty, P., Morvan, J.-P. y Grimaud, A. 1990 Automatic warning stations, recent serious industrial river pollution incidents, and prediction models for pollutants propagation – some European examples. *Wat. Sci. Tech.* **22**, 259-264.
- Niederländer, H.A.G., Dogterom, J., Buijs, P.H.L. y Hupkes, R. y Adriaanse, M. 1996 *State of the Art in Monitoring and Assessment*. UNECE Task Force on Monitoring and Assessment, Working Programme 1994/95, volume No. 5. Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment (RIZA), Lelystad, Países Bajos.
- Nordic Fund for Technology and Industrial Development 1993 *Handbook on Processing Data in Municipal and Industrial Waste Water Systems*. Nordic Fund for Technology and Industrial Development, Copenhagen.
- NRA 1991 *Proposals for Statutory Water Quality Objectives*. National Rivers Authority Water Quality Series No.5. HMSO, Londres.
- OCDE 1987 *The Use of Biological Tests for Water Pollution Assessment and Control*. Environment Monographs No. II. Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos, París.
- Olivero, R.A. y Bottrell, D.W. 1990 Expert systems to support environmental sampling, analysis and data validation. En: J.M. Hudson [Ed.] *Expert Systems for Environmental Applications*. Series 431 de ACS Symp. American Chemical Society, Washington, DC.
- OMS 1992 Operational Guide GEMS/WATER. 3ª. ed. documento no publicado de la OMS GEMS/W.92.1, Organización Mundial de la Salud, Ginebra.
- Ongley, E.D. 1995 The global water quality programme. En: M. Adriaanse, J. Van de Kraats, P.G. Stoks y R.C. Ward [Eds] *Proceedings of the International Workshop Monitoring Tailor-made*. Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment (RIZA), Lelystad, Países Bajos.
- Ongley, E.D. 1996 Sediment measurements. En: J. Bartram y R. Ballance [Eds] *Water Quality Monitoring. A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes*. Publicado a nombre del PNUMA y OMS por Chapman y Hall, Londres, 315-33.

- Ruck B.M., Walley, W.J. y Hawkes, H.A. 1993 Biological classification of river water quality using neural networks. En: *Proceedings of 8<sup>th</sup> International Conference on Artificial Intelligence in Engineering*. Toulouse, Francia.
- SAST 1992 Research and Technological Development for the Supply and Use of Freshwater Resources. L. Krüger Consult AS and Danish Hydraulic Institute. Preparado para Strategic Analysis in Science and Technology (SAST) Monitoring Programme, Comisión de Comunidades Europeas, Luxemburgo.
- Spreafico, M. 1994 Early warning system of the river Rhine. En: *Advances in Water Quality Monitoring*. Informe de un taller regional de OMM en Viena (7-11 de marzo de 1994). Organización Meteorológica Mundial, Ginebra.
- Steel, A. Clarke, M. y Whitfield, P. 1996 Use and reporting of monitoring data. En: J. Bartram y R. Ballance [Eds] *Water Quality Monitoring. A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes*. Publicado a nombre del PNUMA y OMS por Chapman y Hall, Londres, 335-62.
- Stortelder, P.B.M. y Van de Guchte, C. 1995 Hazard assessment and Monitoring of discharges to water: concepts and trends. *Eur. Wat. Poll. Cont.*, 5(5).
- Suess, M.J. [Ed.] 1982 *Examination of Water for Pollution Control. A Reference Handbook*. Volumen 1, Sampling Data Analysis and Laboratory Equipment. Publicado para la OMS por Pergamon Press, Oxford.
- Thomas, R. y Meybeck, M. 1996 The use of particulate material. En: D. Chapman [Ed.] *Water Quality Assessments. A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. 2<sup>a</sup>. ed. Publicado para la UNESCO, OMS y PNUMA por Chapman y Hall, Londres, 127-74.
- Tørsløv, J. y Lindgaard-Jørgensen, P. 1993. Effect of mixtures of chlorophenols, surfactants and aniline on growth of *Pseudomonas* fluorescence. *Ecotox. Env. Safe*.
- Vieira, J.R. y Lindgaard-Jørgensen, P. 1993. Management support systems for the aquatic environment – concepts and technologies. *J Hydr. Res. -Hydroinf*, 32, 163-83.
- Walley, W.J. 1993 Artificial intelligence in river water monitoring and control. En: W.J. Walley y S. Judd [Eds.] *Proceedings of the Freshwater Europe Symposium on River Water Quality, Monitoring and Control*. 22-23 de febrero de 1993, Birmingham. Publicado por la Universidad Aston, Aston, RU, 179-94.
- Ward, R.C., Loftis, J.C. y McBride, G.B. 1986 The “data-rich but information poor” syndrome in water quality monitoring. *Envi. Manag.*, 10(3), 291-7.

- Ward, R.C., Loftis, J.C. y McBride, G.B. 1990 *Design of Water Quality Monitoring Systems*. Van Nostrand Reinhold, Nueva York.
- Ward, R.C. 1995a Monitoring tailor-made: what do you want to know? En: M. Adriaanse, J. Van de Kraats, P.G. Stoks y R.C. Ward [Eds] *Proceedings of the International Workshop Monitoring Tailor-made*. Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment (RIZA), Lelystad, Países Bajos.
- Ward, R.C. 1995b Water quality monitoring as an information system. En: M. Adriaanse, J. Van de Kraats, P.G. Stoks y R.C. Ward [Eds] *Proceedings of the International Workshop Monitoring Tailor-made*. Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment (RIZA), Lelystad, Países Bajos.
- Wehrens, R., van Hoof, P., Buydens, L., Kateman, G., Vossen, M., Mulder, W.H. y Bakker, T. 1993 Sampling of aquatic sediments. The design of a decision support system and a case study. *Anal. Chim. Acta*, **271**, 11-24.
- Winsemius, P. 1986 *Guest in Own House, Considerations about Environmental Management*. Samson H.D. Tjeenk Willink, Alphen aan de Rijn.



## Capítulo 10\*

### ESQUEMA PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

#### 10.1 Introducción

Este capítulo sintetiza los aspectos del control de la contaminación del agua presentados en los capítulos del uno al nueve y reúne los principales temas para recomendar un enfoque que permita el manejo integral de los recursos hídricos. Se repiten inevitablemente algunas recomendaciones claves de los capítulos anteriores. Sin embargo, para una discusión más detallada de los aspectos específicos sobre el control de la contaminación del agua que se presentan a continuación, se recomienda a los lectores remitirse a los respectivos capítulos. En los estudios de caso se pueden encontrar ejemplos de los diferentes enfoques para controlar la contaminación del agua.

#### 10.1.1 Antecedentes: Programa 21

En años recientes, los problemas de calidad del agua han atraído cada vez más la atención de las autoridades y comunidades de todo el mundo, principalmente en los países en vías de desarrollo y en aquellos que experimentan la transición de una economía de planificación centralizada a una economía de mercado. En estos últimos, los aspectos de protección ambiental, anteriormente descuidados, se están convirtiendo en un obstáculo principal para lograr un desarrollo socioeconómico continuo y sostenible.

Anteriormente, el deterioro de las fuentes de aguas superficiales y subterráneas era una consecuencia inherente del desarrollo económico y siempre se le ha dado menos prioridad a la acción correctiva para compensar o reducir los impactos ambientales. En consecuencia, cuando finalmente se toma conciencia de los impactos de la contaminación, los costos de las acciones correctivas son mayores que si se hubieran implementado oportunamente. Por lo tanto, la negligencia de los problemas de la calidad del agua generalmente conlleva a una pérdida de recursos (económicos). Estos recursos podrían utilizarse para otros propósitos si esos problemas se atendieran con la debida prioridad.

\* *Este capítulo fue preparado por H. Larsen y N.H. Ipsen*

Actualmente, la comunidad internacional ha reconocido la gravedad de los problemas que se derivan del deterioro de la calidad del agua y han acordado formalmente tomar medidas para proteger la calidad de los recursos de agua dulce. Una demostración de ello ha sido la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente y Desarrollo (UNCED) en Río de Janeiro en 1992, de donde se originó el "Programa 21". En el capítulo 18 de este documento (UNCED, 1992), sobre la protección de la calidad y abastecimiento de los recursos de agua dulce, se establecen principios y recomendaciones claves para el manejo seguro de los recursos hídricos. Estos fueron cristalizados, desarrollados y elaborados a través de una serie de sesiones preparatorias, incluida la Consulta Extraoficial de Copenhague (CEC) en 1991 y la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Ambiente (CIAA) en Dublín en 1992.

Los principios para el manejo de recursos hídricos que han servido de base para las guías presentadas en este libro surgieron de las conclusiones obtenidas en Dublín y Río de Janeiro y son:

- El agua dulce es un recurso limitado y vulnerable, esencial para sustentar la vida, el desarrollo y el ambiente.
- Los recursos del suelo e hídricos se deben manejar en los niveles apropiados más bajos.
- El gobierno cumple una función esencial en el fomento de la capacidad mediante un enfoque de participación basado en la demanda para el desarrollo.
- El agua se debe considerar un bien social y económico, con un valor que refleje su uso potencial más valioso.
- Se debe integrar el manejo del agua y del suelo.
- Las mujeres cumplen una función central en la provisión, manejo y seguridad del agua.
- El sector privado desempeña una función importante en el manejo del agua.

#### **10.1.2 Alcance de las normas**

Las recomendaciones y principios del Programa 21 abarcan el manejo de los recursos hídricos en general, incluida la disponibilidad del agua, reglamentación de la demanda, el abastecimiento y las tarifas, mientras que el control de la contaminación del agua se debe considerar como una subcategoría del manejo de los recursos hídricos. El manejo de los recursos hídricos implica dos temas estrechamente relacionados que son el mantenimiento y el desarrollo de la *cantidad y calidad* adecuada del agua (véase el estudio de caso V, Sudáfrica). Por consiguiente, si no se presta la debida atención a los aspectos de la calidad del agua, el manejo de los recursos hídricos no se puede llevar a cabo

adecuadamente. Es importante considerar la relación integral entre el manejo de los recursos hídricos y el control de la contaminación del agua, ya que las fallas anteriores para implementar esquemas exitosos de manejo del agua se pueden atribuir a la omisión de esta relación. Todo manejo de la contaminación del agua se debe coordinar con el manejo de los recursos hídricos en general y viceversa.

El enfoque presentado en este capítulo se centra principalmente en los aspectos relacionados con la calidad del agua, con énfasis especial en las condiciones que generalmente predominan en los países en vías de desarrollo y economías en transición (por ejemplo, en los países de Europa del este). La finalidad es mostrar un enfoque para controlar la contaminación del agua con procesos que permitirán el manejo eficaz de la contaminación del agua. Se propone un enfoque gradual que comprenda los siguientes elementos:

- Diagnóstico y análisis inicial de los problemas de la contaminación del agua.
- Definición de los objetivos de manejo de largo y corto plazo.
- Identificación de las intervenciones, herramientas e instrumentos necesarios para cumplir los objetivos del manejo.
- Establecimiento de un plan de acción, incluido un programa de acción y procedimientos de implementación, monitoreo y actualización del plan.

El enfoque sugerido se puede aplicar en diversos niveles, desde el nivel de captación o cuenca del río hasta el nivel de la cooperación internacional. Un ejemplo de este último nivel es el estudio de caso del río Danubio (estudio de caso IX). Para describir el enfoque, en este capítulo se toma como ejemplo el nivel nacional.

## **10.2 Análisis inicial de los problemas de calidad del agua**

El manejo de la contaminación del agua requiere una definición concisa del problema que se va a tratar. La primera tarea es reconocer que el supuesto problema de calidad del agua es “un problema”, lo cual supone la capacidad de identificar todos los problemas pertinentes de la calidad del agua. La siguiente tarea es asegurar la obtención de información útil a fin de identificar y evaluar los problemas existentes o potenciales de la calidad del agua. Por consiguiente, los gerentes deben tener la capacidad de identificar las áreas problemáticas que requieran una intervención en el sector de la calidad del agua o en el que se encuentre bajo su responsabilidad. Aún si se identifican todos los problemas existentes y potenciales de la calidad del agua, no se puede pretender solucionar todos a la vez, pues los gerentes están sujetos a limitaciones presupuestarias impuestas por los encargados de tomar decisiones. Por consiguiente, las

**Recuadro 10.1** Resumen de la evaluación de los recursos hídricos

**Objetivo**

- Establecer una base para el manejo racional de los recursos hídricos y el control de la contaminación del agua.

**Acción**

- Calcular la ocurrencia espacial y temporal de la cantidad y calidad de los recursos hídricos.
- Evaluar las necesidades de agua de las tendencias de desarrollo y los requisitos de la calidad del agua.
- Evaluar si los recursos disponibles satisfacen la demanda actual y prevista y los requisitos, tanto en función de la cantidad como de la calidad.

**Resultado**

- Un resumen del estado actual y esperado, y de los problemas de los recursos hídricos en general y la calidad del agua.

herramientas para el análisis y asignación de prioridades de los problemas de calidad del agua son indispensables y ayudan a hacer el mejor uso posible de los recursos disponibles destinados al control de la contaminación del agua.

**10.2.1 Identificación de los problemas de calidad del agua**

En el nivel nacional o regional, según la extensión del país, el primer paso debe ser evaluar los recursos hídricos. En este sentido, la evaluación de los recursos hídricos es una actividad integral en la que se considera tanto el control de la contaminación del agua como otros aspectos más generales de los recursos hídricos. En esta etapa inicial puede resultar difícil determinar si un problema está relacionado exclusivamente con la calidad del agua o si también se asocia con la disponibilidad de los recursos hídricos. Por ejemplo, un determinado problema en el suministro de agua limpia a una comunidad puede atribuirse a la escasez de recursos de agua dulce pero también al tratamiento inadecuado de las aguas residuales descargadas en la fuente, lo que hace que el agua sea inadecuada para el consumo humano. La evaluación de los recursos hídricos debe ser la base práctica tanto para el manejo de la contaminación del agua como para el manejo de los recursos hídricos. La recomendación de evaluar los recursos hídricos concuerda con lo señalado en el Programa 21 (CNUMAD, 1992), según la cual las evaluaciones se deben llevar a cabo con el objetivo "... de asegurar la evaluación y predicción de la cantidad y calidad de los recursos hídricos para calcular la cantidad total disponible y su futuro potencial



*de suministro, determinar su calidad actual, predecir los posibles conflictos entre la oferta y la demanda, y proporcionar una base de datos científicos para su uso racional”.*

En concreto, la evaluación recomendada debe identificar (en el espacio y tiempo) la cantidad tanto de las aguas superficiales como de las subterráneas y su respectiva calidad, y hacer una evaluación tentativa de las tendencias de los requisitos del agua y del desarrollo de los recursos hídricos (véase el recuadro 10.1). La evaluación se debe basar, en lo posible, en datos y conocimientos existentes para evitar retrasos innecesarios en el proceso de manejo del mejoramiento. El objetivo de la evaluación no es resolver los problemas, sino identificarlos y determinar las áreas prioritarias que requieren mayor investigación. Como lo señala la OMS/UNESCO (1991), *“la evaluación de los recursos hídricos es la determinación de las fuentes, extensión, confiabilidad y calidad de los recursos hídricos en la que se basa la estimación de las posibilidades de su uso y control”*. En el estudio de caso IV sobre Nigeria se ofrece un ejemplo de la implementación de la evaluación de los recursos hídricos.

### **10.2.2 Clasificación de los problemas de calidad del agua**

Los problemas referentes a la calidad del agua se pueden clasificar en diferentes categorías que requieren la aplicación de diversos instrumentos de manejo e intervenciones para la solución óptima de los problemas. Por ejemplo, es importante saber si un determinado problema de calidad del agua involucra solo a una comunidad o si es un problema nacional. Si se trata de un problema nacional puede ser necesario aplicar normas generales para efluentes, reglamentos u otras medidas pertinentes. En cambio, si el problema se limita a una región geográfica pequeña es probable que solo sea necesario establecer un reglamento local o intervenir para mediar cualquier conflicto.

También puede ser útil categorizar los problemas de calidad del agua como “problemas de impacto” o “problemas relacionados con los requerimientos de los usuarios”. Los problemas de impacto son los que surgen de las actividades humanas que afectan negativamente la calidad del agua o producen el deterioro ambiental. Los problemas relacionados con los requerimientos de los usuarios son los que surgen de una correspondencia inadecuada entre los requisitos de la calidad del agua especificados por los usuarios (demanda) y la calidad real de los recursos disponibles (oferta). Ambos problemas requieren la intervención de una estructura o institución con poderes para solucionar el problema de la manera más racional posible, considerando las circunstancias predominantes. Según el enfoque tradicional del control de la contaminación del agua, los

aspectos de requerimientos de los usuarios generalmente se ignoran debido a que la identificación de estos problemas no se basa en indicadores que se puedan verificar objetivamente. Mientras que un problema de impacto se puede identificar, por ejemplo, por la presencia de una fuente de contaminación o una actividad humana que deteriora los recursos acuáticos (como la deforestación), los aspectos de requerimientos de los usuarios se identifican por la calidad inadecuada del agua para un uso específico.

### **10.2.3 Asignación de prioridades en los problemas de calidad del agua**

En la mayoría de los casos, los recursos (financieros, humanos y otros) requeridos para abordar los problemas identificados de calidad del agua superan en gran medida los recursos asignados al sector del control de la contaminación del agua. Por consiguiente, es necesario asignar prioridades para centrar los recursos disponibles en la solución de los problemas más importantes y urgentes. De no hacerlo, el resultado puede ser falta de coordinación y un esfuerzo desorganizado, lo que daría lugar a un desaprovechamiento de los escasos recursos en problemas menos importantes. Por último, el proceso de asignar prioridades a los problemas requiere una decisión política basada en consideraciones ambientales, económicas, sociales y de otra índole, por lo que no se puede dar lineamientos objetivos al respecto. Sin embargo, al asignar prioridades a los problemas de calidad del agua se deben considerar los siguientes aspectos:

- Impacto económico.
- Impacto en la salud humana.
- Impacto en el ecosistema.
- Extensión geográfica del impacto.
- Duración del impacto.

Como ejemplo se puede citar la proliferación descontrolada del jacinto de agua, *Eichhornia*, en algunos cuerpos de agua, lo que puede deteriorar su calidad debido al agotamiento del oxígeno causado por la descomposición de las plantas muertas y también puede obstaculizar la navegación y el transporte con posibles consecuencias económicas considerables. Basado en este simple análisis, la lucha contra la proliferación del jacinto de agua debe ser más prioritaria de lo que podrían indicar las razones netamente ambientales.

Otro aspecto que se debe considerar al asignar las prioridades es la extensión geográfica del impacto, por ejemplo, si un determinado problema causado por una descarga de aguas residuales sólo produce un impacto local en algunos metros a lo largo del río o si ocasiona un impacto en todo el sistema aguas abajo de la descarga. La respuesta posible depende, por ejemplo, del tamaño

de la descarga y del tiempo de retención en el cuerpo receptor, la degradabilidad del contaminante y las especies sensibles en estas aguas. Además, también se debe considerar la duración del impacto. La descarga de materia orgánica fácilmente degradable puede deteriorar considerablemente la calidad del agua pero solo durante la descarga. Cuando ésta se detiene el impacto también desaparece, aunque por lo general hay un intervalo entre el cese de la descarga y la detección de efectos no mayores. En cambio, la descarga de un contaminante persistente que se acumula en el ambiente acuático puede tener un efecto duradero después del cese de la descarga.

### **10.3 Establecimiento de los objetivos del control de la contaminación del agua**

Al determinar los objetivos del control de la contaminación del agua, la tarea principal es definir el objetivo final. Para lograr el objetivo final del control eficaz de la contaminación del agua se requiere cierto tiempo debido a las limitaciones financieras, de educación o de otra índole. Mientras más lejos se encuentren los objetivos de la situación inicial, más difícil es aplicar una estrategia porque es necesario considerar las diversas suposiciones e incertidumbres. Para superar este problema se debe considerar la siguiente estrategia:

- Identificación de las intervenciones necesarias del manejo.
- Establecimiento de los objetivos de largo plazo.
- Análisis de la capacidad actual.
- Definición de los objetivos realistas de corto plazo.

#### **10.3.1 Intervenciones necesarias del manejo**

Después de haber identificado, clasificado y dado prioridad a los problemas de contaminación del agua, el siguiente paso es identificar las intervenciones apropiadas para enfrentarlos. Por consiguiente, se debe evaluar los medios más adecuados para tratar cada problema identificado. Además, se debe indicar los niveles administrativos pertinentes que se deben incluir. Las intervenciones propuestas pueden variar significativamente en detalle y alcance. Según el problema planteado y el marco institucional existente para el manejo de la contaminación del agua, estas intervenciones pueden variar desde la formulación de una política nacional para un problema aún no reglamentado hasta el establecimiento de una base de datos que contenga los resultados del monitoreo de la calidad del agua en una unidad local de monitoreo. A continuación se citan algunos ejemplos de las intervenciones del manejo que generalmente se requieren:

- elaboración, planificación y coordinación de políticas;
- preparación o modificación de los reglamentos;
- monitoreo;
- cumplimiento de la ley;
- capacitación y diseminación de información.

En muchos países no existe una política ni legislación integral ni coherente para el control de la contaminación del agua o la protección ambiental (véase el estudio de caso XIII, Yemen). Esto no impide implementar el control de la contaminación antes de formular y adoptar estas políticas, pero para obtener un resultado más eficaz y efectivo es necesario contar con un marco de políticas definidas, planes y actividades de coordinación. En una determinada situación puede haber problemas obvios que requieren atención urgente y acciones correctivas, además de la política y planificación generales. Estas intervenciones y acciones correctivas se deben tomar independientemente de la existencia de una política general. La inexistencia de una política no debe retrasar la implementación de las posibilidades identificadas para el mejoramiento obvio del control de la contaminación del agua. En muchos países desarrollados no existen reglamentos que apoyen la legislación o son inadecuados u obsoletos (véase el estudio de caso X, Rusia). La modificación de los reglamentos es un proceso continuo que se debe adecuar constantemente al desarrollo socioeconómico de la sociedad.

Uno de los errores más comunes de la legislación, que se debe evitar, es la tendencia a incluir explícitamente en la ley las sanciones económicas por incumplimiento (por ejemplo, tarifas o multas). Resulta mucho más complicado y lento modificar o enmendar una ley que enmendar los reglamentos complementarios y procedimientos administrativos. Por lo tanto, establecer sanciones económicas en una ley supone el riesgo de que el cumplimiento de la ley se vuelva ineficaz y obsoleto debido a la inflación. En los estudios de casos III, IX, X y VI (Filipinas, Danubio, Rusia y Brasil, respectivamente) se citan varios ejemplos de casos de cumplimiento inadecuado o incumplimiento de la legislación existente.

El mejoramiento de los sistemas de monitoreo de la calidad del agua es una intervención requerida en todo el mundo, no solo en los países en vías de desarrollo. Sin embargo, hay diferencias abismales entre un país y otro en relación con las deficiencias resultantes de los sistemas inadecuados de monitoreo. En la mayoría de los países en vías de desarrollo el problema es el escaso monitoreo debido a la falta de los recursos requeridos para esta actividad. En muchos países de Europa central y del este el problema es diferente. Los programas extensivos de monitoreo han estado funcionando durante varios

años y se han recopilado muchos datos. Lo que ha faltado en varios casos es un análisis e interpretación permanente de los datos, es decir, la transformación de los datos en información útil, seguido de una modificación de los programas de monitoreo.

### **10.3.2 Objetivos de largo plazo**

La definición de los objetivos de largo plazo incluye la identificación de las funciones claves que se deberán cumplir para lograr un control razonablemente eficaz de la contaminación del agua en todos los niveles administrativos. Esta evaluación y descripción de las funciones y niveles de manejo se debe llevar a cabo sin considerar demasiado la capacidad existente en los diferentes niveles administrativos. Por ejemplo, se puede suponer que se dispone de capacidad razonable para llevar a cabo las tareas necesarias asignadas a cada nivel en la estrategia de largo plazo. Sin embargo, los objetivos de largo plazo deben basarse en una evaluación razonable del potencial total para desarrollar el nivel general del manejo. Si la situación actual se caracteriza por recursos financieros y humanos sumamente escasos, además de otros obstáculos serios para el desarrollo económico y social, no sería apropiado definir estándares altos para el control de la contaminación del agua en el objetivo de largo plazo porque probablemente esta situación nunca suceda. El cumplimiento de los objetivos de largo plazo del control de la contaminación del agua debe beneficiar a la sociedad (considerando el nivel general previsto del desarrollo en ese momento futuro).

Los principios rectores del manejo de los recursos hídricos deben estar reflejados en la estrategia de largo plazo (véase el acápite 10.1). Por ejemplo, el manejo en el nivel apropiado más bajo se debe lograr al identificar las funciones claves identificadas para ese nivel, independientemente del nivel actual de manejo. Mientras para algunas funciones el nivel apropiado más bajo es una autoridad o unidad local, para otras es una autoridad central (por ejemplo en el estudio de caso I, India). Sin embargo, el estudio de caso sobre China (estudio de caso II) es un ejemplo del enfoque contrario, es decir, el control centralizado de la contaminación. En el cuadro 10.1 se ofrece un ejemplo sobre cómo describir los elementos de una estrategia de largo plazo para el control de la contaminación.

### **10.3.3 Análisis de la capacidad actual**

Una vez definidos los objetivos de manejo de largo plazo se debe evaluar la situación actual frente a la deseada. El aspecto clave es identificar el potencial y las limitaciones de la capacidad actual de manejo en relación con la

**Cuadro 10.1** Resumen de la estrategia de largo plazo para el control de la contaminación del agua

Función	Nivel nacional	Nivel intermedio	Nivel local
Formulación de políticas internacionales	Definición de la posición del país en relación con los aspectos fronterizos de la contaminación del agua. Provisión de información para negociar con los estados ribereños ubicados aguas arriba y aguas abajo	Ninguna	Ninguna
Reglamentación de la descarga de aguas residuales	Procesamiento de solicitudes para descargar las aguas residuales y emisión de licencias para la descarga	Comentarios sobre las solicitudes en relación con la planificación del desarrollo distrital. Organización de audiencias públicas. Ayuda para verificar el cumplimiento de los permisos. Diseminación de información sobre las normas nacionales por medio de las autoridades de salud pública	Ayuda para el monitoreo de descargas potencialmente nocivas, formulación y cumplimiento de las normas locales y mantenimiento de las estructuras para evitar la contaminación de las fuentes domésticas de agua mediante los comités subdistritales de agua y saneamiento y grupos de usuarios del agua

Fuente: Dirección de Desarrollo del Agua/Danida, 1994

implementación de las funciones de manejo definidas en los objetivos de largo plazo. Se deben considerar aspectos tales como el marco institucional, personal adecuado, suficiente contratación de nuevo personal, antecedentes académicos y disponibilidad de los recursos financieros. Así mismo, se debe identificar la necesidad de capacitar a los miembros del personal y desarrollar recursos humanos para mejorar el rendimiento de la gestión y elaborar los respectivos planes para este fin.

En muchos países, los problemas relacionados con la ausencia de responsabilidades claras, junto con la superposición de límites institucionales, duplicación del trabajo y falta de coordinación entre las entidades involucradas son obstáculos comunes para el control eficaz de la contaminación del agua (véase los estudios de caso V, III, XIII, X y IV de Sudáfrica, Filipinas, Yemen, Rusia y Nigeria, respectivamente).

**Cuadro 10.2** Ejemplo de análisis de la capacidad actual de gestión

Funciones	Potenciales	Limitaciones
Formulación de políticas internacionales	Acuerdo para el establecimiento de un comité de política del agua	Falta de acuerdos oficiales entre los países ribereños ubicados aguas arriba y aguas abajo. Falta de información confiable sobre la cantidad y calidad de los recursos compartidos
Reglamentación para la descarga de aguas residuales	Personal con conocimiento necesario en el nivel nacional. Las estructuras y procedimientos administrativos requeridos son relativamente sencillos en el nivel nacional. Los oficiales distritales pueden ayudar en el monitoreo de las actividades	Falta de personal calificado en el nivel distrital para organizar el control de la descarga. Falta de equipo de monitoreo. Acceso muy limitado a los laboratorios

Fuente: Dirección del Desarrollo del Agua/Danida, 1994

El análisis debe incluir todos los niveles administrativos relevantes, por ejemplo, a través de estudios intensivos en el nivel central en combinación con visitas y estudios en regiones seleccionadas de niveles administrativos inferiores. Las regiones o distritos no se deben elegir aleatoriamente, más bien se debe seleccionar un área transversal que represente la diversidad de los problemas de la calidad del agua y su manejo. El cuadro 10.2 contiene un ejemplo de este tipo de análisis.

#### 10.3.4 Estrategia de corto plazo

En relación con la estrategia de corto plazo, se debe definir la duración de "corto plazo". Se sugiere un período de aproximadamente cinco años porque es el horizonte de planificación que se puede prever y controlar razonablemente bien sin depender demasiado de escenarios que se puedan desarrollar en el futuro.

El resultado del análisis de la capacidad proporciona la base para establecer una estrategia de corto plazo, teniendo en cuenta tanto el potencial identificado como las limitaciones para lograr los objetivos de largo plazo. Por ejemplo, un objetivo de largo plazo puede ser descentralizar las actividades de monitoreo de la calidad del agua. Sin embargo, si los recursos humanos actuales y la capacidad de análisis de los niveles administrativos inferiores impiden la implementación de esta estrategia (véase el estudio de caso VII, México), se

**Cuadro 10.3** Ejemplo de estrategia de corto plazo para el control de la contaminación del agua

Funciones	Nivel nacional	Niveles inferiores
Formulación de políticas internacionales	Establecimiento de un comité de políticas del agua, su secretaría y subcomités internacionales	Ninguno
Reglamentación de la descarga de aguas residuales	Establecimiento de una unidad para administrar las licencias de descarga de aguas residuales de conformidad con los reglamentos	Identificación de quienes descargan aguas residuales y requieren licencias. Establecimiento de procedimientos para administrar el sistema de concesión de licencias, de conformidad con los reglamentos. Existencia de autoridades locales a las cuales se les reporta los problemas de contaminación y se les pide comentarios sobre las solicitudes para la descarga de las aguas residuales

Fuente: Dirección de Desarrollo del Agua/Danida, 1994

puede establecer una estrategia de corto plazo con las actividades de monitoreo en un nivel central pero perfeccionando al mismo tiempo la capacidad de los niveles inferiores mediante actividades de capacitación y programas de orientación. Otra solución sería restringir el monitoreo de corto plazo para las actividades que en ese momento puedan ejecutar los niveles inferiores, pudiéndose incluir gradualmente actividades de monitoreo adicionales a medida que se perfecciona la capacidad de los recursos humanos e instalaciones para el análisis.

Por lo general, cuando se define la estrategia de corto plazo es necesario asegurar que el cumplimiento de sus objetivos contribuirán en gran medida al logro de los objetivos de largo plazo. El cuadro 10.3 contiene un ejemplo de la definición de una estrategia de corto plazo para el control de la contaminación, basado en el ejemplo anterior de una estrategia de largo plazo con los potenciales y las limitaciones identificadas.

#### **10.4 Herramientas e instrumentos de manejo**

Esta sección describe varias herramientas e instrumentos de manejo y los principios para su aplicación y combinación con las diferentes herramientas (para una descripción más detallada de las herramientas e instrumentos véase los capítulos anteriores). La variedad de herramientas e instrumentos se debe



considerar como un aporte al proceso general para lograr un control eficaz de la contaminación del agua y como una fuente de recursos para el gerente a cargo de la contaminación del agua. Estos instrumentos son necesarios para abordar los problemas identificados. La tarea del gerente es decidir cuáles son las herramientas que van a resolver el problema de la manera más adecuada y asegurar que estén disponibles y sean adecuadas en las instituciones indicadas.

#### **10.4.1 Reglamentos y procedimientos administrativos y ordenanzas**

Los reglamentos apoyan la legislación pertinente. Los reglamentos se pueden hacer y enmendar en poco tiempo y en la mayoría de los casos solo necesitan la aprobación del ministro para ser valederos. En casos específicos, se puede requerir la aprobación del gabinete ministerial. Los reglamentos especifican las políticas, prioridades, normas y procedimientos que se aplican en el nivel nacional.

Los procedimientos administrativos son un conjunto de normas y códigos de práctica que aseguran respuestas consistentes para la solución de problemas y toma de decisiones. Estos procedimientos contienen un nivel mayor de detalle que apoya la legislación y los reglamentos y especifican los pasos que se deben seguir para implementar disposiciones particulares, tales como la reglamentación para la descarga de aguas residuales. Los reglamentos y procedimientos pertinentes a la descarga de aguas residuales por lo general incluirían, por ejemplo, la descripción de los procedimientos para solicitar y otorgar una licencia para descargar aguas residuales, procedimientos para monitorear el cumplimiento de las licencias, tarifas y aranceles que debe pagar el contaminador y las multas por incumplimiento.

Como regla general solo se debe implementar los reglamentos cuyo cumplimiento se puede verificar. Si se considera que la capacidad para hacerlos cumplir no es suficiente, se debe simplificar o eliminar los reglamentos. Los reglamentos y procedimientos administrativos hechos para el nivel nacional pueden no reunir condiciones necesariamente uniformes para todo el país, pero pueden considerar algunas variaciones regionales de la contaminación del agua y de las condiciones socioeconómicas.

Las ordenanzas (impuestas a los residentes locales) las puede emitir un organismo establecido legalmente, como la autoridad de un distrito o provincia que puede, por ejemplo, determinar el reglamento de la contaminación de los recursos hídricos locales. Las ordenanzas de las instituciones de nivel inferior no pueden contradecir los dispositivos establecidos por las instituciones de nivel superior (véase el capítulo 5).

#### 10.4.2 Normas de calidad del agua

De hecho, las normas de calidad del agua son parte de los reglamentos pero en este capítulo se discuten por separado porque es necesario observar algunos aspectos importantes relacionados específicamente con el uso de las normas (véase los capítulos 2 y 5). Con el transcurso del tiempo, varios organismos y autoridades (por ejemplo, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Unión Europea (UE)) han emitido normas de calidad del agua o guías para las normas de calidad del agua con el fin de definir el límite máximo aceptable de contaminación del agua o de diversos contaminantes. Por lo general, las normas para la calidad del agua (objetivos de calidad) se determinan de acuerdo con el uso del recurso hídrico (por ejemplo para agua potable, pesca, desovaderos), mientras que las normas de efluentes generalmente se basan en cualquiera de los siguientes principios o una combinación de ambos (véase el estudio de caso II, China):

- El enfoque con una norma única de emisión, que exige un determinado nivel de tratamiento para todas las aguas residuales, independientemente de las condiciones y el uso destinado del cuerpo de agua receptor.
- El enfoque con una norma de calidad ambiental, que define las normas del efluente para permitir el cumplimiento de los objetivos de calidad para el cuerpo de agua receptor.

Las normas o guías desarrolladas a partir del primer enfoque deben ser muy restrictivas para lograr una protección eficaz del ambiente, ya que deben considerar las situaciones y ubicaciones más críticas. Por lo tanto, en algunos casos este enfoque puede conllevar a costos innecesarios de tratamiento. En otros, puede conllevar a un tratamiento inapropiado y contaminación excesiva, dependiendo de las normas de emisión aplicadas y la capacidad asimilativa del cuerpo receptor (véase el estudio de caso V, Sudáfrica). La principal ventaja de este enfoque es la sencillez de sus implicancias administrativas.

El segundo enfoque permite una administración más flexible del manejo ambiental y optimización de los costos y esfuerzos del tratamiento, ya que el nivel del tratamiento se puede adaptar a la capacidad real de asimilación de las aguas receptoras (lo que se debe evaluar individualmente). El problema de este enfoque es la dificultad de su aplicación práctica, pues para conocer la capacidad asimilativa es necesario estudiar las condiciones hidráulicas, de dispersión, fisicoquímicas y biológicas del cuerpo de agua. Además, también se deben considerar los planes para el desarrollo futuro del área. Los factores anteriores sugieren que la estrategia basada en el enfoque de normas únicas de emisión puede ser la más apropiada, al menos como punto de partida en muchos

países en vías de desarrollo con limitada capacidad administrativa. Sin embargo, se deben resaltar los peligros de adoptar automáticamente normas de calidad del agua de los países occidentales industrializados. La definición de las normas de calidad del agua deben estar, en gran medida, de acuerdo con el nivel de desarrollo económico y social de una sociedad. Por ejemplo, muchas normas de calidad del agua que se aplican en los países occidentales se basan en los principios de la mejor tecnología disponible (MTD) y tecnología generalmente disponible (TGD). Éstos requieren plantas para tratar sus aguas residuales de acuerdo con la MTD para sustancias peligrosas y según la TGD para otras sustancias. Mientras que los países altamente industrializados pueden cubrir los costos económicos para aplicar estos principios, éstos pueden ser prohibitivos para el avance industrial y económico de los países en vías de desarrollo.

Por lo general, en los países de Europa central y del este, las normas de calidad del agua y de emisión son más estrictas. En algunos casos son demasiado estrictas para lograr su cumplimiento y en otros, son estrictas incluso para ser medidas (véase el estudio de caso IX, Danubio). En consecuencia, los contaminadores y operadores tienden a ignorar las normas. Además, es probable que se requiera una capacidad administrativa mayor que la disponible para hacer cumplir normas muy estrictas de calidad del agua. Como se ha mencionado anteriormente, se recomienda implementar solo aquellos reglamentos cuyo cumplimiento se puede vigilar.

Por lo tanto, las normas de calidad del agua aplicadas en los países en vías de desarrollo se deben amoldar al nivel local económico y tecnológico (alcanzable). De este enfoque se infiere que la severidad de las normas debe ir a la par con el aumento de la capacidad económica para cumplir normas más estrictas. Además, como por lo general es más fácil y económico lograr un alto nivel de tratamiento de aguas residuales durante la fase de planificación y diseño de cualquier producción industrial, se pueden imponer normas más estrictas del efluente (en comparación con las descargas existentes) en las nuevas descargas de aguas residuales. Estas medidas considerarían tanto el desarrollo económico como el aumento gradual de la protección ambiental.

#### **10.4.3 Instrumentos económicos**

En muchos países se está incrementando el uso de instrumentos económicos, pero su potencial todavía no se ha desarrollado plenamente. Hasta el momento, la mayoría de los gobiernos han utilizado principalmente medidas normativas para controlar la contaminación del agua. Sin embargo, la aplicación de instrumentos económicos en el control de la contaminación del agua puede

ofrecer muchas ventajas, tales como proporcionar incentivos para adoptar una conducta ambientalmente segura, aumentar los ingresos para financiar las actividades de control de la contaminación y asegurar el logro de los objetivos de calidad del agua al menor costo para la sociedad.

Los principales tipos de instrumentos económicos que se pueden aplicar en el contexto de la contaminación del agua son (Warford, 1994; véase el capítulo 6):

- Fijación de precios de los recursos.
- Cobros por el efluente.
- Cobros en el producto.
- Subsidios o supresión de subsidios.
- Tarifas por incumplimiento (multas).

Los prerequisites para lograr la implementación exitosa de la mayoría de los instrumentos económicos son establecer normas apropiadas, una administración eficaz, capacidad de monitoreo, vigilancia del cumplimiento, coordinación institucional y estabilidad económica. En la aplicación de los diferentes instrumentos económicos están implícitos varios grados de administración. Por ejemplo, los cobros por el efluente requieren un ambiente propicio y una gran capacidad y coordinación institucional. En cambio, la administración de los cobros en el producto es relativamente sencilla (Warford, 1994).

Uno de los factores claves para la implementación exitosa de los instrumentos económicos es el establecimiento adecuado de precios y tarifas. Si los precios son muy bajos, los contaminadores pueden optar por contaminar y pagar, como se ha visto en algunos países de Europa central y del este (véase el estudio de caso IX, Danubio). Además, los precios artificialmente bajos no generan ingresos adecuados para la operación y mantenimiento de los sistemas (véase el estudio de caso VII, México). Es muy difícil establecer precios apropiados porque, idealmente, los precios deben cubrir los costos directos, de oportunidad y ambientales (factores externos) (Iniciativa Nórdica para las Aguas Dulces, 1991).

Los instrumentos económicos incluyen, en diverso grado, el principio "el que contamina paga". Es obvio que los subsidios contradicen este principio pero en algunos casos se aplican por motivos políticos o sociales. En cambio, los cobros por el efluente concuerdan con este principio. En el caso de la fijación de precios de los recursos, se pueden utilizar escalas progresivas de cobros para permitir que los usuarios de gran escala subsidien el consumo de los usuarios de pequeña escala y equilibrar, de ese modo, las consideraciones sociales y el uso sostenible del recurso.

**Recuadro 10.2** Ejemplo de estimación indirecta de la carga contaminante

La estimación de la carga se puede basar, por ejemplo, en la disponibilidad de medición de un sistema de monitoreo. Sin embargo, debido a los limitados recursos disponibles generalmente solo es posible cubrir parte de la captación de un lago o río con estaciones de monitoreo, por consiguiente, se toma en cuenta solo algunos de los principales contribuyentes a la carga de contaminación. El resto de la captación se debe considerar basado en la experiencia y mediciones representativas de una captación similar. Además, es posible dar recomendaciones de cargas unitarias por población equivalente (pe) en relación con la situación económica. Las cargas unitarias de diferentes tipos de industrias y escorrentía agrícola y de bosques, por ejemplo, también se pueden deducir a partir de la agricultura o silvicultura de la zona.

**10.4.4 Sistemas de monitoreo**

Al implementar y operar un sistema de monitoreo se deben considerar algunos elementos importantes (véase el capítulo 9):

- Identificación de las necesidades de información para la toma de decisiones y el manejo.
- Evaluación de la capacidad (económica y humana) para mantener el sistema de monitoreo.
- Diseño adecuado del programa de monitoreo e implementación de las rutinas de acuerdo con los objetivos definidos.
- Recolección de datos.
- Manejo, registro y presentación de datos.
- Interpretación y manejo de datos.

Por lo general, en los programas de monitoreo se recolectan datos de análisis químicos y biológicos de muestras de agua o del equipo de campo conectado al sistema. Dependiendo de las instalaciones de laboratorio, instrumentos, recursos humanos y de transporte disponibles, todos los programas de monitoreo son, de alguna manera, limitados y recopilan datos principalmente mediante el muestreo directo. Por consiguiente, antes de tomar una decisión razonable sobre el diseño del sistema de monitoreo con respecto a un determinado problema de calidad del agua, muchas veces se tiene que llenar algunos vacíos de información. A pesar de ser menos exactas, existen técnicas indirectas para obtener información necesaria para una variedad de factores relacionados con la calidad del agua. Por ejemplo, se pueden obtener cálculos razonables de la cantidad de contaminantes que provienen de diversas fuentes a partir de las actividades que causan contaminación (véase el recuadro 10.2).

Otro problema frecuente relacionado con los programas tradicionales de monitoreo es la falta de concordancia entre las concentraciones medidas y las mediciones de flujos o descargas de agua, lo cual dificulta la cuantificación del transporte de los contaminantes. Cuando no existen redes hidrométricas establecidas o en operación o cuando no se dispone de instrumentos para medir el flujo, como en el caso de las descargas de aguas residuales, existen técnicas de estimación.

El diseño real de un sistema nacional adecuado de monitoreo totalmente operacional debe considerar la necesidad de herramientas complementarias (véase el estudio de caso III, Filipinas). La complejidad y extensión del área que se va a monitorear, el número de contaminantes monitoreados y la frecuencia del monitoreo deben ajustarse a los recursos disponibles. En gran medida, los datos disponibles determinan el nivel de complejidad de las herramientas de manejo que se pueden aplicar en el sistema de monitoreo. Un ejemplo del tipo de apoyo necesario para otros instrumentos de manejo es el requisito de datos confiables y frecuentes para fundamentar el cumplimiento de las normas del efluente (véase el estudio de caso XII, Jordania). En esta situación, el programa de monitoreo se debe adaptar a los requisitos detallados para el cumplimiento, tal como se define en los reglamentos.

#### **10.4.5 Modelos de calidad del agua**

En esta sección, los modelos se consideran como un conjunto de instrucciones basados en una teoría determinista de relaciones de causa-efecto que pueden cuantificar un problema específico de calidad del agua, por consiguiente, pueden apoyar decisiones racionales. Esto se puede hacer en diferentes niveles de complejidad, algunos de los cuales se discuten a continuación:

- *Cargas contaminantes.* Las decisiones preliminares se pueden tomar en relación con la reducción de determinada cantidad de carga de contaminación en un cuerpo de agua receptor. La intención es evaluar dónde se puede obtener una mayor reducción de la contaminación en relación con los costos incluidos.
- *Balance de masas.* El balance de masas se puede establecer mediante estimaciones de las cargas contaminantes junto con el flujo de agua o tiempo de permanencia en el cuerpo de agua. La importancia de las diferentes cargas se puede evaluar al comparar la magnitud de su contribución a la concentración del contaminante en las aguas receptoras. La importancia de las diferentes cargas para el nivel de contaminación del cuerpo receptor proporciona la base para tomar decisiones sobre una reducción eficaz del nivel de contaminación.

- *Evaluación del efecto.* La evaluación de los cambios en las fuentes de contaminación identificadas y su respectiva concentración en las aguas receptoras se puede realizar en diferentes niveles, desde relaciones empíricas simples hasta modelos de balance de masas de largo plazo. Un ejemplo muy conocido de relación empírica es el método Vollenweider para calcular los efectos de la eutroficación en los lagos (Vollenweider, 1968, 1975, 1976). Basado en la medición de muchos lagos, el método asocia las descargas de contaminación y las características estáticas del lago (como la profundidad del agua y el tiempo de retención) con los efectos esperados en la profundidad Secchi y concentración de algas. La evaluación del efecto también puede combinar consideraciones sobre la eficiencia en función de los costos de la reducción de la contaminación en la fuente, la concentración resultante en las aguas receptoras y los respectivos efectos en el ecosistema.
- *Modelos matemáticos simples de balance de masas.* La aplicación de esta herramienta permite considerar cambios posibles con el transcurso del tiempo en relación con cualquier reducción en la carga de contaminación. Se han desarrollado muchos de estos modelos bioquímicos y algunos están disponibles para el público.
- *Modelos ecológicos avanzados.* Para determinar efectos de niveles mayores de la contaminación en un ecosistema, se dispone de modelos ecológicos más complejos. Estos modelos pueden ser la base para un nivel más refinado de predicción (véase el estudio de caso III, Filipinas) y se debe usar para aguas receptoras con un alto grado de complejidad e importancia, siempre que se disponga o se puedan obtener los recursos suficientes (financieros, humanos e institucionales).

Los ejemplos anteriores sirven para ilustrar que la evaluación cuantitativa de los problemas de contaminación se pueden realizar con diversos niveles de complejidad, desde cálculos manuales hasta avanzados modelos ecológicos.

#### **10.4.6 Evaluación del impacto ambiental y coordinación multisectorial**

La evaluación del impacto cumple un papel central en el proceso de proporcionar información sobre las consecuencias para la calidad del agua derivadas de los programas y proyectos de desarrollo. Sin embargo, además de los impactos en el ambiente físico, los impactos en los recursos hídricos muchas veces tienen consecuencias en el ambiente biológico y socioeconómico. Por consiguiente, la evaluación del impacto sobre la calidad del agua generalmente se debe considerar como parte integral de la evaluación del impacto ambiental (EIA). El uso de las evaluaciones de impacto como

herramientas para el manejo ambiental es cada vez mayor en muchos países (véase los estudios de caso II y IV, China y Nigeria, respectivamente).

El principal objetivo de la evaluación de impactos usada en el manejo de la calidad del agua es identificar el impacto potencial en la calidad del agua derivados de los planes, programas y proyectos propuestos. Por consiguiente, sirve para:

- Ayudar en la toma de decisiones para el desarrollo de proyectos y asignación de prioridades del proyecto final.
- Proporcionar, en la medida de lo posible, información pertinente y cuantitativa sobre la calidad del agua, de manera que se puedan evitar o reducir los impactos potenciales en la fase de diseño del programa.
- Proporcionar una base para desarrollar medidas de gestión que permitan evitar o reducir los impactos negativos durante o después de la implementación del proyecto.

La evaluación del impacto debería ser parte integral del estudio de factibilidad y planificación del desarrollo de los recursos múltiples de los proyectos. Debe proporcionar una evaluación cuantitativa de los impactos físicos, biológicos, económicos y sociales de los proyectos propuestos y la probabilidad de que se produzcan. Por lo tanto, la evaluación del impacto debe lograr su objetivo al proporcionar a los encargados de tomar decisiones la mejor información cuantitativa disponible relacionada con las consecuencias buscadas y no buscadas de determinadas inversiones y alternativas, medios y costos para manejar los efectos indeseables y las consecuencias de no tomar ninguna medida.

Un elemento importante para cualquier evaluación de impactos es fomentar la participación pública en el proceso. El público debe tener la oportunidad de opinar sobre los proyectos y programas propuestos y se deben establecer procedimientos para considerar estos criterios durante el proceso de toma de decisiones. En muchos casos, hay organizaciones no gubernamentales (ONG) involucradas en los temas ambientales que pueden proporcionar valiosas contribuciones para la evaluación de impactos. La participación pública puede facilitar la implementación de los proyectos y programas porque las personas sienten que el proyecto es suyo y también por la influencia que causa entre los usuarios directos (véase los estudios de caso III, V, VI y IX de Filipinas, Sudáfrica, Brasil y Danubio, respectivamente).

Además de identificar y describir los impactos en la calidad del agua que causaría un programa o proyecto propuesto si no se tomaran las medidas de gestión, la evaluación de impactos debe:



- Especificar las medidas necesarias para proteger la calidad del agua.
- Asegurar que esas medidas estén incluidas en el plan de implementación del proyecto.

Por último, se debe asociar la evaluación de los impactos en la calidad del agua con la factibilidad técnica y económica de manera que se pueda modificar efectivamente el proyecto y el manejo de la calidad del agua. Los aspectos de la calidad del agua y la evaluación económica deben estar vinculados para asegurar que tanto los beneficios de la calidad del agua como las limitaciones del proyecto, así como los costos del manejo de la calidad del agua, se puedan considerar en análisis posteriores de costo-beneficio.

Las funciones operacionales de la evaluación del impacto de la calidad del agua deben proporcionar los antecedentes necesarios para:

- La aprobación o rechazo de las solicitudes para obtener licencias de descarga de aguas residuales.
- La inclusión de las condiciones de operación para las licencias de descarga de aguas residuales.
- Contribuir a las EIA.
- La incorporación de las consecuencias de la calidad del agua en la asignación final de prioridades de los proyectos de desarrollo (hecho por las autoridades en diferentes niveles).
- Las modificaciones en el diseño técnico de los proyectos de desarrollo para proteger los recursos hídricos.

Las autoridades del agua o ambientales pertinentes deben desarrollar la capacidad para llevar a cabo y supervisar las evaluaciones del impacto en la calidad del agua, aunque no siempre son quienes realizan las evaluaciones, sino los ministerios de línea, autoridades locales o empresas privadas. Sin embargo, es necesario desarrollar y coordinar procedimientos detallados y normas generales de EIA en el país.

El enfoque integral del manejo de los recursos hídricos implica evaluar el desarrollo sectorial en relación con los posibles impactos en la calidad del agua y considerar esta evaluación al diseñar y asignar prioridades a los proyectos de desarrollo. En consecuencia, los sistemas de manejo de los recursos hídricos deben incluir el intercambio multisectorial de información, procedimientos de coordinación y técnicas para evaluar proyectos individuales en relación con sus consecuencias para los recursos hídricos y procedimientos que aseguren la inclusión de aspectos referentes a los recursos hídricos en el diseño final y asignación de prioridades de los proyectos.

Por lo general, se debe llevar a cabo una revisión rápida del proyecto para prever las consecuencias posibles en los recursos hídricos en cuanto a la calidad

del agua y otros aspectos; si el proyecto puede causar problemas relacionados con el agua debe estar sujeto a:

- Una evaluación del impacto (posiblemente EIA).
- Una evaluación de posibles requisitos específicos que afecten al recurso hídrico implicado y las recomendaciones para diseñar proyectos que cumplan tales requisitos.
- Identificación de la posible interacción o competencia con otros proyectos planificados o en curso en relación con el uso del mismo recurso hídrico.
- Recomendaciones sobre posibles mejoras en el diseño de los proyectos para lograr una explotación óptima de los recursos hídricos.

Por último, las evaluaciones y recomendaciones deben estar incluidas en el proceso de asignación de prioridades del proyecto con énfasis tanto en las consecuencias ambientales como económicas de los recursos hídricos.

La integración de los aspectos de contaminación del agua en el proceso de asignación de prioridades hace que sea necesario aplicar herramientas y procedimientos para asegurar el intercambio adecuado de información entre los organismos que preparan el proyecto, las autoridades de la contaminación del agua y los encargados de tomar las decisiones finales. Estos requisitos son:

- Informar a las autoridades de la contaminación del agua sobre las nuevas propuestas de proyectos que pueden causar un impacto o implicar requisitos específicos para la calidad del agua a fin de elaborar una evaluación de los impactos y recomendaciones antes de tomar las decisiones finales (incluida la explotación potencial alternativa de los recursos hídricos implicados).
- Que estas mismas autoridades tengan acceso rápido a la información pertinente sobre los proyectos registrados, planificados y en curso relativos al agua, por ejemplo, mediante bases de datos adecuadas.

#### **10.4.7 Principios para seleccionar y combinar las herramientas de gestión**

Para seleccionar las herramientas e instrumentos de gestión que se deben aplicar a fin de mejorar el control de la contaminación del agua en una determinada situación, se deben considerar algunos principios fundamentales que ayudan a lograr un manejo eficaz. Estos principios son:

- Balance entre los recursos disponibles y la gravedad del problema.
- Sostenibilidad asegurada.
- Soluciones ganadoras que cumplan objetivos ambientales y de otra índole.

##### *Balance de los recursos*

Este principio supone un insumo razonable de recursos financieros, humanos u otros recursos para manejar un problema específico, según la prioridad y

gravedad asignada a ese problema. Por ejemplo, si la descarga de las aguas residuales se concentra en algunas áreas de un país, no es necesario considerar las regiones o distritos no afectados por la descarga de aguas residuales y si se prevé que esta situación va a continuar, no será necesario formar capacidades técnicas ni administrativas para tratar el problema en todas las regiones o distritos. De igual manera, los requisitos para el tratamiento y los límites para las actividades que requieren una licencia de descarga pueden ser menos exigentes cuando se trata solo de pocos contaminadores y si las aguas receptoras no muestran ningún síntoma de contaminación.

### *Sostenibilidad asegurada*

Este principio se relaciona con los métodos y soluciones técnicas que se deben considerar para controlar la contaminación del agua. En la mayoría de los países en vías de desarrollo, se tiene poca o ninguna posibilidad de operar y mantener el equipo técnico avanzado. Los donantes y receptores de los proyectos han tendido a favorecer soluciones técnicas muy avanzadas y sensibles, incluso en situaciones en las que un equipo más sencillo y duradero habría sido suficiente y adecuado (véase el estudio de caso VII, México). Esto puede conllevar al fracaso de programas de desarrollo. Por lo tanto, en la mayoría de los países en vías de desarrollo, es mejor que las soluciones técnicas sean sencillas. Un ejemplo de esto es la recomendación de usar lagunas simples de estabilización para el tratamiento de aguas residuales (como en el estudio de caso VII, México).

La sostenibilidad también implica mejorar las estructuras existentes, según convenga, en lugar de construir nuevas estructuras. Las instituciones o métodos existentes han demostrado su viabilidad en gran medida. Es más factible seguir asignando recursos a las instituciones conocidas que asignar recursos adicionales a nuevas instituciones.

### *Soluciones ganadoras*

Las situaciones ganadoras (Bartone y otros, 1994; Warford, 1994; véase también el capítulo 6) se crean al aplicar instrumentos que conllevan al mejoramiento del control de la contaminación del agua así como de otros sectores (por ejemplo, mejorar la salud o la economía). Esto significa evitar el difícil equilibrio entre los beneficios ambientales y otras limitaciones. Por lo general, los instrumentos económicos se encuentran en la categoría de ganadores.

### *Instrumentos reglamentarios versus instrumentos económicos*

En comparación con los instrumentos económicos, las ventajas del enfoque normativo para el control de la contaminación del agua es que ofrece un grado

razonable de predicción sobre la reducción de la contaminación, es decir, permite que las autoridades controlen cuáles son las metas ambientales que se pueden lograr y cuándo (Bartone y otros, 1994). Una desventaja principal del enfoque normativo es su ineficacia económica (véase también el capítulo 6). Los instrumentos económicos tienen la ventaja que incentivan la modificación de la conducta de los contaminadores en favor del control de la contaminación y proporcionan ingresos para financiar las actividades de control. Además son mucho más adecuados para tratar las fuentes no puntuales de contaminación. Sin embargo, la fijación de precios y cobros apropiados son determinantes para el éxito de los instrumentos económicos y es muchas veces difícil de lograr.

Según estos antecedentes, lo más apropiado para la mayoría de los países es combinar los instrumentos normativos con los económicos para controlar la contaminación del agua. En los países en vías de desarrollo, donde los recursos financieros y la capacidad institucional son muy limitados, los criterios más importantes para equilibrar los instrumentos económicos y normativos deben ser la eficiencia en función de los costos (los que logran los objetivos al menor costo) y la factibilidad administrativa.

Por último, en los casos de descargas altamente tóxicas o cuando se requiere una reducción drástica o la interrupción total de una descarga, se debe aplicar la reglamentación (una prohibición) en lugar de los instrumentos económicos.

#### *Niveles del control de la contaminación del agua*

Según Soliman y Ward (1994), las diversas herramientas de manejo disponibles se pueden aplicar y combinar en cinco categorías (niveles) del control de la contaminación del agua que reflejen diversos niveles de desarrollo y capacidad económica y administrativa:

- *Manejo de la crisis.* Modalidad sin grandes iniciativas y con poca gestión (por ejemplo sin reglamentos); las medidas se toman solo en casos de desastres o emergencias y se forma un equipo de especialistas para manejar el problema; no se hacen esfuerzos para evitar el problema en el futuro. Actualmente, este enfoque es adecuado solo para muy pocos casos.
- *La estrategia de usar solo criterios o normas.* En esta fase, el riesgo de los problemas ambientales justifica un enfoque más enérgico para el manejo de la contaminación del agua; se pueden formular criterios y normas de calidad del agua; monitorear el cumplimiento de las normas; aún así, es una modalidad pasiva de manejo en la que no se hace ningún intento para modificar el sistema.

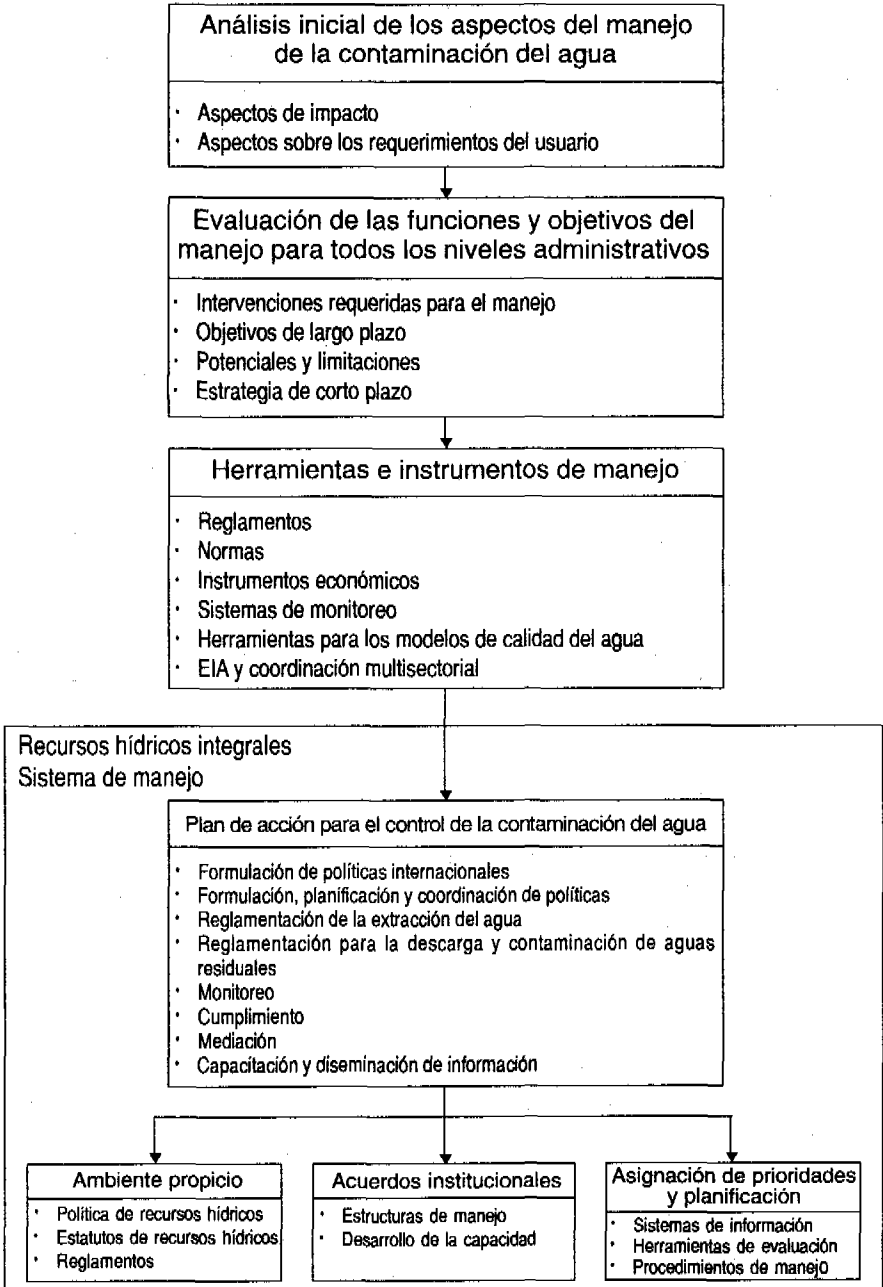
- *Estrategia de control.* Si los resultados del monitoreo realizado con la estrategia anterior muestran incumplimiento de las normas de calidad del agua, se deben aplicar otros instrumentos; se puede introducir normas para efluentes y licencias para la descarga de aguas residuales junto con procedimientos para el cumplimiento y sanción de las infracciones. En este caso, la gestión adopta una modalidad activa.
- *Estrategia de apoyo para el cumplimiento.* En muchos países en vías de desarrollo todavía se producen infracciones generalizadas de las licencias debido a los altos costos del tratamiento requerido para cumplir las normas del efluente. En esta situación, los encargados de tomar decisiones pueden decidir ofrecer ayuda financiera a las compañías y municipalidades para tratar sus efluentes adecuadamente, en lugar de clausurar las instalaciones, lo que muchas veces sería la única opción para manejar las continuas infracciones. La asignación de prioridades para la asistencia financiera y técnica es un componente vital en esta etapa, cuando la gestión alcanza una modalidad de apoyo.
- *Mejoramiento de la gestión y su política.* La administración prevé el futuro; existen subvenciones para la investigación del control de la contaminación del agua y aplicación de técnicas modernas; se consideran problemas potenciales y se previene la ocurrencia de tales problemas; la gestión adopta una modalidad interactiva.

## **10.5 Plan de acción para el control de la contaminación del agua**

### **10.5.1 Componentes y procesos de un plan de acción**

Las secciones anteriores han descrito diversos elementos y aspectos de lo que se podría considerar un plan de acción para el control de la contaminación del agua. Algunos elementos son idénticos a los elementos de los planes maestros tradicionales, pero a diferencia de los planes maestros prescriptibles y rígidos, el concepto de plan de acción proporciona un marco flexible y dinámico para el desarrollo y manejo de los recursos hídricos. Es muy importante reconocer la naturaleza dinámica del concepto de plan de acción, ya que su interés reside en su flexibilidad. El plan de acción se debe monitorear continuamente y debe adaptar las recientes tendencias de desarrollo. Estos cambios solo se pueden realizar con un enfoque flexible y no prescriptible.

En el gráfico 10.1 se presenta un resumen de los componentes y procesos del concepto del plan de acción. Uno de los principales resultados del plan de acción es una lista de acciones propuestas para la implementación con el fin de lograr un manejo eficaz y sostenible de la calidad del agua. Para facilitar la



**Figura 10.1** Elementos y procesos de un plan de acción para el control de la contaminación del agua

implementación y actualización es preferible que la lista de acciones se prepare con un formato común para cada acción identificada. Por ejemplo, cada acción debe incluir información sobre los antecedentes (justificación), objetivo, resultado esperado y las tareas necesarias. Esta información facilitará la transformación de las acciones pertinentes en proyectos, según convenga. Las acciones se pueden organizar de acuerdo con las siguientes categorías (figura 10.1):

- Acciones que apoyen el desarrollo de un ambiente propicio, es decir, un marco legal nacional, reglamentos y estatutos locales para fomentar el manejo adecuado de la contaminación del agua y restringir prácticas potencialmente nocivas.
- Acciones que propicien un marco institucional que permita una interacción entre los niveles nacionales, intermedios y locales.
- Acciones que mejoren la planificación y capacidad para asignar las prioridades que permitirán elegir las mejores alternativas a los encargados de tomar decisiones (basadas en políticas, recursos disponibles, impactos ambientales y consecuencias sociales y económicas).

La capacitación y el desarrollo de la capacidad son elementos integrales de las acciones propuestas que se aplican a todas las categorías. Además de la capacitación para desarrollar la habilidad de evaluar, es probable que se requieran diferentes actividades de capacitación, educación e información en los diversos niveles (como programas de orientación, desarrollo de programas de estudios y extensión de la capacitación) para llevar a cabo las funciones descritas en la estrategia de corto plazo.

Conforme con los principios subyacentes del gobierno como soporte de un enfoque basado en la demanda, pero con gestión en los niveles apropiados más bajos, es necesario crear una estructura que facilite la descentralización de la gestión (véase el estudio de caso IX, Danubio). Los organismos nacionales se deben preocupar por las funciones esenciales que no se tratan en otros niveles y deben actuar como soporte para examinar y revisar la estructura general de manera que responda a las necesidades y prioridades actuales.

El marco recomendado debe estar concebido para lograr un equilibrio entre los niveles nacionales y locales que realizan las funciones de manejo mencionadas anteriormente. El marco de organización que se quiere lograr debe, en la medida de lo posible, aprovechar las estructuras existentes.

### **10.5.2 Implementación, monitoreo y actualización del plan de acción**

Según el número de acciones propuestas en el plan de acción, puede ser recomendable una implementación gradual de las acciones. Por ejemplo, las acciones podrían programarse de acuerdo con los siguientes criterios:

- *Cohesión.* Se pueden agrupar algunas acciones.
- *Condicionalidad.* El patrón de las acciones puede ser muy similar al patrón general del plan de acción, por ejemplo, se puede crear el marco legal que permita un ambiente propicio, las estructuras institucionales apropiadas y los procedimientos y herramientas requeridos para el manejo de la calidad del agua.
- *Dependencia.* Algunas acciones solo se pueden comenzar una vez que se han concluido otras, por ejemplo, la capacitación para desarrollar un servicio integral de extensión no se puede llevar a cabo sin un previo acuerdo para establecer este servicio.
- *Urgencia.* Algunas acciones comienzan en la fase inicial porque son consideradas de alta prioridad.

Para la implementación gradual se puede considerar el siguiente concepto general:

- Crear/adaptar un ambiente favorable, es decir, políticas, procedimientos judiciales, reglamentos, etc.
- Desarrollo/configuración de las estructuras institucionales.
- Producción/aplicación de las herramientas e instrumentos de manejo necesarios.

Es importante reconocer que el plan de acción no tendrá ninguna importancia sin la implementación del programa de acción y todas las partes implicadas deben conocer los principios y procedimientos del plan y estar preparados para cooperar en su implementación. El programa de acción es el elemento principal del plan de acción. Por lo tanto, los procedimientos para monitorear el progreso de la implementación deben formar parte del plan. Se debe identificar indicadores claves que muestren el progreso, así como los criterios asociados del éxito.

Como se ha señalado anteriormente, un indicador clave obvio para monitorear el progreso del plan de acción sería el avance en el establecimiento de estructuras institucionales claves. Otros indicadores útiles, según las acciones previstas, podrían ser la asistencia a cursos y talleres de capacitación, la implementación de un sistema de licencias para la descarga de aguas residuales y el número de análisis realizados como parte del programa de monitoreo de la calidad del agua. Para documentar el progreso del plan de acción (o su ausencia) se debe instituir un sistema regular para informar sobre las actividades de monitoreo.

El plan de acción, al ser un proceso constante, requiere actualización frecuente (véase el estudio de caso III, Filipinas) y nuevas acciones a medida que cambie el contexto, se den otros requisitos o el avance no concuerde con



las expectativas o plazos establecidos. También podría ser pertinente la modificación de las acciones propuestas anteriormente. Los informes regulares sobre el monitoreo se deben complementar con listas actualizadas del proyecto/ acción.

## 10.6 Referencias

- Bartone, C., Bernstein, J., Leitmann, J. y Eigen, J. 1994 *Toward Environmental Strategies for Cities: Policy considerations for Urban Development Management in Developing Countries*. UNDP/UNCHS/World Bank, Urban Management Programme, Washington, D.C.
- Directorate of Water Development/Danida, 1994 *Uganda Water Action Plan*. Directorate of Water Development, Uganda and Danida, Denmark.
- Nordic Freshwater Initiative 1991 *Copenhagen Report. Implementation Mechanisms for Integrated Water Resources Development and Management*. Background document for the UN Conference on Environment and Development, Nordic Freshwater Initiative, Copenhagen.
- OMM/UNESCO 1991 *Report on Water Resources Assessment: Progress in the Implementation of the Mar del Plata Action Plan and a Strategy for the 1990s*. World Meteorological Organization, Geneva and United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris.
- Soliman, W.R. y Ward R.C. 1994 The evolving interface between water quality management and monitoring. *Wat. Int.*, **19**, 138-44.
- UNCED 1992 Chapter 18 Protection of the quality and supply of freshwater resources. En: *Agenda 21*. United Nations Conference on Environment and Development, Ginebra.
- Vollenweider, R.A. 1968 *Scientific Fundamentals of the Eutrophication of Lakes and Flowing Waters, with Particular Reference to Nitrogen and Phosphorus as Factors in Eutrophication*. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- Vollenweider, R.A. 1975 Input-output models. With special reference to the phosphorus loading concept in limnology. *Schw. Z. Hydrolog.* **27**, 53-84.
- Vollenweider, R.A. 1976 Advances in defining critical load levels for phosphorus in lake eutrophication. *Mem. dell'Inst. Ital. di Idrobiol.*, **33**, 53-83.
- Warford, J.J. 1994 Environment, health, and sustainable development: the role of economic instruments and policies. Discussion paper. Director General's Council on the Earth Summit Action Programme for Health and Environment, World Health Organization, Ginebra.



## **Estudio de caso I\***

### **EL RÍO GANGES, INDIA**

#### **I.1 Introducción**

Casi todas las religiones del mundo muestran una actitud reverente hacia el agua y la mayoría emplea agua “sagrada” en sus ceremonias. La pureza de esa agua, el conocimiento de sus antecedentes históricos, su origen mítico y la inaccesibilidad de las fuentes remotas, elevan aún más su importancia. En la India, se trata con reverencia el agua del río Ganges.

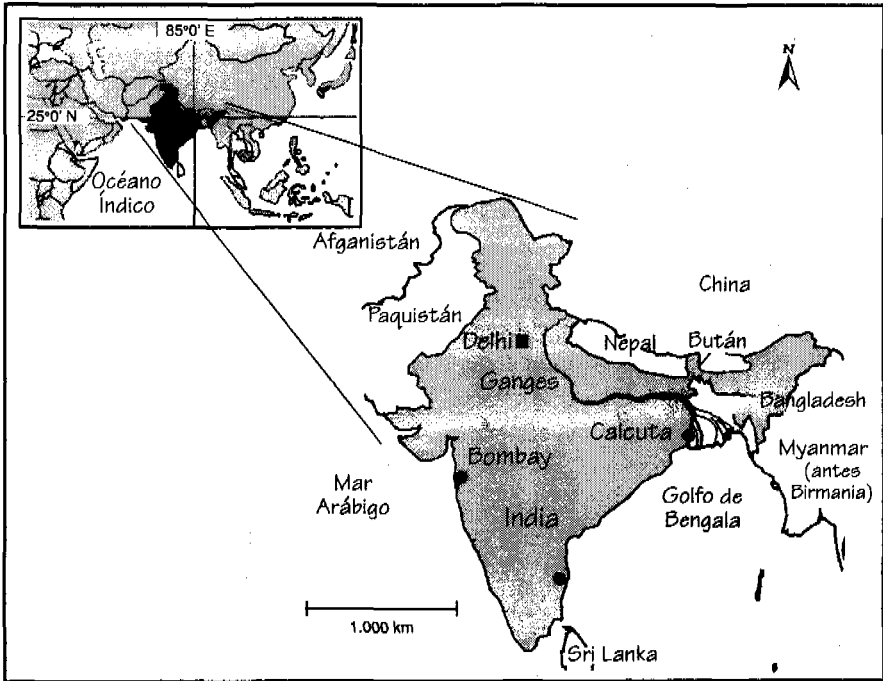
El río Ganges ocupa una posición única en la cultura de la India. La leyenda cuenta que el río descendió del cielo como respuesta a las fervorosas plegarias del rey Bhagirathi para salvar a sus difuntos ancestros. Desde tiempos inmemoriales el río Ganges ha sido el río de la fe, devoción y veneración de la India. Millones de hindúes consideran que el agua es sagrada. Incluso en la actualidad, la gente lleva consigo agua del río Ganges por toda la India y el extranjero porque es “sagrada” y por sus propiedades “curativas”. Sin embargo, el río no solo es una leyenda, también es un sistema que sustenta la vida de la gente de la India. Es importante porque:

- En la cuenca del río Ganges, densamente poblada, habita 37% de la población de la India.
- El sistema de la cuenca del río Ganges atraviesa ocho estados de la India.
- Aproximadamente 47% del área regada total de la India se encuentra en la cuenca del río Ganges.
- Ha sido la fuente principal de navegación y comunicación desde la antigüedad.
- La planicie del río Ganges ha sido testimonio del florecimiento del gran talento creativo de la India.

#### **I.2 El río Ganges**

El río Ganges nace en las laderas sureñas de los montes Himalaya (figura I.1) del glaciar Gangotri a 4.000 metros sobre el nivel del mar. Fluye velozmente por 250 km de montañas y desciende abruptamente hasta 288 metros sobre el nivel del mar. En la región de Himalaya, el Bhagirathi se une a los tributarios

\* *Este estudio de caso fue preparado por Y. Sharma*



**Figura I.1** Mapa de la India que muestra el río Ganges

Alaknanda y Mandakini para formar el Ganges. Después de entrar a las planicies de Hardiwar, se dirige hacia la bahía de Bengala y cubre 2.500 km a través de las provincias Uttar Pradesh, Bihar y Bengala Occidental (Figura I.2). En las planicies se une a los ríos Ramganga, Yamuna, Sai, Gomti, Ghaghara, Sone, Gandak, Kosi, Damodar y otros más pequeños.

La pureza del agua depende de la velocidad y la capacidad de dilución del río. Gran parte del flujo del río Ganges se usa para riego tan pronto como ingresa a las planicies de Hardiwar. A partir de allí tiene un caudal mínimo por algunos cientos de kilómetros hasta llegar a Allahabad, donde es recargado por sus tributarios. Sus tributarios representan 60% de su caudal y la contribución de estos a la carga de contaminación es pequeña, con excepción de los ríos Gomti, Damador y Yamuna, para los cuales se han iniciado programas de acción separados en la Fase II del "Plan Nacional de Conservación de Ríos".

El río Ganges transporta más sedimentos que cualquier otro río del mundo y el depósito de este material produce el delta más grande del mundo (400 km de norte a sur y 320 km de este a oeste). Los manglares del delta del río

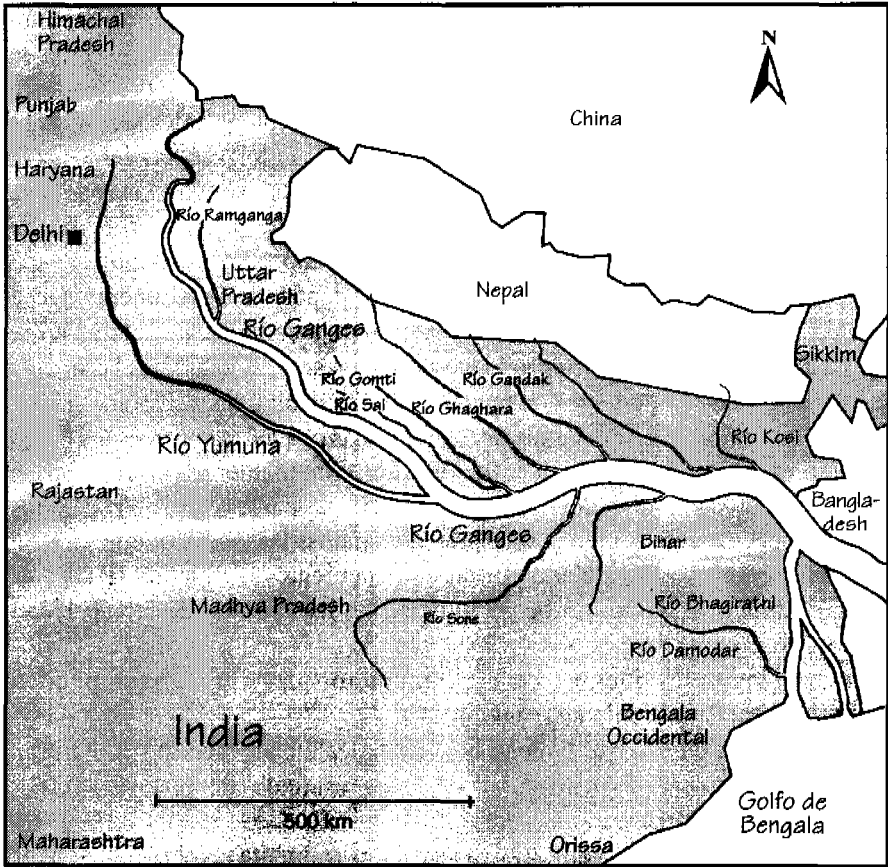


Figura 1.2 Mapa de la India con la ruta del río Ganges

Ganges tienen inigualables ecosistemas forestales con especies raras y valiosas de plantas y animales.

### 1.2.1 Explotación

Debido al rápido progreso de las comunicaciones y el comercio, ha habido un acelerado crecimiento de las áreas urbanas del río Ganges. Como consecuencia, el río no solo constituye una fuente de agua sino también un canal que recibe los residuos urbanos. Actualmente, un tercio de la población urbana del país vive en los pueblos de la cuenca del río Ganges. De los 2.300 pueblos del país, 692 están ubicados en esta cuenca, 100 de los cuales están en las orillas del mismo río.

Sin embargo, la creencia de que el río Ganges es “sagrado” no ha impedido su uso, abuso y contaminación. Todos los pueblos contribuyen con su carga de contaminación. Se ha calculado que más de 80% de la carga total de contaminación orgánica (expresada como demanda bioquímica de oxígeno (DBO)) proviene de fuentes domésticas, es decir, de los asentamientos a lo largo del río. Debido a la excesiva extracción del agua para riego en las regiones altas del río, el flujo durante la temporada seca es mínimo. La deforestación descontrolada en las últimas décadas, cuyo resultado es la erosión de la capa vegetal del área de captación, ha aumentado los depósitos de sedimento que, a su vez, elevan el lecho del río y producen inundaciones devastadoras en la época de lluvias y un flujo estancado en la estación seca. A lo largo del principal curso del río hay 25 pueblos con más de 100.000 habitantes y 23 que superan los 50.000 habitantes. Además hay 50 pueblos más pequeños con más de 20.000 habitantes. También se han identificado aproximadamente 100 industrias principales ubicadas directamente en el río, 68 de las cuales están consideradas como excesivamente contaminantes. De estas industrias, 55 han cumplido con los reglamentos y han instalado plantas de tratamiento de efluentes (PTE); las demás fábricas están bajo proceso judicial. Se ha abusado de la capacidad natural asimilativa del río.

Las principales fuentes de contaminación del río Ganges pueden caracterizarse de la siguiente manera:

- Residuos domésticos e industriales. Se ha calculado que al río ingresan aproximadamente  $1,4 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  de aguas residuales domésticas y  $0,26 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  de efluentes industriales.
- Residuos domésticos sólidos dispuestos directamente en el río.
- Fuentes no puntuales de escorrentía agrícola que contienen residuos de plaguicidas y fertilizantes.
- Cadáveres de animales y humanos a medio quemar o no quemados arrojados al río.
- Excretas de los pobladores de pocos recursos que viven en las orillas.
- La población que se baña y los rituales.

### **I.3 El Plan de Acción del Río Ganges**

#### **I.3.1 Conciencia científica**

En la India hay 14 principales cuencas fluviales cuyas aguas se usan para actividades humanas y de desarrollo. Estas actividades contribuyen significativamente a las cargas de contaminación de estas cuencas. La población más grande de esas cuencas es la del río Ganges. La Junta Central de Control

de la Contaminación (JCCC), organismo nacional de la India para el monitoreo de la contaminación ambiental, emprendió un estudio integral en 1981-1982 para clasificar las aguas del río por el uso. Este informe fue el primer documento sistemático que formó la base del Plan de Acción del Río Ganges (PAG). En él se detallaron modos de emplear la tierra, la carga de contaminación doméstica e industrial, el uso de fertilizantes y plaguicidas, aspectos hidrológicos y la clasificación del río. El Departamento del Ambiente utilizó este inventario de la contaminación en 1984 en la formulación de un documento de política. En 1985, ante la necesidad de la urgente intervención y con el liderazgo del Primer Ministro se estableció la Autoridad Central del Río Ganges (ACG).

La Dirección del Proyecto del Río Ganges (DPG) se estableció en junio de 1985 como organismo nacional del Ministerio Nacional del Ambiente y Bosques. La DPG servía como secretaria de la ACG y también como la agencia central de ejecución. Tenía como propósito coordinar los diferentes ministerios participantes y administrar los fondos de este plan totalmente patrocinado por el Gobierno Central. El programa fue considerado como una sola inversión con efectos demostrables sobre la calidad del agua del río. La ejecución de las obras y la operación y mantenimiento posteriores estuvieron bajo la responsabilidad de los gobiernos estatales y bajo la supervisión de la DPG. La DPG debía permanecer activa hasta que se completara el PAG. El plan se inició formalmente el 14 de junio de 1986. El objetivo principal fue interceptar y desviar los residuos provenientes de los asentamientos urbanos. El tratamiento y uso económico de los residuos, como un medio para ayudar a la recuperación de recursos, formaron parte integral del plan.

Se estimó que debía realizarse una investigación coordinada integral sobre los siguientes aspectos del río Ganges:

- Las fuentes y naturaleza de la contaminación.
- Un plan racional del uso de los recursos del río Ganges para la agricultura, crianza de animales, pesca, bosques, etc.
- Los asentamientos humanos en las orillas del río.
- El posible renacimiento del transporte en el río Ganges, al igual que en sus tributarios.

Uno de los resultados fue un programa multidisciplinario coordinado de investigación sobre el río con la participación de 14 universidades ubicadas en la cuenca. Este fue uno de los mayores esfuerzos realizados en el país, en el que participaron cientos de científicos y fue financiado por el PAG. El informe resultante fue un perfil integrado del río.

El PAG solo fue el primer paso en el mantenimiento de la calidad del agua del río. Se limitó a intervenciones rápidas y eficaces pero sostenibles para

detener el daño. Los estudios llevados a cabo por la JCCC en 1981-1982 revelaron que la contaminación del Ganges estaba aumentando pero no había alcanzado graves proporciones, excepto en ciertos pueblos industriales principales como Kanpur y Calcuta en el Hoogly, junto con algunos otros pueblos. Estos lugares fueron identificados como “lugares críticos” que requerían intervenciones urgentes. Los factores causales de estas situaciones fueron estudiados para tomar medidas de control eficaces y rápidas. Esta estrategia fue ejecutada urgentemente durante la primera fase del plan en la que solo se incluyeron 25 pueblos. Los estudios revelaron que:

- 75% de la carga contaminante provenía de las aguas residuales municipales sin tratar.
- 88% de las aguas residuales municipales eran de los 25 pueblos de la Clase I del río principal.
- Solo algunas de estas ciudades tenían plantas de tratamiento de aguas residuales (inadecuadas y por lo general no funcionales).
- Todas las industrias representaron solo 25% de la contaminación total (en algunas áreas, como Calcuta y Kanpur, el residuo industrial era tóxico y difícil de tratar).

### **I.3.2 Objetivos alcanzables**

El objetivo del PAG era reducir la contaminación, limpiar el río y restaurar la calidad del agua al menos a la Clase B (es decir, apta para el baño: 3 mg l<sup>-1</sup> de DBO y 5 mg l<sup>-1</sup> de oxígeno disuelto). Esto fue considerado un objetivo factible e importante debido a que el Ganges se distingue por su uso para baños rituales masivos. Los otros beneficios ambientales incluyeron mejoras para la pesca, flora, fauna acuática, calidad estética, aspectos de salud y niveles de contaminación.

Los objetivos múltiples fueron mejorar la calidad del agua, como una medida inmediata de corto plazo, mediante el control de los residuos municipales e industriales. Los objetivos de largo plazo fueron mejorar las condiciones ambientales a lo largo del río al reducir las cargas contaminantes en la fuente. Estos no solo incluían la creación de plantas de tratamiento de residuos, sino también la legislación para controlar los focos no puntuales de contaminación, tales como la escorrentía agrícola que contiene residuos de fertilizantes y plaguicidas nocivos para la flora y fauna acuática. Antes de la creación del PAG, los diversos organismos del gobierno no tenían delimitadas sus responsabilidades respecto a la contaminación del río. Los contaminantes que llegaban al Ganges de fuentes puntuales no se mezclaban bien en el río debido a las corrientes lentas y como resultado, la contaminación por lo general



permanecía en los malecones donde el pueblo se baña y usa el agua para fines domésticos.

### **I.3.3 La estrategia**

El PAG tenía una estrategia múltiple para mejorar la calidad del agua del río que fue totalmente financiada por el Gobierno Central, con fondos destinados a los gobiernos estatales. El principal objetivo del plan era controlar los residuos municipales e industriales. Se identificaron las posibles fuentes puntuales y no puntuales de contaminación. El control de las fuentes puntuales de residuos municipales urbanos para los 25 pueblos de la Clase I a lo largo del río principal se inició con los fondos del Gobierno Central. El control de las fuentes no puntuales también se realizó mediante intervenciones directas financiadas con fondos del proyecto. El control de las fuentes no puntuales de escorrentía agrícola lo realizó gradualmente el Ministerio de Agricultura mediante la reducción del uso de fertilizantes y plaguicidas. Para el control de las fuentes puntuales de residuos industriales se aplicó el principio el que contamina paga.

En los 25 pueblos de la Clase I (más de 100.000 habitantes), se implementaron 261 subproyectos con un desembolso de Rs 4.680 millones (rupias de la India), equivalente a 156 millones de dólares. Se ha concluido más de 95% del programa y los demás subproyectos se encuentran en diversas etapas de finalización. El mejoramiento de la calidad del agua del río, aunque notorio, se debate intensamente en los medios de comunicación por ciertas organizaciones no gubernamentales (ONG). El éxito del programa puede medirse por el hecho de que el Gobierno ha puesto en acción la fase II del plan, que cubre algunos de los tributarios. Además, el plan de acción anterior se ha expandido para cubrir las demás cuencas fluviales principales de la India, incluidos algunos lagos, y se conoce como el "Plan Nacional de Conservación de Ríos".

#### *Residuos domésticos*

El principal problema de contaminación por aguas residuales municipales domésticas ( $1,34 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ) provenientes de los 25 pueblos seleccionados se manejó directamente con la financiación de instalaciones de interceptación, desviación y tratamiento de aguas residuales y también mediante la prevención de la disposición de residuos urbanos en el río. De los  $1,34 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  de aguas residuales se interceptaron  $0,873 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  mediante 370 km de tubería matriz con 129 estaciones de bombeo como parte de 88 subproyectos. El trazado de alcantarillas y la renovación del alcantarillado antiguo se restringió a la recolección del drenaje superficial que descargaba en el río.

También se incluyeron instalaciones de recolección de residuos sólidos que utilizaban equipo mecanizado y relleno sanitario, unidades sanitarias con inodoros de bajo costo (2.760 unidades), inodoros de descarga parcialmente subsidiados (48.000), 28 crematorios eléctricos para cadáveres humanos y 35 instalaciones para rituales de baño. En los 25 pueblos se llevaron a cabo 261 proyectos. El programa también incluyó 35 plantas modernas de tratamiento de aguas residuales. Las actividades de los diversos subproyectos pueden resumirse del siguiente modo:

Enfoque para mejorar la calidad del agua del río	Número de unidades construidas
Intercepción y desviación de aguas residuales municipales	88
Plantas de tratamiento de aguas residuales	35
Complejos de saneamiento de bajo costo	43
Crematorios eléctricos	28
Instalaciones para baños ubicados frente al río	35
Otros (conservación de especies acuáticas, monitoreo de la calidad del río)	32
Total	261

Se han ejecutado 248 de estos esquemas; la conclusión de los demás proyectos estaba programado para 1998.

#### *Desechos industriales*

Se identificaron aproximadamente 100 industrias a lo largo del mismo río principal. De estas, 68 fueron consideradas excesivamente contaminantes y descargaban  $260 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  de aguas residuales en el río. Bajo la ley de Prevención y Control de la Contaminación del Agua de 1974 y la de Protección del Ambiente de 1986, 55 industrias (que generaban  $232 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ) de las 68 industrias identificadas como excesivamente contaminantes, instalaron plantas de tratamiento de efluentes. Además, otras dos están construyendo plantas de tratamiento y actualmente una industria no tiene planta de tratamiento. Se tomaron acciones legales contra las restantes 12 industrias, las que fueron clausuradas por incumplimiento.

#### *Mejoras integrales del ambiente urbano*

Aparte de lo expuesto, el PAG también realizó actividades amplias y diversas, tales como la conservación de especies acuáticas (delfín del río Ganges), protección de hábitats naturales (tortugas de carroña) y creación de santuarios ribereños (pesca). También incluía componentes para mejorar el paisaje del

río (35 instalaciones), construcción de terrazas escalonadas en las pendientes inclinadas del río para baños rituales (128 lugares), mejora del saneamiento del río (2.760 complejos), desarrollo de establecimientos públicos, mejores caminos y alumbrado a lo largo del río.

### *Investigación aplicada*

El Plan de Acción del Río Ganges resaltó la importancia de los proyectos de investigación aplicada y muchas universidades y organizaciones acreditadas recibieron financiamiento para llevar a cabo proyectos de estudios y observaciones directamente relacionados con el Plan de Acción. Algunos de los temas principales fueron el diseño de modelos para computadoras personales, piscicultura con aguas residuales, cultivo de peces en las partes altas del río, bioconservación en Bihar, monitoreo de plaguicidas, uso de aguas residuales tratadas para riego y rehabilitación de tortugas.

Algunos de los proyectos de investigación en curso incluyen la aplicación de aguas residuales crudas en plantaciones de árboles, acuicultura para tratamiento de aguas residuales y desinfección de aguas residuales tratadas con radiación ultravioleta y radiación Gamma. Se busca la asesoría profesional de universidades regionales para preparar proyectos y el contacto con los organismos de ejecución a fin de que conozcan las últimas tecnologías. Se han completado ocho proyectos de investigación y 17 están en marcha. Los resultados están consolidándose en la base de datos del Centro Nacional de Documentación Científica de la India (CNDCI) para que estén fácilmente accesibles al público en general

### *Participación social*

La contaminación del río, a pesar de ser clasificada como ambiental, fue el resultado directo de un antiguo problema social más profundo derivado de la indiferencia, desconfianza y apatía pública y de la falta de conciencia cívica, de educación y de valores sociales, pero sobre todo, de la pobreza.

Reconociendo la necesidad del compromiso del pueblo para la sostenibilidad y éxito del Plan de Acción, se dio la debida importancia a la toma de conciencia mediante intensas campañas de publicidad que usaban la prensa y medios de comunicación electrónicos, audiovisuales, volantes y carteles, así como la organización de programas para difundir el mensaje eficazmente. A pesar del apoyo financiero del proyecto y de la participación de 39 prestigiosas ONG para organizar estas actividades, el programa tuvo un impacto público limitado y hasta fue criticado. Otros programas similares para generar la toma de conciencia entre los escolares fueron aceptados con mayor

entusiasmo. Estos esfuerzos para inducir un cambio en el comportamiento social están avanzando lentamente como el mismo río Ganges.

### *Opciones tecnológicas*

La elección de la tecnología para el PAG fue en gran parte convencional, basado en opciones disponibles y consideraciones locales. En consecuencia, los organismos de ejecución de cada provincia realizaron obras de recolección, estaciones de bombeo, plantas de aguas residuales y demás obras municipales según sus propias prácticas pero dentro de las especificaciones, control fiscal y plazos prescritos. La elección de la tecnología para la mayoría de las grandes plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas fue decidida cuidadosamente por un grupo de expertos, en permanente consulta con los organismos externos que apoyaban ese proyecto específico. Para los demás proyectos similares se adoptó un procedimiento interno paralelo. Para las plantas de tratamiento de aguas residuales más grandes se eligió, unánimemente, el proceso de lodos activados. Para otras plantas, se consideró más apropiado el uso de filtros percoladores. En los pueblos más pequeños donde se disponía de terrenos y había poca cantidad de aguas residuales, se eligieron opciones como las lagunas de oxidación. El éxito fue relativo con tecnologías no convencionales, como los contactores biológicos rotatorios, riego de bosques con aguas residuales, reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA) y plantas para la recuperación de cromo de las aguas residuales de curtiembres. Sin embargo, algunas de estas tecnologías nuevas y más sencillas, con sus ventajas de bajo costo, surgirán como la solución futura de gran escala para los problemas de saneamiento de la India.

### *Operación y mantenimiento*

La continuidad de las obras de reducción de la contaminación del PAG es esencial para su sostenibilidad. La mayoría de estas obras fueron realizadas por los mismos organismos que luego se encargaron de su mantenimiento como parte de sus funciones primarias, tales como la Autoridad de Desarrollo Urbano, la municipalidad o el Departamento de Control de Riego e Inundaciones. La responsabilidad de la operación y mantenimiento de estas obras pasó automáticamente a estos organismos. Los componentes cruciales para prevenir la contaminación del río fueron las principales estaciones de bombeo que interceptan las aguas residuales desviándolas a las plantas de tratamiento. Estas estaciones de bombeo de gran capacidad, con cobertura para toda la ciudad, se construyeron por primera vez en la India y se consideró improbable que los municipios tuvieran recursos adecuados y personal

capacitado para poder administrarlos. Al planificar esas obras de tratamiento de aguas residuales se consideró la autonomía económica mediante la venta de efluentes tratados para riego y de lodo seco como fertilizante (debido a su alto contenido de nutrientes) y la generación de electricidad mediante la producción de biogás. Se estimó que la generación de bioelectricidad sería suficiente para compensar gran parte del costo de los enormes insumos de energía requeridos. Pero estas suposiciones no eran del todo ciertas. Los gobiernos estatales asumieron la responsabilidad de la operación y mantenimiento a través de los mismos organismos que habían construido las plantas al proveer fondos para cubrir el déficit de los gastos de operación y mantenimiento. El Gobierno Central compartió la mitad de este déficit hasta 1997. Las políticas futuras para controlar la contaminación también serán similares; el gobierno estatal asumirá la responsabilidad del control de la contaminación ya que las entidades locales no pueden sufragar el costo de los gastos de la operación y mantenimiento por tener recursos muy limitados.

#### **I.4 Problemas de ejecución**

La ejecución de un proyecto de esta magnitud que cubre 2.500 km de río, 25 pueblos y tres provincias diferentes, solo podría lograrse si se delegaba la ejecución a los organismos estatales que tuvieran la capacidad apropiada. El gobierno estatal también asumió la responsabilidad de operar y mantener posteriormente las instalaciones construidas durante el programa. La DPG realizó la coordinación interinstitucional general a través de los gobiernos estatales y garantizó los objetivos del proyecto mediante la evaluación de cada componente del proyecto presentado por el organismo de ejecución. El DPG realizó el control fiscal general mediante la estrecha vigilancia profesional del progreso físico realizada por organismos independientes.

El progreso en los cuatro primeros años fue satisfactorio. La rápida ejecución de las obras de intercepción y desviación como prioridad inmediata, garantizaron que la mayor parte de los residuos urbanos fueran recolectados y desviados aguas abajo de la ciudad, lo cual fue aprobado por el público debido a la notable limpieza de las orillas. Sin embargo, algunas de las principales plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) no se terminaron en el plazo original. Los retrasos fueron inevitables, ya que era la primera vez que se construía plantas de tratamiento de gran capacidad en el país. La participación de los organismos externos de cooperación se dio en la introducción de tecnologías nuevas, tales como plantas de recuperación de cromo para aguas residuales de curtiembres, tecnologías con baja demanda de energía, como el RAFA, y la tecnología de reconstrucción *in situ* del

alcantarillado. Por otro lado, los procedimientos específicos de los organismos de cooperación dificultaron la toma de decisiones, especialmente en los grandes proyectos de PTAR. Se convocaron licitaciones internacionales debido al enorme capital involucrado y las aprobaciones finales se hicieron en múltiples etapas y a veces muy distante del nivel de ejecución real. El conocimiento de muchos expertos a veces no concordaba con las opiniones de los funcionarios de los organismos de ejecución que debían asumir la responsabilidad final. Los retrasos en los procedimientos debido a decisiones tomadas en la mitad del proyecto sirvieron de excusa para que los contratistas justifiquen su propia demora. Por consiguiente, los cronogramas del proyecto muchas veces tuvieron que extenderse. De los 261 subproyectos originales, 95% se han completado y funcionan satisfactoriamente. Los demás proyectos en curso son principalmente PTAR, programados para completarse en 1998.

### **I.5 Monitoreo de la calidad del agua del río**

Desde su inicio en 1986, el PAG comenzó un amplio programa de monitoreo de calidad del agua con datos de 27 estaciones. La mayoría de estas estaciones de monitoreo ya existían dentro de otros programas y solo necesitaron fortalecerse. También se recibió ayuda técnica de la Administración de Desarrollo de Ultramar (ADU) del Reino Unido para una pequeña parte de este programa mediante algunas estaciones automáticas de monitoreo de calidad del agua, softwares para modelos, capacitación y equipo. El programa de monitoreo se ejecuta permanentemente con el uso de la infraestructura de otros organismos como la JCCC y la Comisión Central de Agua (CCA) para monitorear datos de las 16 estaciones. Algunas instituciones de investigación, tales como el Centro de Investigación en Toxicología Industrial (CITI), también están incluidas en el monitoreo especializado de sustancias tóxicas. El éxito del programa se puede apreciar en el registro de la calidad del agua, considerado en proporción al número de plantas instaladas. Para evaluar los resultados de este programa también se ha realizado un estudio independiente de la calidad del agua y se ha asignado diferentes tramos del río a diversas universidades.

### **I.6 El futuro**

Además de la visible mejora en la calidad del agua, otro indicador de éxito es la toma de conciencia que generó el proyecto. Esto ha dado lugar a la expansión del programa en toda la cuenca del río Ganges para cubrir los demás tributarios contaminados. El PAG se ha expandido para cubrir los tramos contaminados de los principales ríos nacionales, incluidos algunos lagos. Dados los altos costos, el Gobierno Central y los estatales acordaron compartir la mitad de los

costos de los proyectos bajo el “Plan Nacional de Conservación de Ríos”. También se requiere que los gobiernos estatales destinen fondos para la operación y mantenimiento permanente. En un principio, el Gobierno Central patrocinó el plan completamente.

### **I.7 Conclusiones y lecciones aprendidas**

El PAG es un exitoso ejemplo de acción oportuna debido a la toma de conciencia ambiental en el nivel gubernamental. Además, representa el logro potencial que puede alcanzarse cuando existe voluntad política. Se trata de un modelo de prevención de la contaminación de ríos que ha ido mejorando al ser adaptado en otros proyectos, lo que ha permitido aprender lecciones importantes que se incorporan en programas similares. Una de esas lecciones fue la pobre recuperación de recursos de las aguas residuales debido al bajo contenido orgánico que tienen estas aguas en la India. Esto puede deberse a hábitos alimentarios menos nutritivos, al mayor consumo de agua, menos conexiones al alcantarillado, mayores cargas de arena, insuficiente flujo y estancamientos que producen la biodegradación de fracciones volátiles en las mismas tuberías. En el diseño se asumió que las cargas de DBO de las plantas eran mucho mayores que la carga real de DBO. Esto se debió a la falta de experiencia práctica en la India y al hecho de que las experiencias occidentales no eran del todo apropiadas.

También se aprendieron lecciones sobre los objetivos del proyecto que coincidían en muchas áreas con el desarrollo de la infraestructura urbana, especialmente cuando se asumió equivocadamente que el PAG era un plan de mejoramiento de la ciudad. Inicialmente, esto conllevó a expectativas que causaron desilusión al descubrir que el PAG se limitaba a reducir la contaminación del río sin perseguir medidas populares. Este hecho podría haber sido una de las principales razones por las que fue tan criticado. A pesar de la estrecha coordinación con el Ministerio de Desarrollo Urbano en el nivel del Gobierno Central y estatal, aún existe una brecha de comunicación debido a que la planificación todavía se basa en consideraciones estrechas y objetivos de corto plazo (debido únicamente a la limitación de recursos) sin abordar las causas fundamentales que anteriormente también se pasaban por alto debido a las mismas razones. Por lo tanto, el plan de control de la contaminación del río, al estar orientado a la acción, evita comprometerse con la planificación rural de largo plazo que aún es deficiente en lo que se refiere al saneamiento ambiental. Esto se debe a la falta de visión general de los organismos participantes y a la falta de previsión de las autoridades urbanas que perpetuamente carecen de fondos para manejar sus crisis diarias.

La lección más importante que se aprendió fue la necesidad de controlar la contaminación por patógenos en el efluente tratado. Esto no pudo realizarse antes debido a la falta de una tecnología segura y apropiada, pero actualmente se intenta lograrlo a través de la investigación y desarrollo de una tecnología autóctona que no deja residuos perjudiciales para la vida acuática. Controlar este aspecto es difícil en las aguas superficiales de áreas tropicales, pero es muy importante para el río Ganges porque millones de devotos beben y se bañan directamente en este río.

### **I.8 Recomendaciones**

El Plan de Acción comenzó como una “campaña de limpieza” y sigue con ese mismo espíritu y entusiasmo en otros ríos y lagos. Sin embargo, se podría mejorar su eficacia al integrar y aceptar estos esfuerzos dentro de los objetivos de largo plazo y los planes urbanos que se preparan sin prestar la debida atención a la disposición de residuos. Resultará útil tener mayor información sobre la contaminación de aguas subterráneas en las respectivas cuencas del río, ya que los niveles existentes de extracción y contaminación de las aguas subterráneas, que se sobreexplotan y contaminan, aumentará la dependencia de los ríos como única fuente económica de agua potable en el futuro. Este aspecto no se ha considerado seriamente en ninguna planificación de largo plazo.

### **I.9 Fuentes bibliográficas**

Este capítulo se preparó con material de publicidad editado por la Dirección de Proyectos del Ganges, Nueva Delhi.



## **Estudio de caso II\***

### **RIO HUANGPU, SHANGHAI, CHINA**

#### **II.1 Introducción**

El río Huangpu fluye a través del corazón de Shanghai (figura II.1), provee agua a 13 millones de personas en la metrópoli y es importante para la navegación, pesca, turismo y recepción de aguas residuales.

A mediados de los años ochenta, aproximadamente 70% de los  $5,5 \times 10^6 \text{ m}^3$  de aguas residuales industriales y domésticas sin tratar o parcialmente tratadas se descargaban directamente o a través de alcantarillas urbanas al río Huangpu y sus tributarios. Como resultado, el río estaba muy contaminado. A comienzos de los años ochenta, la sección urbana del río Huangpu se volvió anóxica durante aproximadamente 100 días, lo cual aumentó a más de 200 días en la década de los noventa.

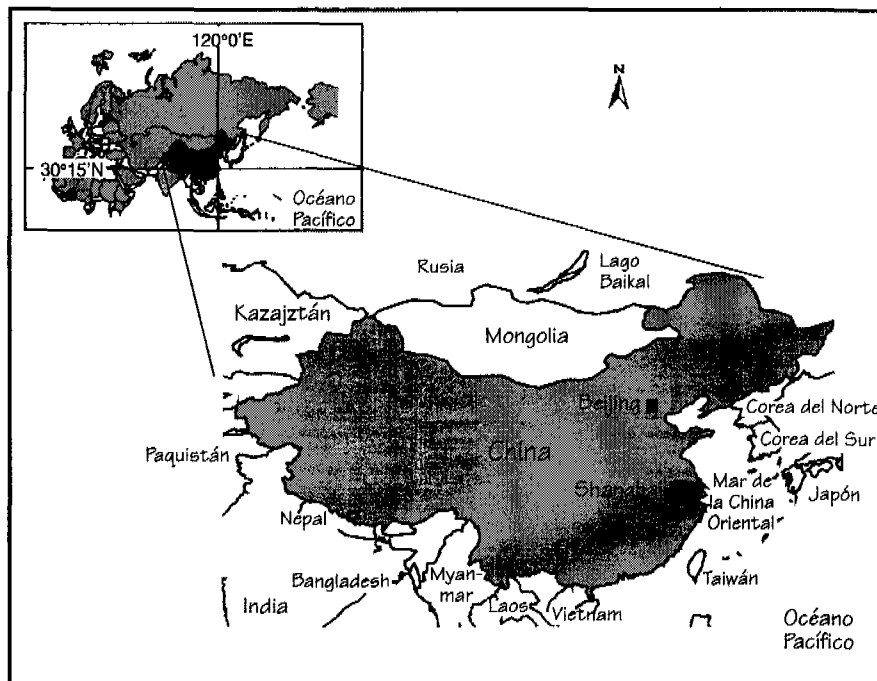
Desde 1979, el Gobierno Municipal de Shanghai ha prestado atención al control integrado de la contaminación del río Huangpu. A fines de los años setenta hasta inicios de los años ochenta, se estipularon leyes y normas ambientales para la calidad del agua y efluentes, y se crearon instituciones para vigilar su cumplimiento. En 1982, se llevó a cabo un estudio general sobre las fuentes de contaminación, calidad del agua e hidrología de las principales masas de agua. A mediados de los años ochenta, se formuló el plan de control de la contaminación del río Huangpu y se obtuvieron recursos financieros locales y del extranjero para proyectos de inversión, en particular, para la infraestructura de obras nuevas de captación de agua y control de la contaminación por aguas residuales. El progreso de este plan se describe a continuación.

#### **II.2 Antecedentes**

##### **II.2.1 Perfil urbano, social y económico**

La ciudad de Shanghai está situada en el río Yangtze (Chiang Jiang en el delta plano al sur del río Yangtze, en la cuenca del lago Tai (Taihu) (figura II.2). El área total de Shanghai es de  $6.340,5 \text{ km}^2$ , de los cuales aproximadamente 140

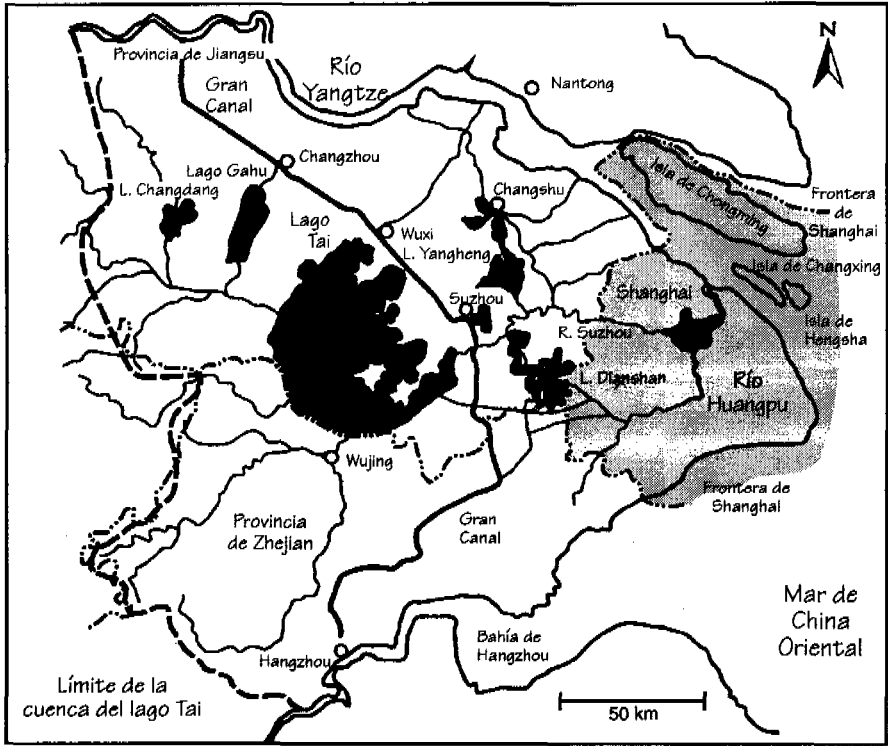
\* *Este estudio de caso fue preparado por Chonghua Zhang*



**Figura II.1** Ubicación de Shanghai en el mapa de la China

km<sup>2</sup> están clasificados como urbanos y comprende 10 distritos centrales. El resto del área incluye dos pueblos satélites y 10 condados rurales. El río Huangpu fluye de sudeste a noroeste y finalmente entra en el río Yangtze en Wusong Kou (figura II.3).

Shanghai es una ciudad densamente poblada. En 1992 tenía 12,9 millones de habitantes, incluida una población urbana de ocho millones. Shanghai es uno de los principales centros de economía, comercialización, finanzas, política, comunicación, ciencia, tecnología y cultura. Es la base industrial más grande de China con 145 de los 161 sectores industriales representados (a excepción del sector minero). En 1993, Shanghai tenía aproximadamente 39.000 empresas industriales y los principales sectores eran los de textiles, maquinaria, automóviles, construcción de barcos, productos químicos, electrónica, metalurgia e industria farmacéutica. Aunque Shanghai solo tiene 1,17 % de la población del país, aporta aproximadamente 11 % de la producción industrial nacional bruta del país. Los planificadores consideran que Shanghai, la ciudad más avanzada del país, constituye una ventana al mundo a través de la cual se pueden introducir diversos enfoques para modernizar a la China. En años

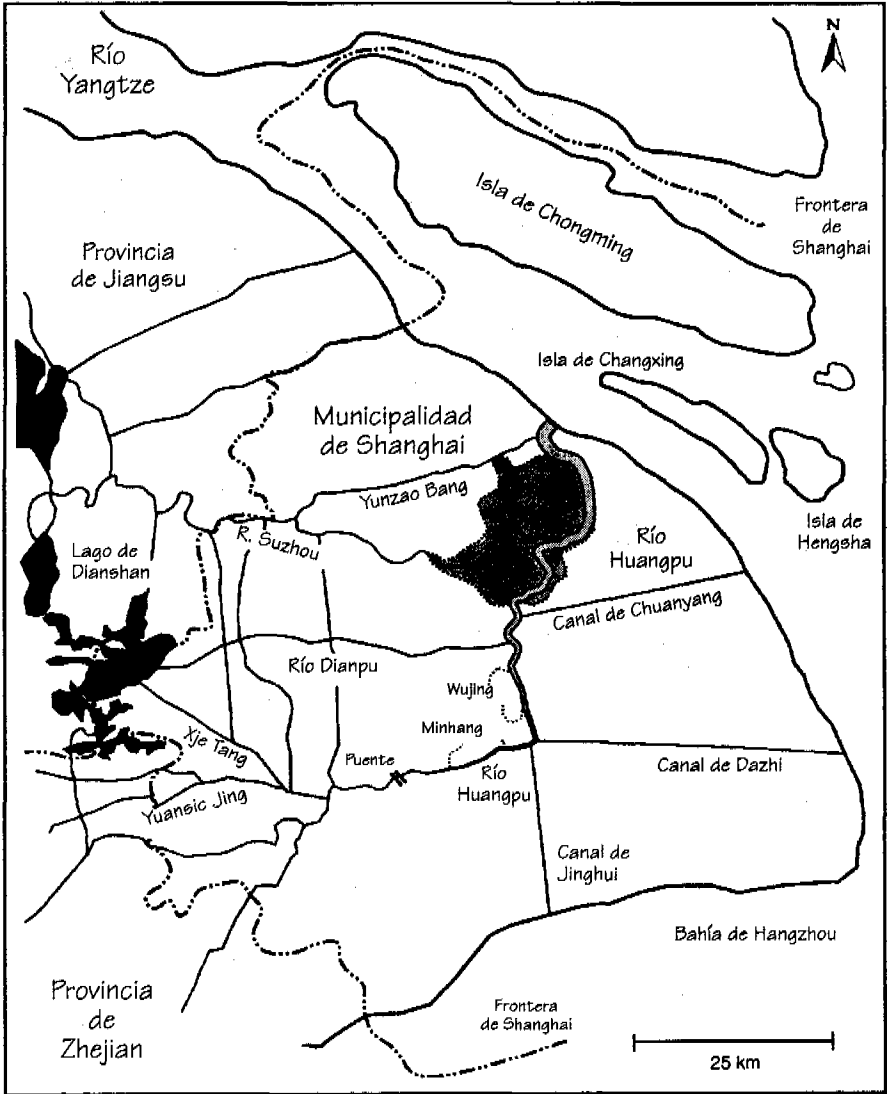


**Figura II.2** Mapa de la cuenca del lago Tai donde se muestra la ubicación de Shanghai

recientes, Shanghai ha atraído aproximadamente 30 % de la inversión extranjera total en la China.

### II.2.2 Recursos hídricos

Shanghai es rico en recursos hídricos. Los ríos principales son el Yangtze en el norte y el Huangpu, un tributario del Yangtze, en el área del delta. El río Huangpu también pertenece al sistema del lago Tai y es importante porque recibe el agua de las inundaciones del lago. La cantidad de inundaciones del lago Tai durante la estación de lluvias, generalmente durante el verano, afecta significativamente la tasa de flujo y la calidad del agua del río Huangpu. La tasa de flujo anual promedio del río Huangpu es de  $315 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . En Shanghai hay cientos de canales artificiales interconectados que forman una red alrededor del río Huangpu. Aproximadamente 80% de Shanghai se conecta con esta red de redes de agua. Los principales cuerpos de agua de la cuenca del río Huangpu son:



**Figura II.3** Mapa de la municipalidad de Shanghai y del sistema del río Huangpu

- El río Yangtze. Es el tercer río más grande del mundo y el que suministra la mayor cantidad de agua dulce a Shanghai. Muchos ríos internos de navegación están conectados al río Yangtze, lo que lo convierte en el canal de navegación continental más grande de Asia. La tasa de flujo anual promedio es de aproximadamente  $10.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

**Cuadro II.1** Principales tributarios del río Huangpu

Nombre del río	Longitud (km)	Ancho (m)	Profundidad (m)
Longhuagang	3,4	22,8	3,2
Qiujiang	6,4	37,8	1,6
Yangpugang	4,3	11,7	1,9
Hongkougang	2,0	17,5	2,5
Yunzaobang	38,0	92,0	5,0
Damaogang	17,3	176,0	6,5
Xietang	23,2	170,0	6,0
Yuanxiejing	16,5	178,0	7,8
Taipuhe	16,5	150-180	3,5

- El río Suzhou (también llamado riachuelo Suzhou). Es el principal río que conecta al lago Tai y el Huangpu. Tiene una longitud de 125 km (incluidos 54 km en Shanghai) y un ancho promedio de 58,6 m, una profundidad promedio de 3,4 m y un gradiente de 0,8 cm km<sup>-1</sup>.
- Lago Dianshan. Este lago tiene un área superficial de 64 km<sup>2</sup>. Es un valioso recurso para la pesca de agua dulce, tiene un hermoso paisaje y muchos lugares históricos que lo hacen atractivo para el turismo.

La escorrentía superficial en el área de Shanghai varía significativamente de un año a otro. En una estación muy seca la escorrentía puede ser solo 40 % de la de un año promedio. El flujo que recibe del lago Tai también varía significativamente de un año a otro, de  $5,11 \times 10^9$  a  $12,83 \times 10^9$  m<sup>3</sup> a<sup>-1</sup>.

Las aguas subterráneas se extraen y se usan principalmente como agua de enfriamiento en la industria. La sobreexplotación de las aguas subterráneas ha causado serios asentamientos del terreno en años recientes y ha hecho necesario el control de la extracción de aguas subterráneas. De 1981 a 1990 se extrajo un promedio de aproximadamente  $88 \times 10^6$  m<sup>3</sup> a<sup>-1</sup> de aguas subterráneas en Shanghai.

En Huangpu el efecto de la marea complica el patrón de flujo del río y también la calidad del agua en las zonas de marea. El río Huangpu recibe aproximadamente  $40,9 \times 10^9$  m<sup>3</sup> a<sup>-1</sup> del agua de marea del río Yangtze. El flujo total de la marea del río Huangpu es aproximadamente de  $47,47 \times 10^9$  m<sup>3</sup> a<sup>-1</sup>, incluido el resto del agua de marea que reciben los ríos más pequeños (aproximadamente  $6,57 \times 10^9$  m<sup>3</sup> a<sup>-1</sup>) (cuadro II. 1).

### **II.2.3 Contaminación del agua en la cuenca del río Huangpu**

En 1992, el consumo de agua distribuida por tubería y proveniente de fuentes subterráneas era de  $2,26 \times 10^9 \text{ m}^3$  y se descargaba  $2,03 \times 10^9 \text{ m}^3$ , o aproximadamente  $5,5 \times 10^6 \text{ m}^3$  por día. Solo 25% de los efluentes industriales recibían tratamiento primario y secundario y aproximadamente 14% de las aguas residuales domésticas recibían tratamiento secundario.

Según un estudio sobre fuentes de contaminación realizado en 1985, las masas de agua que recibieron las mayores cargas de aguas industriales fueron:

- El río Huangpu y sus tributarios menores: 71%
- El río Suzhou, el tributario más grande: 10%.
- El río Yangtze, la bahía de Hangzhou y el mar de China: 19%.

Se calcula que 58% de las aguas residuales industriales descargaban directamente en los ríos y el resto en el alcantarillado. Sin embargo, aproximadamente 70% de las aguas residuales recolectadas mediante sistemas de alcantarillado se descargaban indirectamente en los ríos y en el estuario del río Yangtze.

Se calcula que la escorrentía anual de las zonas rurales del río Huangpu es de  $1,5 \times 10^9 \text{ m}^3$ , lo que proporciona 4.600 toneladas de nitrógeno y 900 toneladas de fósforo por año. Una nueva fuente de contaminación es el estiércol del ganado. En 1992, se generó  $7,2 \times 10^9$  toneladas de estiércol pecuario y otros residuos.

Las causas de la contaminación del río Huangpu son cuatro. En primer lugar, las aguas residuales descargadas al río Huangpu contienen grandes cantidades de sustancias orgánicas que crean una demanda significativa de oxígeno disuelto. En segundo lugar, 81% de los canales de la ciudad están contaminados. En tercer lugar, la contaminación más seria ocurre en el área urbana, particularmente en los puntos de captación para la planta de tratamiento de aguas residuales de Nanshi y Yangpu. Finalmente, la naturaleza de la marea del río Huangpu que restringe la descarga de contaminantes orgánicos aguas abajo.

## **II.3 Desarrollo institucional y control de la contaminación industrial**

### **II.3.1 Reglamentos ambientales y organizaciones**

La Ley de Protección del Ambiente de China, estipulada en 1978 por el Congreso Nacional del Pueblo, autoriza la creación de organismos para el manejo de la protección del ambiente. A partir de entonces, el Gobierno Chino promulgó leyes para controlar la contaminación del agua, aire, ruido, residuos sólidos y sustancias radiactivas. A mediados de los años ochenta, se

promulgaron normas de calidad ambiental (NCA) para el agua superficial y aguas residuales industriales. Shanghai ha adoptado todos los reglamentos y normas ambientales nacionales, pero para cumplir los requerimientos locales, la ciudad también ha establecido objetivos de calidad del agua y normas afines para ríos, canales y lagos.

En China se establecieron instituciones de protección ambiental en todos los niveles del gobierno, incluidos los gobiernos central, provincial, de prefectura, municipal, distrital y de condados. Un sistema característico de protección del ambiente para una ciudad grande, como Shanghai, comprende la oficina municipal de protección ambiental, varias oficinas distritales de protección ambiental, un centro de monitoreo ambiental y varias estaciones distritales de monitoreo, un instituto de investigación y varias oficinas distritales que cobran multas por contaminación (figura II.4). El total del personal varía de 300 a 700, según el tamaño de la ciudad. La Oficina de Protección Ambiental de Shanghai (OPA de Shanghai) emplea aproximadamente a 700 personas.

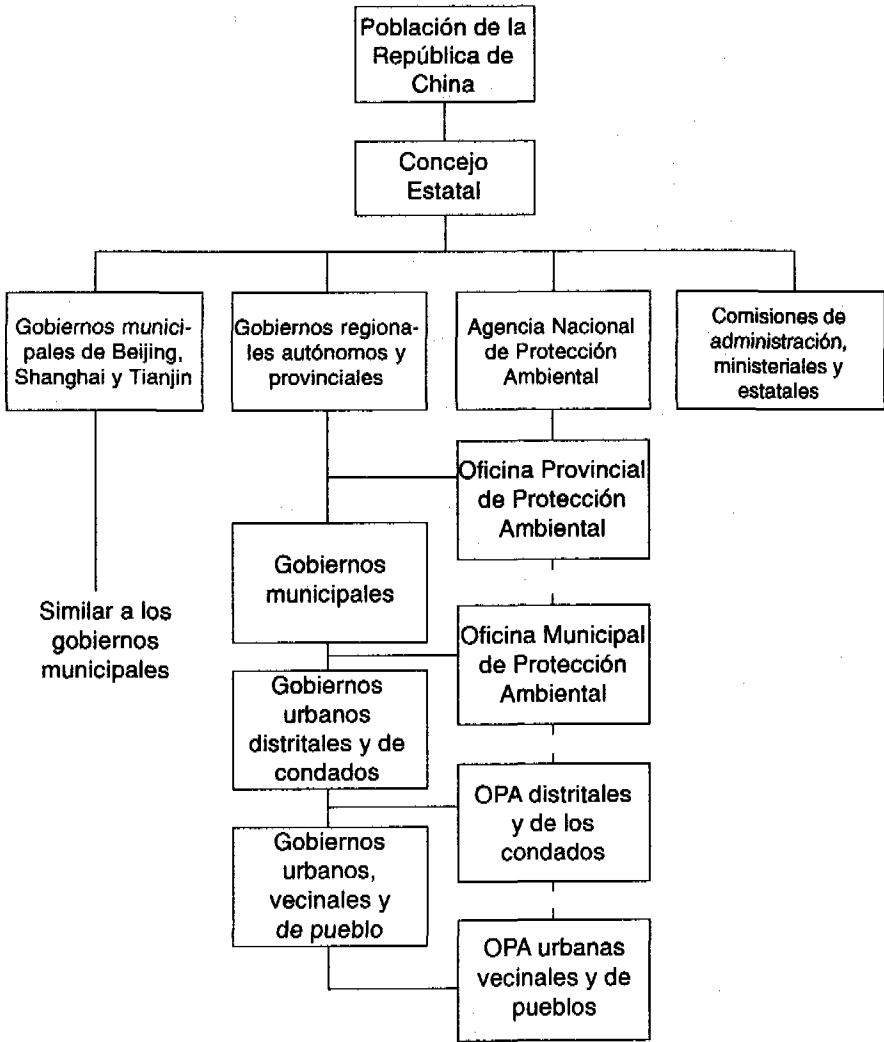
Los ministerios de la China, incluidos los de industrias, agricultura y construcción urbana y militar, también han creado departamentos o divisiones funcionales de protección ambiental para afrontar los problemas de la contaminación. Estas dependencias se establecen principalmente para el monitoreo y cumplimiento de la legislación. También se han creado divisiones de control de la contaminación en el nivel provincial y municipal. En Shanghai, la oficina textil contrata aproximadamente 100 personas a tiempo completo para la protección ambiental, los que son responsables del manejo, monitoreo ambiental y desarrollo de tecnologías para controlar la contaminación.

### **II.3.2 Medidas nuevas y antiguas para controlar la contaminación**

A inicios de los años ochenta, la Oficina de Protección Ambiental (Qu Geping, 1991a) estipuló tres importantes reglamentos ambientales. Estos deben aplicarse paralelamente a los proyectos de diseño, construcción y puesta en marcha y se les conoce como el sistema de las “tres acciones simultáneas” de la protección ambiental:

- Evaluación del impacto ambiental (EIA) para proyectos nuevos y en expansión.
- Aplicación de medidas de control de la contaminación en proyectos nuevos y en expansión.
- Tarifas por contaminación (cuadro II.2).

A fines de los años ochenta se estipularon cinco nuevos reglamentos para tener un mayor control de la contaminación existente (Qu Geping, 1991 b):



**Figura II.4** Esquema donde se señala la organización de la Protección Ambiental en China

- Un sistema de responsabilidad en protección ambiental que responsabiliza directamente al funcionario gubernamental más alto por las necesidades ambientales y mejoramiento específico.
- Un sistema de evaluación cuantitativa para el control integrado de los ambientes urbanos, con 20 variables ambientales específicas seleccionadas para el monitoreo y evaluación en 32 capitales provinciales.



**Cuadro II.2** Cobros por descarga de aguas residuales en Shanghai

Contaminante	VDSN (tonelada.tiempo)	Grado A (Yuan por tonelada.tiempo)	Grado B (Yuan por tonelada.tiempo)	Cobro básico de Grado B (Yuan)
VHg total	2.000	2,00	1,00	2.000
Cd total	3.000	1,00	0,15	2.550
Cr total	150.000	0,06	0,03	4.500
Cr <sup>6</sup>	150.000	0,09	0,02	10.500
As total	150.000	0,09	0,02	10.500
Pb total	150.000	0,08	0,03	7.500
Ni total	150.000	0,08	0,03	7.500
Bap	3.000.000	0,06	0,03	90.000
ph	5.000	0,25	0,05	1.000
Color	100.000	0,14	0,04	10.000
Sólidos suspendidos	800.000	0,03	0,01	16.000
DOB	30.000	0,18	0,05	3.900
DQO	20.000	0,18	0,05	2.600
Gasolina	25.000	0,20	0,06	3.500
Material animal y vegetal	25.000	0,12	0,04	2.000
Fenoles volátiles	250.000	0,06	0,03	7.500
Cianuro	250.000	0,07	0,04	7.500
Sulfuro	250.000	0,05	0,02	7.500
NH <sub>3</sub> -N	25.000	0,10	0,03	1.750
Fluoruro	25.000	0,30	0,09	5.250
Fosfato (como P)	250.000	0,05	0,02	7.500
Aldehído metílico	200.000	0,12	0,06	12.000
Anilina	200.000	0,12	0,06	12.000
Nitrobenzeno	200.000	0,10	0,04	12.000
Detergente (LAS)				
(Laurel alquil sulfonato)	25.000	0,30	0,09	5.250
Cu	250.000	0,04	0,02	5.000
Zn	100.000	0,06	0,02	4.000
Mn	100.000	0,06	0,02	4.000
Pesticidas organofosforados (como P)	250.000	0,07	0,04	7.500

VDSN Valor para descargas que sobrepasan la norma (tonelada.tiempo)

DBO Demanda bioquímica de oxígeno

DQO Demanda química de oxígeno

Cobro = tasa de cobro x cantidad total de descarga que excede la norma (TDEN) (tonelada.tiempo)

Donde: TDEN (tonelada.tiempo) = cantidad de descarga de aguas residuales x tiempo durante el cual se excede la norma;  
VDSN (toneladas de aguas residuales x tiempo excedido) es el valor límite de TDEN (tonelada.tiempo);

Cuando TDEN < VDSNV: cobro = tasa A de carga x TDEN

Cuando TDEN > VDSNV: cobro = tasa B de carga x VDSN + tarifa básica para el grado B

Cantidad total de valor de pH que excede la norma = (valor de pH de las aguas residuales - pH de norma de descarga) x cantidad de descarga de aguas residuales

Cuando se implementa la "descarga máxima permitida de aguas residuales o la tasa mínima permitida de reciclaje del agua" en la *Norma Integrada de Descarga de Aguas Residuales*, la tarifa sobre la cantidad de descarga que excede la norma se basa en el cobro mínimo del abastecimiento de agua que se sobrepone a la tarifa de la descarga de contaminantes que excede la norma.

La tarifa para aguas residuales con descarga de patógenos que excede la norma es de 0,14 yuan por tonelada de aguas residuales.

- Licencias para la descarga de contaminantes.
- Establecimiento de plazos fijos para lograr el objetivo del control de la contaminación.
- Control centralizado de la contaminación.

### **II.3.3 Fuentes de financiamiento**

El Gobierno Chino creó legalmente varias fuentes de financiamiento para controlar la contaminación. La más importante está destinada a nuevos proyectos de renovación industrial y tecnológica y requiere hasta 7% de los costos de inversión para controlar la contaminación.

El fondo para el control de la contaminación es otra importante fuente de inversión para luchar contra la contaminación. Las industrias que no cumplen con las normas de descarga deben pagar multas de contaminación. Los municipios recolectan estas multas y las asignan a un fondo para controlar la contaminación. Durante los años ochenta, la recaudación anual promedio en Shanghai fue aproximadamente de 100 millones de yuanes (aproximadamente US\$ 15 millones). El fondo asignado para controlar la contaminación puede usarse para el control local (20%), para el cumplimiento de la legislación contra la contaminación (por ejemplo, para equipo de monitoreo) y para la inversión en el control de contaminación industrial (80%). En los años ochenta, los fondos se usaron principalmente para controlar la contaminación al final del proceso industrial. Sin embargo, en la década de los noventa, se utilizaron para la reubicación de plantas industriales y tratamiento centralizado. Actualmente, el fondo contra la contaminación financia aproximadamente 30% de los proyectos de control de la contaminación industrial.

### **II.3.4 Logros y limitaciones**

Los dos principales tipos de contaminantes presentes en el agua son los metales pesados y las sustancias orgánicas. La contaminación por metales pesados es tóxica e irreversible en el ambiente. Desde fines de los años setenta, la OPA de Shanghai ha reconocido que el control de la contaminación por metales pesados constituye una prioridad. A comienzos de los años ochenta, la OPA centralizó todas las empresas dispersas de galvanoplastia en solo unos cuantos lugares. Sus residuos se trataron in situ con métodos de tratamiento conjunto. Como resultado, la contaminación por metales pesados se ha reducido más de 95% desde mediados de 1980.

La contaminación orgánica se encuentra ampliamente expandida en muchos sectores industriales de Shanghai. El desarrollo de una estrategia para controlar la contaminación orgánica industrial es complicado y requiere una planificación

**Cuadro II.3** Objetivos de la planificación de la calidad del agua del río Huangpu

Objetivos de calidad por etapas	Sección aguas arriba				
	Zona de protección de la fuente de agua	Zona de protección de la fuente secundaria de agua	Sección aguas abajo	Sección urbana	Estuario del río Changjiang
<i>Presente</i>					
DO (mg l <sup>-1</sup> )	> 5	> 4			> 6
DBO <sub>5</sub> (mg l <sup>-1</sup> )	< 5	< 5			< 3
NH <sub>3</sub> -N (mg l <sup>-1</sup> )	< 1	< 1			< 0,5
	Mantener la situación actual	Mantener la situación actual	Sin daño posterior	Sin daño posterior	Clase II
<i>A corto plazo (1990)</i>					
OD (mg l <sup>-1</sup> )	> 5	> 4	> 2,5	> 2,5	> 6
DBO <sub>5</sub> (mg l <sup>-1</sup> )	< 5	< 5	< 10	< 10	< 3
NH <sub>3</sub> -N (mg l <sup>-1</sup> )	< 1	< 1	< 3,5	< 3,5	< 0,5
	Llegar a la clase II de la norma	Llegar a la clase III de la norma	Eliminar la condición anaerobia	Eliminar la condición anaerobia	Llegar a la clase II de la norma
<i>Fin del siglo (2000)</i>					
DO (mg l <sup>-1</sup> )	> 6	> 6	> 4	> 4	> 6
DBO <sub>5</sub> (mg l <sup>-1</sup> )	< 3	< 1	< 5	< 5	< 3
NH <sub>3</sub> -N (mg l <sup>-1</sup> )	< 0,5	< 0,5	< 1	< 1	< 0,5
	Proteger la clase II de la norma	Llegar a la clase II de la norma	Llegar a la clase III de la norma	Llegar a la clase III de la norma	Llegar a la clase II de la norma

integrada con el control de aguas residuales domésticas. Sin embargo, Shanghai tomó medidas estrictas contra los principales contaminantes de la ciudad. Varias fábricas de pulpa de papel, responsables por aproximadamente 25% de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en el río Huangpu, fueron clausuradas en los años ochenta. Actualmente las industrias que producen efluentes orgánicos concentrados, tales como las industrias alimentarias y farmacéuticas, practican el pretratamiento. En Shanghai se promueve la reubicación de unidades industriales a parques industriales.

Los proyectos nuevos y en expansión para controlar la contaminación en las empresas estatales de Shanghai han tenido bastante éxito. En los años ochenta, las empresas estatales de Shanghai cumplieron 100% de los requisitos para la evaluación del impacto ambiental y las tres "acciones simultáneas". Debido al exitoso control de las fuentes de contaminación y de algunos contaminantes principales, la carga de contaminación proveniente de la industria en 1990 no aumentó en relación con la contaminación de mediados de los años ochenta, a pesar de que la productividad industrial aumentó cuatro veces.

A pesar de los éxitos mencionados, la calidad del agua del río Huangpu aún es muy deficiente por la gran cantidad de sustancias orgánicas sin tratar. Todavía falta mucho por hacer si se quiere que la calidad del agua alcance un nivel aceptable.

#### **II.4 Estrategia de control de la contaminación del río Huangpu**

En Shanghai hay dos problemas ambientales relacionados con el río Huangpu. En primer lugar, el río es la fuente de abastecimiento de agua para toda la ciudad y se ha estado captando agua de la sección más contaminada del río. En segundo lugar, el Huangpu tiene un grave problema de contaminación por resolver. Aunque estos dos problemas están relacionados, el primero es el más urgente. No se puede continuar, ni siquiera para el futuro cercano, con la captación existente porque se corren demasiados riesgos para la salud. Ante esta situación, se propusieron dos proyectos de acuerdo con el Plan de Prevención y Control Integrados del Agua Residual del Río Huangpu (Shanghai OPA, 1985):

- Un proyecto para trasladar la captación aguas arriba del proyecto del río Huangpu.
- Un proyecto de recolección y tratamiento de las aguas residuales de Shanghai.

Los objetivos de calidad del agua (cuadro II.3) tomaron en consideración:

- Las funciones del agua en cada sección del río Huangpu.
- La situación de la contaminación.
- La capacidad de autopurificación del río.

- La planificación urbana de corto, mediano y largo plazo de Shanghai.
- La capacidad financiera de la ciudad.

El control integrado de la contaminación del río Huangpu es un gran sistema compuesto por muchos subproyectos. El alcance del proyecto abarca la corriente principal del río Huangpu, sus tributarios principales, el área urbana, las zonas industriales, el lago Dingshan, el plan de control de inundaciones del lago Tai, los canales aguas arriba, el estuario del río Yangtze, el Mar de China y la bahía Hangzhou. Durante la ejecución de proyectos, se tuvo que considerar varios factores, incluido el financiamiento de los costos capitales, la capacidad técnica local, el mejoramiento de la calidad del agua potable y del saneamiento urbano, la demolición de casas, la reubicación de la población, el impacto sobre el tráfico y los costos para operar el nuevo sistema. El proyecto debe estar respaldado por una combinación de medidas de ingeniería y otras, tales como normas, políticas y manejo. Los enfoques básicos fueron los siguientes:

- Trasladar aguas arriba y de manera inmediata el punto de captación del río Huangpu porque traería un beneficio directo para la salud de la población.
- Controlar la contaminación del río Suzhou como una prioridad sobre el plan de control de la contaminación del río Huangpu debido a que el río Suzhou pasa por el área rural de Shanghai y es responsable de aproximadamente 30% de la contaminación del río Huangpu.
- Aprovechar la capacidad asimilativa del río Yangtze y del Mar de China para las descargas de aguas residuales pretratadas adecuadamente.
- Proteger la fuente aguas arriba del río Huangpu (en particular de la contaminación por nuevas industrias rurales privadas) para garantizar la calidad del nuevo punto de captación de agua potable y evitar la contaminación futura.
- Fortalecer el programa actual de control de la contaminación del gobierno de Shanghai, incluido el establecimiento de una reglamentación especial para el control de la contaminación industrial y doméstica en la parte superior del río Huangpu.

#### **II.4.1 Traslado de la captación aguas arriba del proyecto del río Huangpu**

Como se ha mencionado anteriormente, debido a la expansión urbana de Shanghai desde hace muchos años, la calidad del agua de los puntos actuales de captación no cumple y probablemente nunca cumpla las normas de calidad del agua para bebida. En consecuencia, se decidió que la única solución viable de largo plazo era trasladar los puntos de captación aguas arriba. A fines de 1970 e inicios de 1980, se llevó a cabo un estudio para evaluar las distintas opciones y determinar un enfoque más eficaz en función de los costos.

**Cuadro II.4** Probabilidad de contaminación en las cuatro secciones del río Huangpu debido a la descarga en diferentes puntos

	Sección del río Huangpu							
	Zhgang		Minhang		Daqiao		Mishidu	
Período de descarga	Junio	Ago.	Junio	Ago.	Junio	Ago.	Junio	Ago.
Minhang			90	50	95	39	90	26
Wujing	96	43	92	30	64	7	26	0
PTA de Changqiao	92	26	73	8	18	0	5	0
PTA de Nanshi	45	4	9	0	0	0	0	0
PTA de Pudong	26	0	3	0	0	0	0	0
PTA de Yangshupu	2	0	0	0	0	0	0	0
PTA de Zhabei	0	0	0	0	0	0	0	0

PTA = Planta de tratamiento de agua

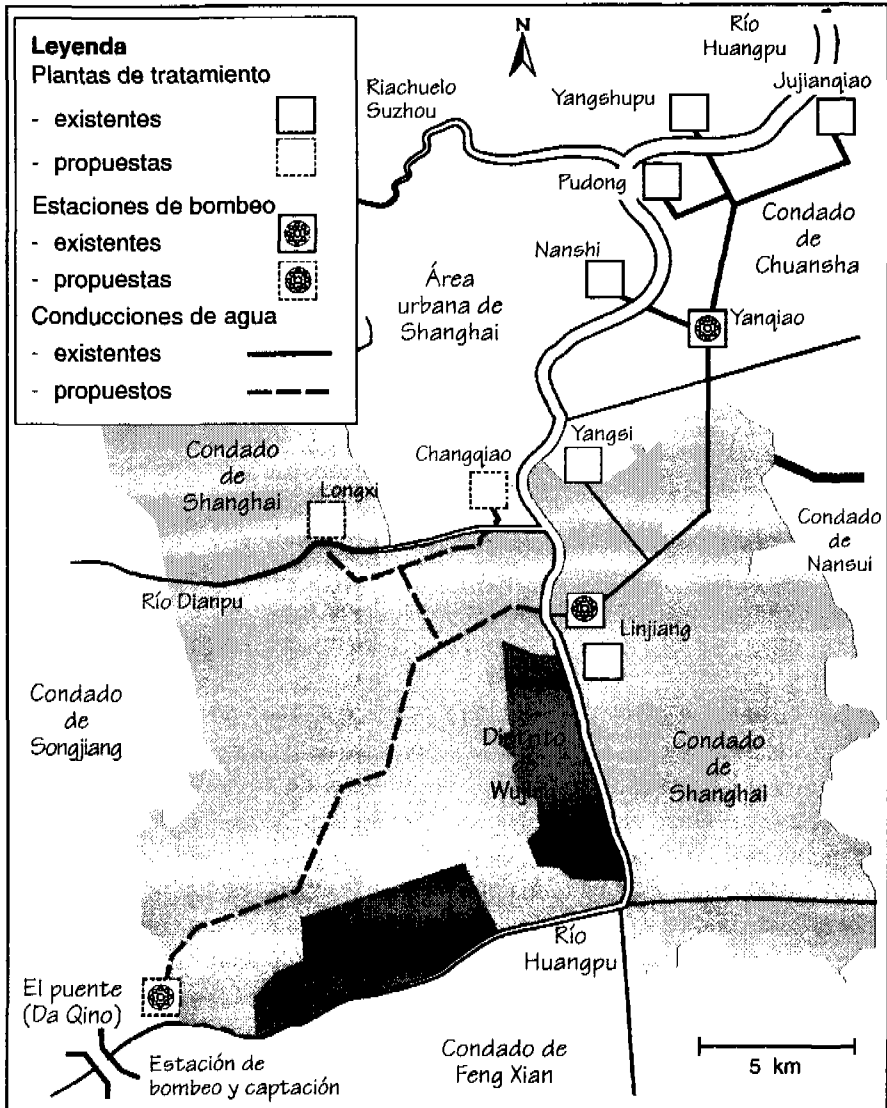
En el estudio para seleccionar el nuevo punto de captación (Shanghai Municipal Urban Construction Design Institute, 1993) se consideraron los siguientes temas principales:

- La repercusión del aumento de aguas residuales en la mitad de la sección del río Huangpu, pues ya no habría extracción por las plantas de tratamiento de agua ubicadas en el área urbana.
- La entrada de contaminación aguas arriba por influencia de la marea, especialmente durante la estación seca.
- Las opciones para las rutas de tuberías desde las plantas de tratamiento de agua a los puntos de captación seleccionados en relación con los costos de construcción y reubicación de la población.
- La financiación del proyecto y el número de etapas para la ejecución.

Tomando como base las condiciones hidrológicas, se calculó la posibilidad de que cuatro puntos de captación propuestos estuvieran afectados por descargas de aguas residuales (cuadro II.4). Se encontró que el área entre Minghang y el puente era apropiada para ubicar el nuevo punto de captación (figura II.5). Luego, se dividió el proyecto en dos etapas: la reubicación del punto de captación de agua para Linjiang y la ubicación del puente como captación final de agua.

El proyecto de reubicación del punto de captación de agua consta de los siguientes tres componentes principales:

- Un canal de desviación y tuberías de transmisión de acero con una longitud total de 70 km, en el cual la sección transversal del canal de concreto varía de 8 a 10 m<sup>2</sup> y soporta una presión interna de 1.35 kg cm<sup>-2</sup>.



**Figura II.5** Mapa con la ruta de los nuevos conductos de agua entre la ciudad y el nuevo punto de captación de agua en el puente.

- Tres tuberías de 3 y 4 m de diámetro que cruzan el río Huangpu hacia las plantas de tratamiento de agua (PTA) de Yangshupu, de Nanshi y la estación de bombeo de Lingjiang.
- Cuatro grandes estaciones de bombeo y de refuerzo equipadas con 35 bombas de gran capacidad.

## 352 Control de la contaminación del agua

La capacidad de captación diseñada es de 5.000.000 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> para abastecer a una población de seis millones.

### *Ejecución y beneficios del proyecto*

La ejecución del proyecto se dividió en dos etapas. La primera se completó en julio de 1987 y extrajo el agua de la estación de bombeo de Lingjiang. Esta fase consistió de:

- Las dos grandes estaciones de bombeo de Lingjiang y Yanqiao.
- Un canal de concreto de secciones transversales diferentes con una longitud de 17,5 km.
- Tuberías de acero de 16,68 km de longitud.
- Tuberías protegidas que cruzan el río hacia las PTA de Yangshupu y Nanshi con un diámetro de 3.000 mm y 2,63 km de longitud.
- Conexión entre las PTA de Yangshupu, Nanshi, Yangsi y Jujiajiao.
- Sistemas de comunicación.

La culminación de la primera etapa del proyecto de la nueva captación de agua en Lingjiang permitió que las PTA de Yangshupu y Nanshi suministraran agua relativamente limpia a cuatro millones de personas de la ciudad principal (en comparación con el suministro anterior). La inversión total para la primera etapa fue aproximadamente de US\$ 70 millones. Sin embargo, la culminación de esta etapa no alcanzará la calidad requerida para el abastecimiento de agua porque no está libre de riesgo de contaminación. Este problema se presentó en el verano de 1988 cuando la calidad del agua de Lingjiang se deterioró seriamente causando una reducción de 15% del flujo aguas arriba (descarga de las inundaciones del lago Tai) en comparación con el flujo promedio de un año normal y la intrusión de la marea que transporta aguas residuales.

En la segunda etapa del proyecto, el punto de captación será trasladado aguas arriba del puente Huangpu. Los siguientes componentes constituyen las principales inversiones relacionadas con esta etapa:

Rubro	Unidades requeridas	Dimensiones
Estación de bombeo del puente	1	5.400.000 m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup>
Un reservorio con instalaciones de aeración	1	40.000 m <sup>3</sup>
Canal principal de transporte de agua	1	3,4 x 3,8 m; longitud 16,6 km
Canal de transporte de agua	1	2,5 x 2,8 m; longitud 3,5 km
Tubería protegida que cruza el río	1	DN 3700; longitud 0,88 km
Canal secundario para el transporte del agua	2	2,5 x 3,0 m; longitud 6,3 km



**Cuadro II.5** Comparación de los indicadores de calidad del agua obtenidos de diferentes puntos de captación del río Huangpu

Indicador	Puntos de captación del agua				Mejoramiento relativo de la toma de Daqiao <sup>1</sup>
	PTA de Yangshupu	PTA de Nanshi	PTA de Changqiao	Toma del Daqiao	
Amoniaco-N (mg l <sup>-1</sup> )	2,10	1,68	1,00	0,35	Reducido a 6-2,7 veces
Oxígeno disuelto (mg l <sup>-1</sup> )	2,70	4,69	4,72	5,00	Aumentado a 1,9-1,1 veces
Fenol (mg l <sup>-1</sup> )	0,007	0,004	0,004	0,001	Reducido a 7-4 veces
Cloruro (mg l <sup>-1</sup> )	50 (1.500)	45 (1.380)	44 (225)	32 (<93)	Reducido a 1,56-1,3 veces (16,1-2,4 veces)

<sup>1</sup> Mejoramiento comparado de las PTA de Yangshupu, Nanshi y Changqiao

Después de la segunda etapa se espera obtener los siguientes resultados:

- La calidad del agua sin tratar para las plantas de tratamiento de agua mejorará significativamente, principalmente deberá cumplir los requisitos para las fuentes de agua potable (cuadro II.5).
- Después del tratamiento, el agua sin tratar cumplirá las normas nacionales para la calidad de agua potable.
- El área de la nueva fuente de captación cercana al puente (que es un área grande al aire libre) tendrá que ser protegida.

#### II.4.2 Proyecto de recolección y tratamiento de aguas residuales de Shanghai

En 1992, la descarga total de aguas residuales urbanas fue de 5.500.000 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>; las aguas residuales industriales representaron 3.750.000 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> (68%) y las aguas residuales domésticas, 1.750.000 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> (32%). Las plantas de tratamiento de aguas residuales solo recolectaron y trataron el 3% (aproximadamente 180.000 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>), principalmente aguas residuales domésticas. La tubería matriz del oeste recibía 700.000 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> y la tubería matriz del sur, 300.000 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>. Ambas tuberías se construyeron en los años setenta y descargan 18% de sus aguas residuales en el río Yangtze sin ningún tratamiento. El 79% restante se

**Cuadro II.6** Naturaleza y disposición de las aguas residuales en Shanghai

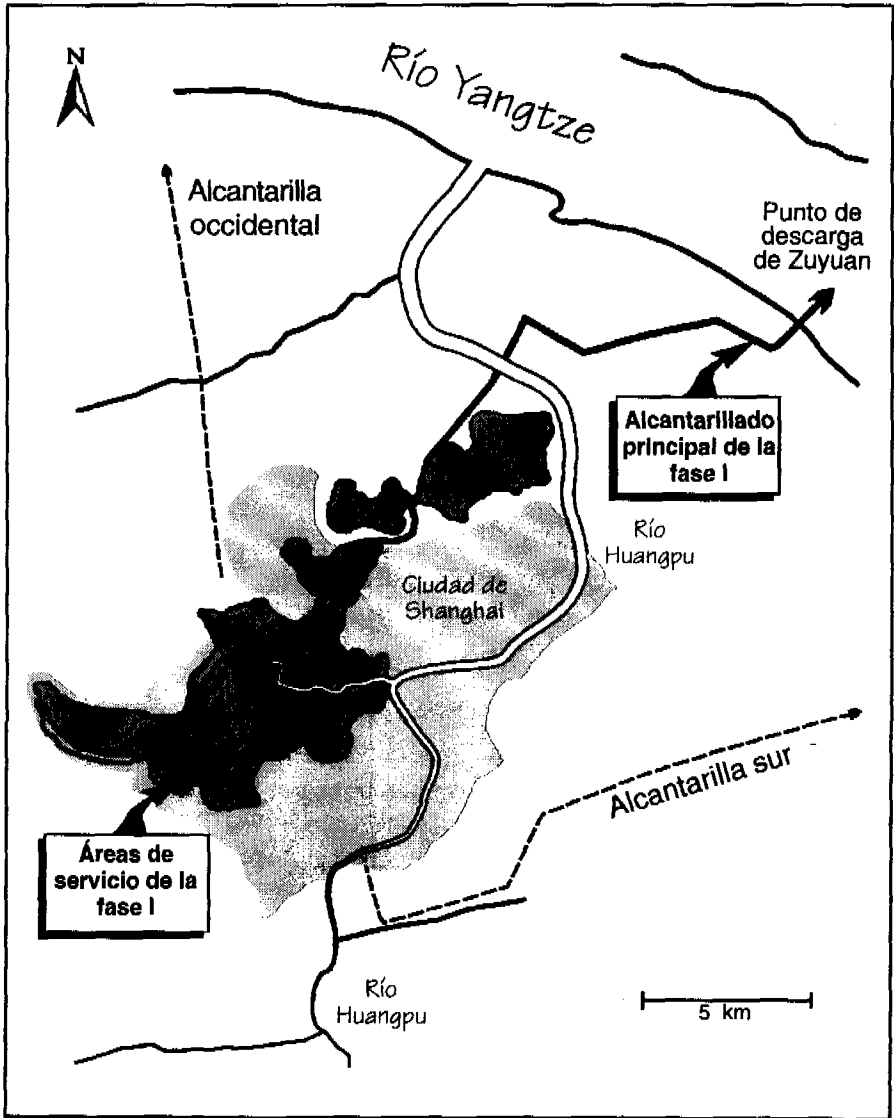
	Cantidad ( $10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ )	Proporción (%)	Observación
Cantidad total	5.500		
Industrial	3.750	68	
Doméstica	1.750	32	
Cantidades descargadas en:			
Plantas de tratamiento de aguas residuales	180	3	500.000 $\text{m}^3 \text{ d}^{-1}$
Al río Yangtze mediante la tubería del oeste	700	13	
Al río Yangtze mediante la tubería del sur	300	5	
Directamente al río Huangpu y sus tributarios	4.320	79	

**Cuadro II.7** Sistema de alcantarillado sanitario de Shanghai

Nombre del sistema	Capacidad del diseño ( $10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ )	Aguas residuales domésticas ( $10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ )	Residuos industriales ( $10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ )	Aguas subterráneas ( $10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ )	Comentario
Shidongkou	700	573	127	200	Concluido
Zhuyuan	1.700	543	916	241	Concluido en diciembre de 1993
Bailongan	4.934	2.340	2.216	378	En planificación, incluidos 700.000 $\text{m}^3 \text{ d}^{-1}$ del sistema de Minghang Wujin
Cantidad total	7.334	3.456	3.259	819	

descargaba directamente al río Huangpu y 30% provenía del tributario, es decir, del río Suzhou. Aproximadamente 25% de las aguas residuales industriales recibían tratamiento primario o secundario (cuadro II.6).

Según el Estudio Estratégico de Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas de Shanghai (Shanghai EPB, 1985), las medidas de control propuestas incluían tratamiento de fuentes puntuales en las industrias, tratamiento centralizado en parques industriales, tratamiento conjunto en varias localidades y centros industriales, grandes sistemas combinados de recolección de alcantarillado para centros urbanos, disposición de aguas residuales en el río Yangtze y aprovechamiento de su capacidad asimilativa (cuadro II.7).



**Figura II.6** Plan del área de servicio y tubería matriz de la primera etapa del proyecto de alcantarillado de Shanghai

*Tratamiento combinado de aguas residuales de Shanghai. Primera etapa del proyecto*

El proyecto de Tratamiento Combinado de Aguas Residuales de Shanghai adoptó el esquema recomendado en el Estudio Estratégico de Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas de Shanghai, es decir, interceptar las aguas residuales urbanas y descargarlas (después del cribado) en el estuario del río Yangtze. La primera etapa dio prioridad a la interceptación de las aguas residuales descargadas en el río Suzhou, al mejoramiento de la calidad del agua y calidad ambiental de la red del río Suzhou, así como a la reducción de la contaminación del río Huangpu (figura II.6). El lugar de disposición del efluente en el estuario del río Yangtze estaba ubicado 10 km aguas abajo de Wusongkou. La primera etapa de 70,6 km<sup>2</sup> sirve a 2,55 millones de personas y a más de 1.000 fábricas. En el diseño, el flujo promedio para la estación seca fue de 1.400.000 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> y el flujo máximo fue de 2.730.000 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> y, como se trata de un sistema combinado de alcantarillado, también recibe escorrentía superficial.

El estudio de viabilidad indicó que las aguas residuales de cada punto de descarga se debían recolectar por gravedad desde el sistema de alcantarillado combinado para conducir las luego a la estación de bombeo (Shanghai Environment Project Office, 1993). Las aguas residuales se deben elevar y pasar a través de un sifón debajo del río Huangpu, llevándolas al otro lado del área de Pudong para el cribado. Durante el pretratamiento se eliminan partículas y sustancias en suspensión que tienen más de 5 mm de diámetro. Finalmente, las aguas residuales debían ser elevadas y bombeadas al Yangtze a través de un sistema de emisarios por difusión en Zyuyan (Anon, 1990).

La construcción de la primera etapa empezó en agosto de 1988. En diciembre de 1993 se completaron las estructuras principales y se inició la operación de ensayos. El costo total del proyecto fue de  $1,6 \times 10^9$  RMB yuan (aproximadamente US\$ 200 millones). El proyecto fue parcialmente financiado por el Banco Mundial.

*Beneficio ambiental de la primera etapa*

Antes de la primera etapa del proyecto de alcantarillado, las aguas residuales urbanas descargadas al río Suzhou, incluidas las aguas residuales domésticas e industriales y escorrentía superficial, eran conducidas al río Huangpu en el centro de Shanghai. Según las estadísticas recopiladas en los años ochenta, la carga de contaminación del río Suzhou representaba 46 % de la carga total de contaminación recibida por el río Huangpu de la zona urbana de Shanghai. Por lo tanto, la interceptación de las aguas residuales descargadas en el río Suzhou mejorará tanto la calidad del agua del río Suzhou como la del Huangpu.

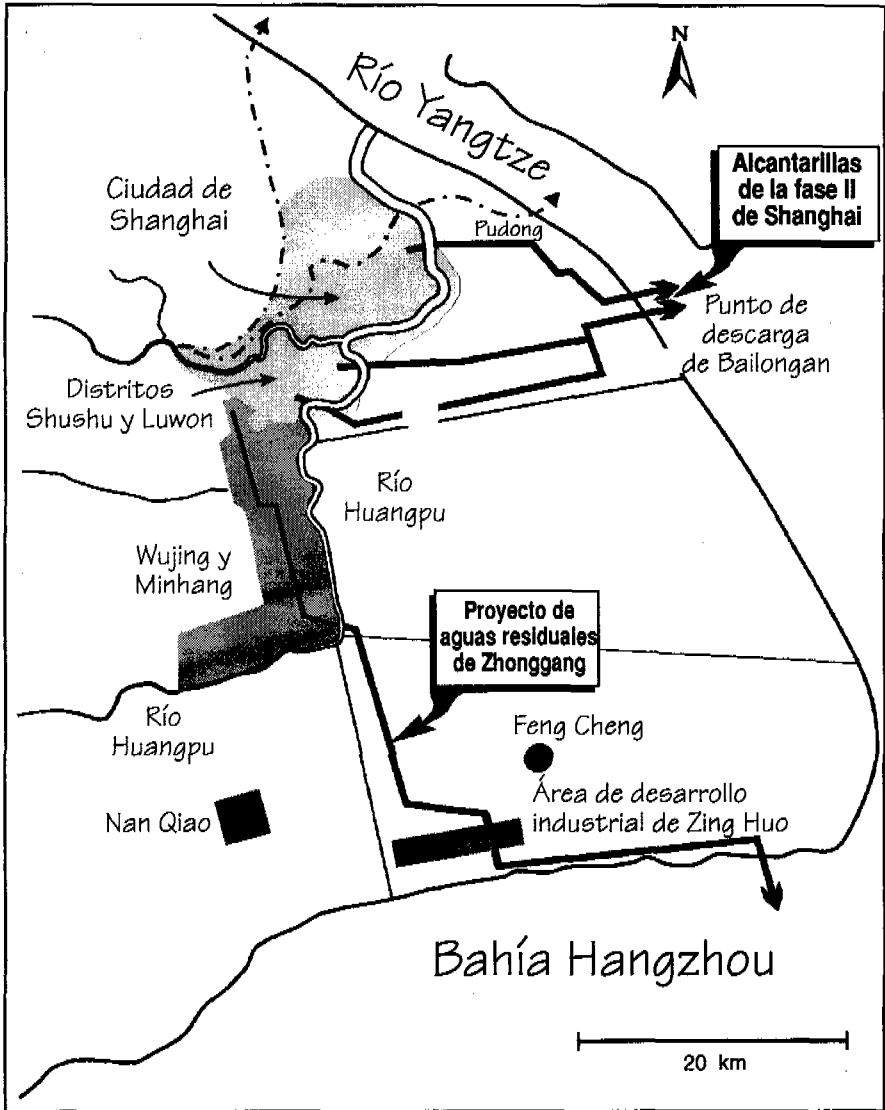
Antes del proyecto, la calidad del agua del río Suzhou era peor que la clase más baja de calidad de agua (clase V) de las normas nacionales de calidad ambiental para agua superficial. Sin embargo, con la interceptación del alcantarillado a lo largo del río Suzhou en la primera etapa, se espera que la calidad del agua mejore significativamente. Dentro de los componentes de la primera etapa se encuentran la recolección de aguas residuales industriales descargadas en cuerpos receptores y la recolección de aguas residuales de varios emisarios principales del río. Con estos subproyectos se mejorará la calidad del agua del río Suzhou al reducirse la carga total de contaminación. Finalmente, el río Suzhou ya no presentará las condiciones insalubres que ha tenido durante muchos años y el ambiente a lo largo del río también mejorará significativamente. El río Suzhou se integra al río Huangpu y, como resultado de 70% de la reducción de la contaminación en la sección urbana del río Suzhou, habrá un mejoramiento importante en la calidad del agua del río Huangpu.

#### *Impacto ambiental alrededor del área del emisario en el río Yangtze*

Basados en los resultados de un modelo, se seleccionó el método de dispersión de agua profunda para la descarga de aguas residuales. La dilución en la zona de mezcla permitiría reducir 100 veces la contaminación del agua residual lanzada, por lo que podría estar considerada dentro de la clase II. Según el modelo físico y matemático de dispersión de aguas residuales, los factores claves que afectan la eficacia de la dispersión en el área de mezcla son la tasa de flujo y la condición de marea. La combinación de una baja tasa de flujo en la estación seca con bajamar crea las peores condiciones para la mezcla. Como consecuencia, se tendría que expandir el área de mezcla hasta 4 km<sup>2</sup> para obtener la razón de dilución necesaria. Por lo tanto, los puntos de dispersión del emisario deben estar lo suficientemente lejos de la orilla para asegurar que el área de mezcla no se aproxime a los bordes y produzca un “cinturón de aguas residuales”. También es importante evitar este cinturón para que los peces migren al canal.

#### **II.4.3 Tratamiento combinado de aguas residuales de Shanghai – Segunda etapa del proyecto**

El objetivo de la segunda etapa del proyecto incluye la recolección de aguas residuales de otras áreas del centro de la ciudad no cubiertas en la primera etapa, incluido el nuevo centro industrial de Pudong y las descargas de aguas residuales en los canales internos de los suburbios. Al completar la segunda etapa del proyecto se espera que la ciudad finalmente tenga un ambiente aceptable.



**Figura II.7** Plan del área de servicio de la segunda etapa del proyecto del alcantarillado de Shanghai

Las áreas en la segunda etapa incluyen 21 km<sup>2</sup> de los distritos Shuhus y Luwan, 155 km<sup>2</sup> en el sur de la nueva área industrial de Pudong y 92,1 km<sup>2</sup> aguas arriba del río Huangpu en los distritos Minghong y Wujin. Se cubrirá un área de 269,6 km<sup>2</sup> con 4,68 millones de personas. La segunda etapa del plan comprende un sistema de recolección de aguas residuales y de pretratamiento con un punto de descarga al río Yangtze en Bailongan (Shanghai Municipal Urban Construction Design Institute, 1993). La implementación de la segunda etapa se dividió en cuatro fases que corresponden a las cuatro tuberías matrices de recolección. Se calcula que la inversión total de la segunda etapa fue de  $4,885 \times 10^9$  RMB yuanes (US\$ 58,6 millones) y se espera completarla para fines de 1998. El estudio de viabilidad del proyecto y la evaluación de impacto ambiental se encuentran en marcha.

#### **II.4.4 El proyecto de alcantarillado de Zhonggang**

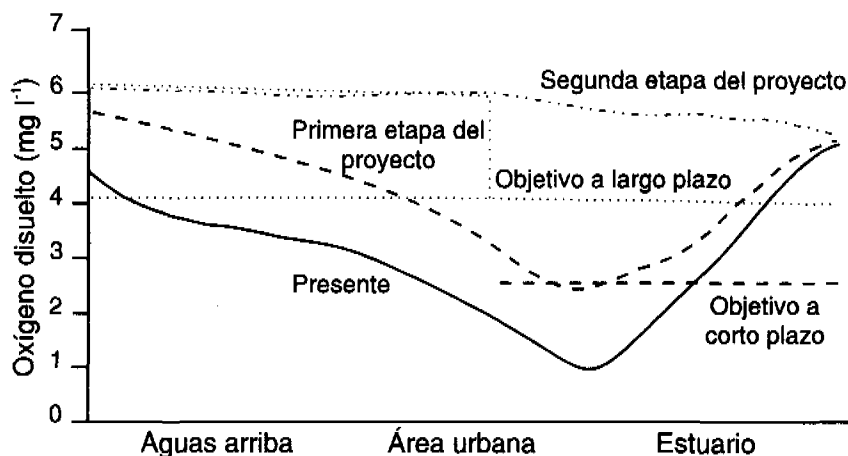
Para proteger la calidad del agua que proviene de la zona alta del río Huangpu se ha propuesto el proyecto de alcantarillado de Zhonggang (figura II.7). El área beneficiada cubrirá muchas industrias rurales, incluidas la explotación mecanizada del ganado y el área industrial de Xinhuo.

#### **II.5 Otras medidas para limpiar el río Huangpu**

El Proyecto de Control de la Contaminación del río Huangpu ha adoptado un enfoque integrado que incluye medidas de ingeniería y de otra índole. Además de las principales obras de ingeniería mencionadas, se incluyen subproyectos de tratamiento de aguas residuales domésticas para la protección del lago Dianshanhu (la fuente de agua del río Huangpu), tratamiento de residuos de ganadería, crianza de cerdos y aves y el establecimiento de un cinturón limpio a lo largo del río para proteger el punto de captación del agua.

Las otras medidas se relacionaron principalmente con el fortalecimiento institucional y normativo. Algunos ejemplos son:

- El establecimiento de la Oficina para la Protección de la Fuente del río Huangpu en Shanghai, con la OPA de Shanghai, responsable del manejo y cumplimiento del control de la contaminación en las riberas de la parte alta del río Huangpu.
- La publicación de los “Reglamentos para la Protección de la Fuente de Agua de los Tramos Superiores del Río Huangpu” y las reglas correspondientes para la ejecución, junto con la autorización de la OPA de Shanghai como organismo responsable por la organización, ejecución y cumplimiento de los reglamentos.



**Figura II.8** Mejoras esperadas en el oxígeno disuelto del río Huangpu como resultado del proyecto de alcantarillado de Shanghai.

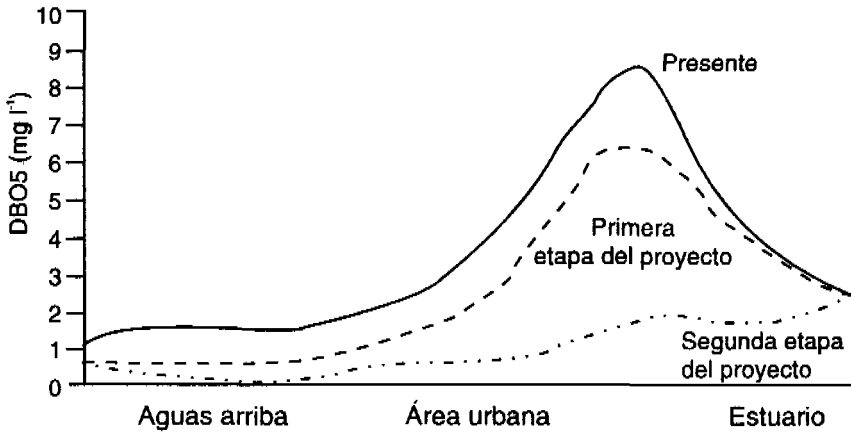
- El cumplimiento del sistema de licencias, basado en el control de la descarga de residuos para limitar la cantidad total de residuos que se disponen en el sistema natural.
- La adopción de un sistema que asegure la permanente capacidad asimilativa del río.
- La promoción de la reducción de residuos y el uso de tecnologías más limpias en las fuentes de contaminación.

## II.6 Conclusiones

Los principales beneficios directos de la limpieza de la cuenca del río Huangpu son sociales y ambientales, aunque también es significativo el beneficio económico. Un ambiente más limpio atraerá la inversión extranjera que es determinante para el futuro desarrollo económico de Shanghai. Algunos de los principales beneficios son:

- Recuperación del sistema ecológico del río Huangpu y sus tributarios debido al incremento de la concentración de oxígeno disuelto (figura II.8) por la disminución de la concentración de materia orgánica (figura II.9).
- Mejor calidad del agua potable, lo que permitirá reducir la tasa de enfermedades y mejorar las condiciones de higiene en el área.
- Eliminación de las condiciones insalubres y el mal olor en los ríos, lo que mejorará la estética del río.





**Figura II.9** Mejoras esperadas en la  $DBO_5$  en el río Huangpu como resultado del proyecto de alcantarillado de Shanghai

- La atracción de mayor inversión extranjera en Shanghai como resultado de un ambiente más limpio.
- Aumento del valor de bienes raíces a lo largo de los ríos y canales más limpios como resultado del proyecto.

## II.7 Referencias

- Anon. 1990 Environmental impact of waste water discharge at Zuyuan. *Shanghai Environ. J*, **19(4)**.
- Qu Geping 1991a *On Environmental Supervision and Management, Environmental Protection in China*. United Nations Environment Programme and China Environmental Science Press.
- Qu Geping 1991b *The Evolution and Development of Environmental Protection Policy in China, Environmental Protection in China*. United Nations Environment Programme and China Environmental Science Press.
- Shanghai Environment Project Office 1993 *Huangpu River Water Quality Protection Feasibility Study*. Shanghai Environment Project Office, Shanghai.
- Shanghai EPB 1985a *Huangpu River Waste Water Integrated and Control Prevention Planning*. Shanghai Environmental Protection Bureau, Shanghai.
- Shanghai EPB 1985b *Shanghai Municipal Waste Water Treatment Strategy*. Shanghai Environmental Protection Bureau, Shanghai.

Shanghai Municipal Urban Construction Design Institute 1992 *Feasibility Study of Extending the Shanghai Water Intake to the Up Stream of the Huangpu River*. Shanghai Municipal Urban Construction Design Institute, Shanghai.

Shanghai Municipal Urban Construction Design Institute 1993 *Feasibility Study of Waste Water Discharge at Bailongan*. Shanghai Municipal Urban Construction Design Institute, Shanghai.

## Estudio de caso III\*

### EL RÍO PASIG, FILIPINAS

#### III.1 Perfil del país

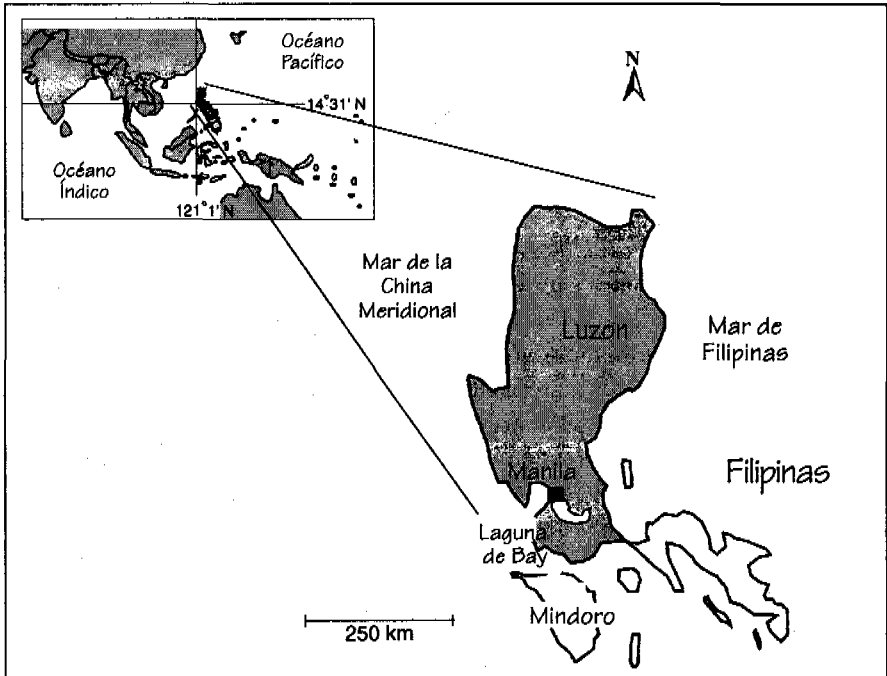
Filipinas es un país con 65 millones de personas, de los cuales, 8 millones equivalentes a 13% de la población total, habita en la Región de la Capital Nacional (RCN), Manila metropolitana (figura III.1). En los últimos 10 años, la población ha tenido un incremento de 2,3% por año. En 1985, 40% de la población era urbana y en 1990 ascendió a 43%.

En 1985 el desempleo en el nivel nacional llegó a 11,1% y en 1989 descendió a 8,6. Sin embargo, en la RCN el desempleo llegó a 26,1 en 1985 debido al alto flujo de inmigrantes de provincias y a la falta de oportunidades laborales en la capital. Desde entonces este índice ha disminuido a 17%. La incidencia de la pobreza ha ido disminuyendo, aunque se registra un elevado 50% en algunas provincias y 32% en la RCN.

Cuando la administración del Presidente Ramos asumió el poder, se embarcó en un programa ambicioso, "Filipinas 2000", para convertir al país en una economía industrializada al iniciarse el nuevo siglo. En 1994 Filipinas logró un crecimiento de 5,1% comparado con el 2,4% de 1993, aunque prematuramente, esto ha significado para el país el respeto de la comunidad empresarial asiática y el *Far Eastern Economic Review* se refirió al país como la "mejor economía de recuperación" en su evaluación de fin de año de 1994.

A pesar de su rezagada imagen, Filipinas continúa siendo el país políticamente más estable de Asia. A diferencia de sus vecinos que tienen estabilidad económica pero carecen de leyes de sucesión, Filipinas ha experimentado una pacífica transferencia del poder político a una democracia recientemente restaurada bajo Corazón Aquino, sucesora del régimen autoritario de 20 años de Ferdinand Marcos. Esta nueva democracia se caracteriza por la restitución de instituciones democráticas, en especial, una constitución popularmente establecida, un cuerpo legislativo que ha cumplido dos períodos desde que se derrocó la dictadura, gobiernos locales popularmente elegidos y al menos tres elecciones pacíficas y creíbles en los niveles nacional y local desde 1986. En general, el presente Gobierno disfruta de un nivel relativamente

\* Este estudio de caso fue preparado por Renato T. Cruz



**Figura III.1** Mapa de Filipinas donde se muestra la Región de la Capital Nacional de Manila

alto de apoyo por parte de la población. Su principal dilema ha sido mantener los triunfos económicos de los dos últimos años y al mismo tiempo manejar el crítico estado de pobreza y la destrucción ambiental de la nación.

### III.2 Identificación de cuencas

El río Pasig recorre cinco ciudades y cuatro municipios (figura III.2) y conecta dos masas importantes de agua; la bahía de Manila en el oeste es el principal puerto comercial y de transporte del país y la Laguna de Bay, en el este, es el lago más grande de agua dulce del país y conecta 30 pueblos suburbanos con el centro metropolitano. Antes del período colonial, el río Pasig era la entrada principal del comercio internacional a lo que ahora es la ciudad de Manila. Los progresos en el transporte terrestre han cambiado el escenario considerablemente.

Tradicionalmente, los municipios aguas arriba eran comunidades de pescadores que dependían principalmente del río Pasig y de la Laguna de Bay, mientras que los asentamientos aguas abajo experimentaban una urbanización rápida por el comercio con las otras provincias y países. Antes que la

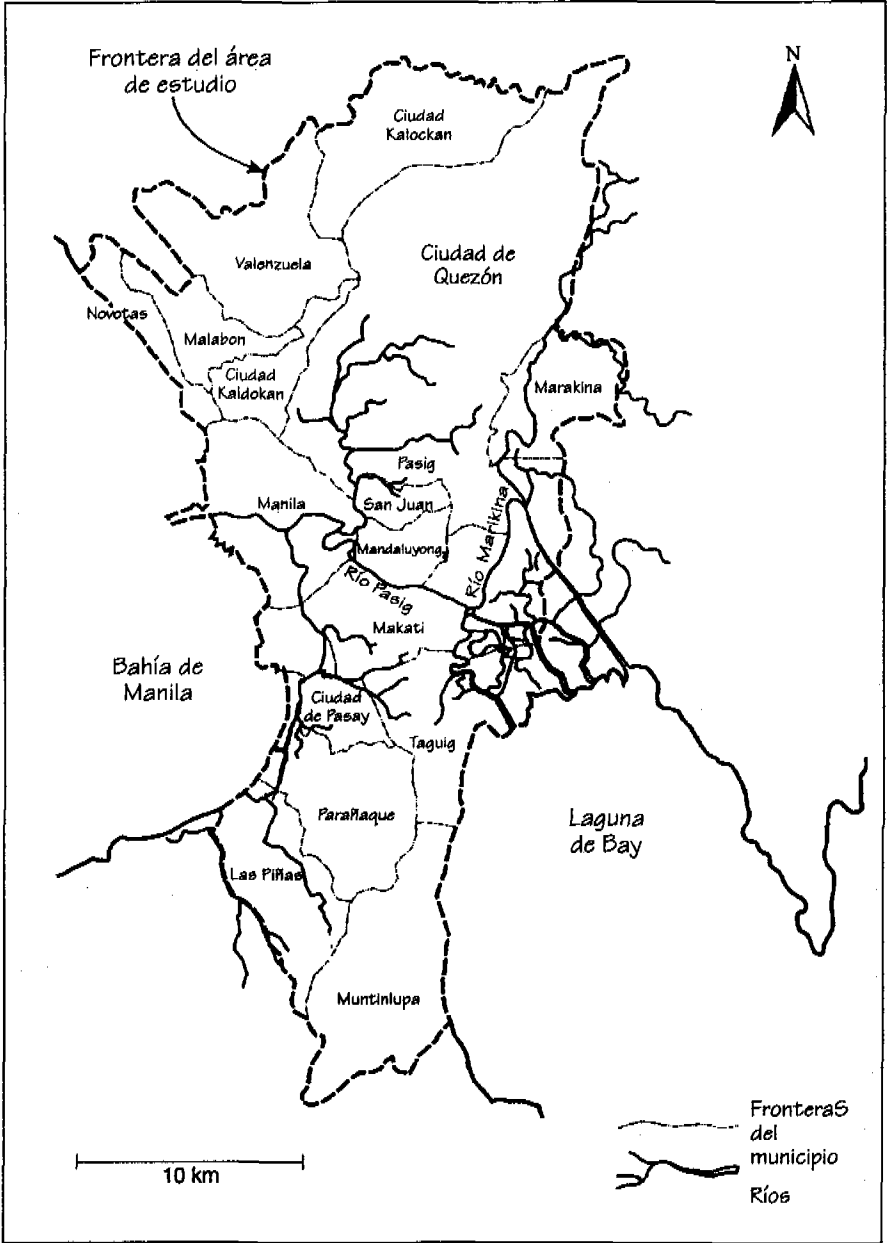


Figura III.2 Mapa detallado del área de estudio que muestra el río Pasig

contaminación prácticamente extinguiera la vida acuática, los 25 km del río Pasig entre la Laguna de Bay y la Bahía de Manila eran el hábitat de 25 variedades de peces y 13 tipos de plantas acuáticas. Hoy en día solo se encuentran seis especies de peces y dos plantas acuáticas que pueden tolerar el agua contaminada. Sin embargo, la situación es reversible. Cada año, durante los meses de lluvia de junio a diciembre, los peces de la Laguna de Bay son llevados por el caudal de la crecida al río Pasig. El mayor nivel de agua en la Laguna de Bay incrementa el contenido de oxígeno disuelto del río, lo que aumenta su potencial para la acuicultura. Lamentablemente, durante los meses secos de verano, de marzo a mayo, el río está prácticamente muerto ya que el agua se estanca debido al reducido flujo.

Las riberas del río Pasig están bordeadas por asentamientos marginales con aproximadamente 12.000 viviendas. Cerca de 2.000 familias viven en casas construidas sobre soportes o bajo puentes en condiciones infrahumanas y peligrosas para ellos mismos y para las embarcaciones del río. Estos asentamientos no tienen instalaciones sanitarias y sus residuos líquidos y sólidos se vierten directamente al río.

Las diversas subculturas existentes en Metro Manila dan como resultado muchos problemas que reflejan las complejas características socioeconómicas de la ciudad. Con el continuo vertimiento de desechos, el lecho del río presenta cada vez más sedimentos de materia orgánica y basura no biodegradable. Esto ocasiona graves desbordes a lo largo del río que afectan a las comunidades vecinas y llevan el agua contaminada a las viviendas cercanas al río.

### **III.3 Situación antes de la intervención**

Un estudio de factibilidad de 1991, realizado por el Departamento del Ambiente y Recursos Naturales (DARN) con financiación del Organismo Danés de Desarrollo Internacional (DANIDA) y asistencia técnica de la consultoría danesa Carl Bro Internacional, estableció los niveles de contaminación y las condiciones generales del río Pasig. El estudio se realizó entre 1989 y 1990 y ha sido el principal punto de referencia para el programa de rehabilitación.

#### **III.3.1 Fuentes de contaminación**

La contaminación industrial representa 45% de la contaminación total del río Pasig. Cerca de 315 de las 2.000 o más fábricas situadas en la cuenca del río han sido identificadas como las principales contaminadoras del río, con una carga promedio de 145 t de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) por día. Esto se estableció al determinar los sólidos suspendidos en las aguas residuales tratadas y sin tratar. Según los registros, las industrias textiles y alimentarias

son las contaminadoras principales entre las consideradas en el estudio. Se espera que la tasa de contaminación disminuya 2% al año debido a los limitados terrenos comerciales disponibles a lo largo del río y los requisitos para el transporte de contenedores.

Los desechos líquidos domésticos son responsables de 45% de la carga contaminante del río Pasig. De los 4,4 millones de personas que vivían en el área de captación del río Pasig durante el período de estudio, solo 0,6 millones o 14% estaban conectadas al servicio de alcantarillado que trata las aguas residuales domésticas antes de descargarlas en la Bahía de Manila. Las aguas residuales sin tratar, que corresponden al 88% de la población, fluyen a través de canales y esteros hacia los viaductos principales del río Pasig. Se calcula que  $148 \text{ t d}^{-1}$  de DBO desembocan en el río Pasig exclusivamente de las salidas de aguas residuales dispuestas a lo largo de su recorrido. El Sistema Metropolitano de Abastecimiento de Agua y Alcantarillado (SMAAA), organismo del Gobierno responsable de los desechos líquidos domésticos, no cumple con su tarea por falta de fondos. Como también es responsable del abastecimiento de agua en la metrópoli, ha tenido que dar prioridad al abastecimiento de agua antes que al manejo de aguas residuales.

Los residuos sólidos solo constituyen 10% de la contaminación del río Pasig. Aunque muy visible, la basura aporta solo 30 t de DBO por día. Sin embargo, estos sólidos que flotan en la superficie del agua evitan el paso de la luz solar para las plantas acuáticas y se asientan en el lecho del río produciendo interferencia en la vida acuática.

Según el estudio, la recolección de basura por la Metro Manila Authority (MMA) en las áreas residenciales de los 367 *barangays* (pueblos) varió entre 70 a 100% según la accesibilidad del área de recolección. A lo largo del río existen áreas donde se arroja basura. Se calcula que las 34 t de basura acumulada en estas riberas en 1990 aumentarán a 55 t en el año 2005.

### III.3.2 Mayor migración y dificultades económicas urbanas

Desde 1988 hasta 1990, la tasa de migración en los asentamientos marginales a lo largo de las riberas fue de 73%. La constante migración hacia la metrópoli ha dado lugar a la congestión y explotación de tierras y del río Pasig. El incremento de la pobreza en las zonas rurales ha condicionado la migración a Metro Manila para buscar mejores oportunidades de ingresos. Las riberas del río son las áreas más apropiadas para los asentamientos marginales nuevos ya que muchos de los barrios pobres de la metrópoli están sobrepoblados.

El Gobierno atraviesa por serios problemas económicos que han limitado la provisión de mejores viviendas a los pobres. Tampoco ha sido capaz de

realizar mejoras para superar la deficiente infraestructura o de introducir medidas para el control de la contaminación, lo que ha dado como resultado la presente situación del río y su entorno.

### **III.3.3 Falta de un programa estratégico para la rehabilitación de ríos**

El estudio de factibilidad concluyó que los problemas de contaminación del río empeoraron desde los años setenta o durante los últimos 20 años. Las administraciones anteriores emprendieron esquemas de rehabilitación de ríos, sin embargo, sus beneficios tuvieron una corta duración porque no abordaron la raíz del problema.

El estudio también concluyó que había leyes suficientes y responsabilidades reglamentarias asignadas a organismos del Gobierno. Lamentablemente, estos organismos no han podido ejercer sus funciones de control eficazmente debido a engorrosos procesos legales y a la burocracia. Entre otras razones, se descubrió que existían organismos del Gobierno con responsabilidades duplicadas, pero ningún organismo único encargado de la coordinación general. Peor aún, las unidades de los gobiernos locales han sido negligentes al ordenar el uso de terrenos y hacer cumplir la ordenanza de zonificación establecida por la Comisión de Manila Metropolitana (antecesor del MMA) a principios de los años setenta. En consecuencia, tendría que formularse y ponerse en práctica un plan de desarrollo integral para que el mejoramiento del río Pasig sea sostenido y para evitar que gran parte de los desechos de la ciudad sean descargados en el río.

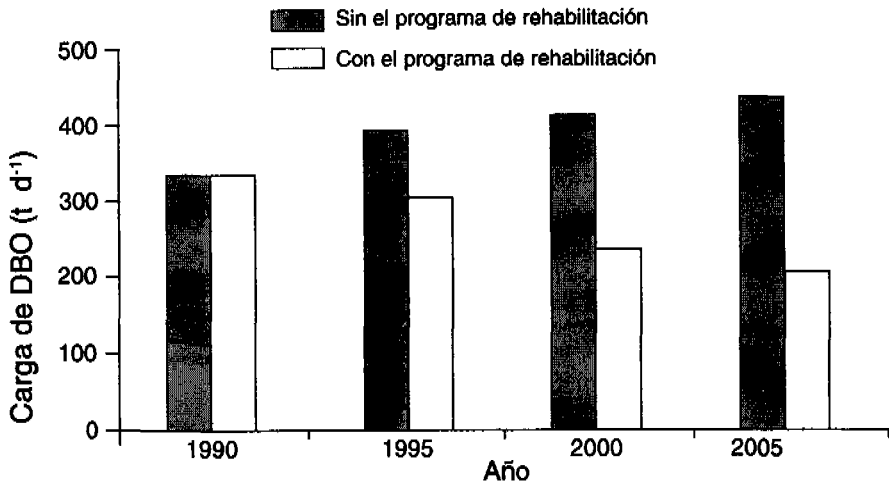
### **III.3.4 Inundaciones**

También se identificó a las inundaciones como un problema. La combinación de tuberías viejas con la basura produce bloqueos en el sistema. En una inundación de 1986, toda Metro Manila fue cubierta por agua y en algunas áreas alcanzó una profundidad de siete pies, aproximadamente 2,1 m. Las investigaciones revelaron que esto se debió al inadecuado drenaje y al grave atascamiento del sistema de drenaje. Desde entonces, el Departamento de Obras Públicas y Carreteras (DOPC) se ha ocupado de los programas de drenaje, ha construido y renovado drenes en áreas bajas, así como defensas de las riberas. solo para las actividades de control de inundaciones, el Gobierno ha invertido un promedio de P100 millones durante los últimos quinquenios pasados.

### **III.3.5 Reducción del uso del río**

Históricamente, el río Pasig ha sido reconocido por sus funciones recreativas y de transporte. Debido a su gradual deterioro, solo algunos entusiastas del remo





**Figura III.3** Cargas de DBO proyectadas para el río Pasig con y sin el programa de rehabilitación

se animan a usar el río. El río fue clasificado en la clase D y, por consiguiente, se desalienta los deportes acuáticos secundarios. Si asciende a la clase C, podría promoverse deportes como el remo.

A comienzos de los años noventa se estableció un sistema de transporte fluvial como parte de un esfuerzo para proporcionar rutas alternativas de transporte en la metrópoli. La compañía privada que administraba los barcos tuvo que culminar sus servicios después de unos años debido a grandes pérdidas financieras. Aparentemente, el olor y los desechos flotantes hacían desagradable el viaje en las embarcaciones.

En general, gran parte de la vida acuática en el río ha ido disminuyendo con el aumento de los niveles de contaminación. El estudio de viabilidad concluyó que el río se encuentra actualmente en la clase D. Las simulaciones de los modelos matemáticos indicaron que la carga de DBO debe reducirse de las 327 t d<sup>-1</sup> en 1990 a 200 t d<sup>-1</sup> para restaurar la ecología del río (figura III.3).

### III.3.6 Programas anteriores sobre el río Pasig

Anteriormente, se han hecho esfuerzos por devolver la vida al río Pasig. Sin embargo, estos han fracasado porque los programas no reconocieron la importancia de incluir a las comunidades y al sector privado.

Uno de esos esfuerzos fue el de la anterior Primera Dama y gobernadora interina de Metro Manila, Sra. Imelda R. Marcos. Su plan consistía en un espectáculo grandioso para atraer turistas con casinos y restaurantes flotantes,

**Recuadro III.1** Resumen de los proyectos propuestos para el Programa de Rehabilitación del río Pasig

1. Secretaría de Rehabilitación del Río
2. Limpieza del río Pasig
3. De residuo industrial a energía
4. Industria secundaria para la recuperación de recursos
5. Tratamiento de residuos de hospitales
6. Recolección de desechos sólidos en los ríos
7. Mejora de los asentamientos marginales
8. Mejora de los laboratorios de calidad del agua
9. Capacidad de absorción de la Bahía de Manila
10. Construcción de sistemas de alcantarillado sanitario (Metross II)
11. Programa de mantenimiento de tanques sépticos
12. Tratamiento local del alcantarillado de áreas y complejos residenciales de altos ingresos
13. Desviación del río San Juan
14. Recolección de desechos sólidos en lugares inaccesibles
15. Programa integrado para el manejo de desechos sólidos
16. Mangahan este y oeste
17. Cauce de las inundaciones Pasig-Marikina
18. Desarrollo de la Región de la Capital Nacional
19. Retiro de barcas hundidas
20. Parques en las riberas
21. Renovación urbana del distrito de Escolta

como el Aberdeen de Hong Kong y góndolas inspiradas en Venecia. Se pintaron las defensas de las riberas y se plantaron árboles para iniciar el programa de mejoramiento. Sin embargo, muy rápidamente, estos planes fracasaron debido a la falta de apoyo.

### **III.4 El escenario de intervención**

#### **III.4.1 Objetivos, estrategias y metas**

El estudio de factibilidad propuso un Programa de Rehabilitación del Río Pasig (PRRP) cuyos objetivos son:

- Mejorar la calidad del agua del río Pasig.
- Mejorar las condiciones ambientales en y a lo largo del río.

El programa tiene dos estrategias:

- Limpiar físicamente el río a corto plazo.
- Detener la contaminación en las fuentes a largo plazo.

El plan de operación sugerido por el estudio recomendó 21 proyectos diferentes (véase el recuadro III.1) durante 10 a 15 años a un costo de US\$ 420 millones aproximadamente. Es un programa integral que abordaría las fuentes principales de contaminación del río, así como los problemas que contribuyeron al deterioro del entorno. El PRRP es un programa interinstitucional que tiene como organismo líder al Departamento del Ambiente y de Recursos Naturales. El programa tiene las siguientes metas:

- Eliminar completamente el olor ofensivo que se presenta en la estación seca mediante la reducción del nivel de contaminantes descargados en el río.
- Reducir la carga de DBO del río Pasig de 330 t d<sup>-1</sup> a 200 t d<sup>-1</sup>.
- Disminuir la cantidad de residuos sólidos que se arroja en los ríos y tributarios del sistema del río Pasig mediante la recolección permanente de desechos.
- Aumentar y controlar el flujo de agua en el sistema del río Pasig, especialmente durante la estación seca.
- Reducir la frecuencia de inundaciones a lo largo del río Pasig y sus afluentes principales.
- Fortalecer el contenido y mejorar el cumplimiento de la Ordenanza de Zonificación de 1981 para la Región de la Capital Nacional.
- Retirar las embarcaciones hundidas en el lecho del río.
- Crear parques a lo largo del río Pasig.
- Reubicar los asentamientos marginales instalados a lo largo del río Pasig y sus afluentes principales.

#### **III.4.2 Actividades y estrategias**

Se están llevando a cabo las siguientes actividades para lograr las metas mencionadas anteriormente:

##### *Establecimiento de la Secretaría de Rehabilitación de Ríos*

Reconociendo la necesidad de una entidad específica para coordinar los esfuerzos de rehabilitación del río Pasig, el PRRP requirió el establecimiento de la Secretaría de Rehabilitación del Río (SRR) como una oficina de proyecto bajo la DARN. La SRR es la encargada de establecer el sistema de coordinación, proveer el apoyo técnico a la gestión de programas y preparar las condiciones para la transferencia de tal responsabilidad a un organismo del Gobierno. Como Secretaría oficial del PRRP, la SRR es responsable de:

- Revisar los planes, programas y metas y la implementación del programa.
- Monitorear y coordinar las actividades entre socios.

- Evaluar la eficacia de los programas del PRRP para asegurar que sigan los preceptos y el mandato del programa.
- Seleccionar y aprobar la viabilidad técnica y financiera de los proyectos propuestos al programa.
- Identificar la deficiencia de recursos y limitaciones que afectan el programa.
- Revisar y recomendar mejoras en las políticas, leyes y reglamentos que afectan el programa.

La SRR tiene una función central en la coordinación de los esfuerzos del programa y, por consiguiente, también establece los mecanismos para formar asociaciones con todos los involucrados. Su estructura incluye la capacitación al personal de los socios y otras actividades que mejoran las relaciones de trabajo de los interesados y promueven la cooperación.

#### *Reducción de la contaminación industrial*

Se están implementando dos proyectos en el Plan de Operaciones para abordar la contaminación industrial: “De residuos a energía” e “Industria secundaria de recuperación de desechos”. La SRR y el Programa Metropolitano de Mejora Ambiental (PMMA) adoptaron un enfoque alternativo para tratar a las empresas contaminantes. Los dos proyectos comprometieron a los 25 contaminadores industriales principales del río Pasig en el Pacto del Río Limpio. Bajo este convenio, las empresas participantes se comprometieron a apoyar al PRRP y a cumplir con los estándares para afluentes. Por su parte, el PRRP proporcionó asistencia técnica a las empresas. El pacto asegura que las industrias tratarán sus aguas residuales o reducirán sus descargas para que el río Pasig pueda absorberlas. De esta forma, se promovió la cooperación de las “empresas socias” y la SRR se encargó de promover a las industrias. Bajo este acuerdo, la SRR, la Oficina Regional de la Capital Nacional del DARN y la Laguna Lake Development Authority realizaron el monitoreo regular de los establecimientos de la ribera.

#### *Manejo de los residuos líquidos*

Debe mejorarse también el sistema de alcantarillado, lo que implica una fuerte inversión pública. El SMAAA tiene un programa de largo plazo para mejorar el alcantarillado y aumentar la cobertura de sus plantas de tratamiento. Esto se incluyó como uno de los proyectos principales del plan de operación. Inicialmente, el SMAAA abordó este problema con su Programa de Manejo de Tanques Sépticos (PMTS), a través del cual se limpian estas unidades, ya sean domésticas o comerciales de áreas seleccionadas para prevenir desbordes en el principal sistema de drenaje de Metro Manila. Las limitaciones financieras

han obstaculizado la ejecución de este proyecto, pero los esfuerzos pueden mejorarse si se generan más fondos públicos.

#### *Manejo de residuos sólidos*

Para abordar el problema de residuos sólidos, el programa se vinculó con un programa paralelo del Gobierno. El Servicio Sanitario de Canales Fluviales del MMA se encarga de la limpieza física del río, ayudado por unidades de los gobiernos locales y otros organismos como la Guardia Costera de Filipinas, que colocó trampas en lugares estratégicos para atrapar restos flotantes que luego eran recolectados. Se están realizando intensivas campañas de sensibilización en las comunidades ribereñas para que organicen el manejo y reciclaje de desechos. Los jóvenes del área también se han movilizado para difundir información sobre los esfuerzos para mejorar el río Pasig y alentar la colaboración de todos.

#### *Desarrollo de infraestructura*

Para aumentar el flujo del río se están limpiando las áreas poco profundas y se han reflatado 22 embarcaciones hundidas. La limpieza se ha limitado a la desembocadura del río Pasig, pero se está renovando la defensa de la ribera en varios sitios. Asimismo, el Programa de Rehabilitación apoya el desarrollo de parques ribereños que desalienta el asentamiento de barrios marginales y promueve la apreciación del río. El reconocimiento del riesgo de las comunidades que invaden las riberas del río y su contribución directa a la contaminación del mismo, ha motivado la reubicación de los asentamientos marginales en las afueras de Metro Manila.

Asimismo, se mejorará el laboratorio de calidad del agua de la Oficina de Manejo Ambiental. La capacidad e instalaciones existentes del laboratorio se desarrollarán para promoverlo como Laboratorio de Referencia Nacional para análisis de calidad del agua.

#### *Información, educación y comunicación*

Conociendo que los intentos previos para rehabilitar el río Pasig han fracasado debido a la falta de apoyo del sector privado, la SRR estableció una Unidad Pública de Información y Activación. El objetivo de esta unidad es conseguir el apoyo del sector privado, por ejemplo, de las comunidades, negocios y escuelas para promover el programa y sus proyectos. Se ha preparado un plan integral de comunicación para manejar estas actividades.

Se ha elaborado y difundido materiales de comunicación, incluidos anuncios de televisión, documentales, carteles, etiquetas adhesivas, volantes, folletos,

cartillas y boletines informativos. También se están desarrollando presentaciones audiovisuales para capacitación y seminarios del PRRP y sus programas, y a los medios de comunicación se les proporciona regularmente información actualizada sobre el programa.

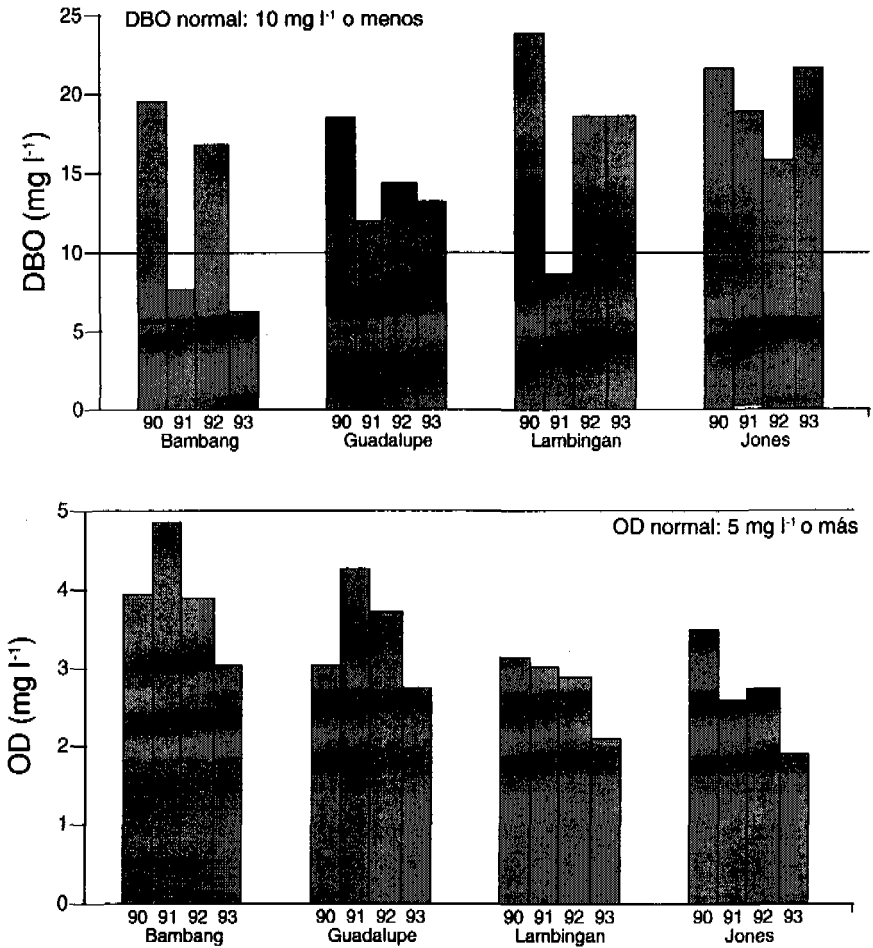
Junto con estos materiales, la SRR apoya la organización de grupos del sector privado para desarrollar actividades que ayudan al programa. El Departamento de Educación, Cultura y Deportes es un nexo importante entre la SRR y estudiantes de escuelas públicas, especialmente para aumentar la conciencia y para implementar el Programa Escolar del PRRP en el cual se desarrollan exhibiciones y competencias que culminan en competencias interescolares. También se está promoviendo la inclusión de la ecología y conservación ambiental en las actividades escolares. Las comunidades se están organizando para ejecutar los programas de manejo de residuos con la ayuda del Movimiento Sagip Pasig (Salvemos el Pasig) cuya presidenta honoraria es la Primera Dama Amelita M. Ramos. La SRR también apoya al Movimiento Linis Ganda en la organización de "cooperativas de artículos usados" dedicada al reciclaje de residuos. Las campañas de limpieza también han comenzado en las comunidades, especialmente a lo largo del río Pasig y sus afluentes principales.

#### *Desarrollo de personal*

Reconociendo que el éxito del PRRP depende de la eficiencia de los recursos humanos, se estableció una Unidad de Desarrollo de Recursos Humanos en la SRR con dos estrategias básicas: ubicación de personal capacitado en la red organizacional y el perfeccionamiento de las habilidades del personal actual. Las áreas específicas de capacitación se centraron en el desarrollo de aptitudes para la coordinación, gestión de proyectos, gestión de recursos, educación ambiental, comunicación y habilidades técnicas especializadas. Esto asegura que los socios participen plenamente en el programa de acuerdo con su capacitación.

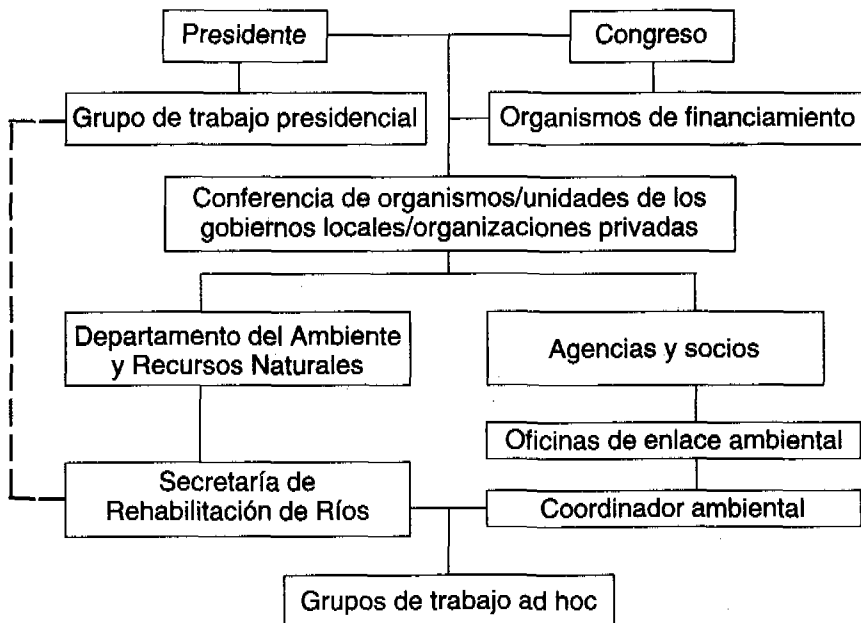
#### *Monitoreo de la calidad del agua*

Para medir el éxito del programa, las aguas del río Pasig se analizan dos veces al mes y se determinan los niveles de contaminación. El programa usa 10 estaciones de muestreo a lo largo del río Pasig, incluidos el río San Juan, Marikina, Bahía de Manila y Laguna de Bay para medir el grado de contaminación basado en la DBO, oxígeno disuelto (OD), recuento de coliformes, salinidad, fosfatos, nitratos y otros (véase los ejemplos en la figura III.4).



**Figura III.4** Promedio anual de DBO y concentración de oxígeno disuelto (OD) en el río Pasig, 1990-1993.

Los expertos de calidad del agua del programa usan el modelo denominado Sistema Mike 11. En el sistema se registran los atributos físicos del río y los niveles de contaminación que se determinan regularmente. Los datos recogidos se procesan mediante ecuaciones matemáticas del modelo que simula el río y su flujo. Esto permite que los expertos puedan predecir los niveles altos de agua en el río o simular flujos de gran volumen desde un extremo a otro del río, así como niveles de contaminación bajo condiciones simuladas.



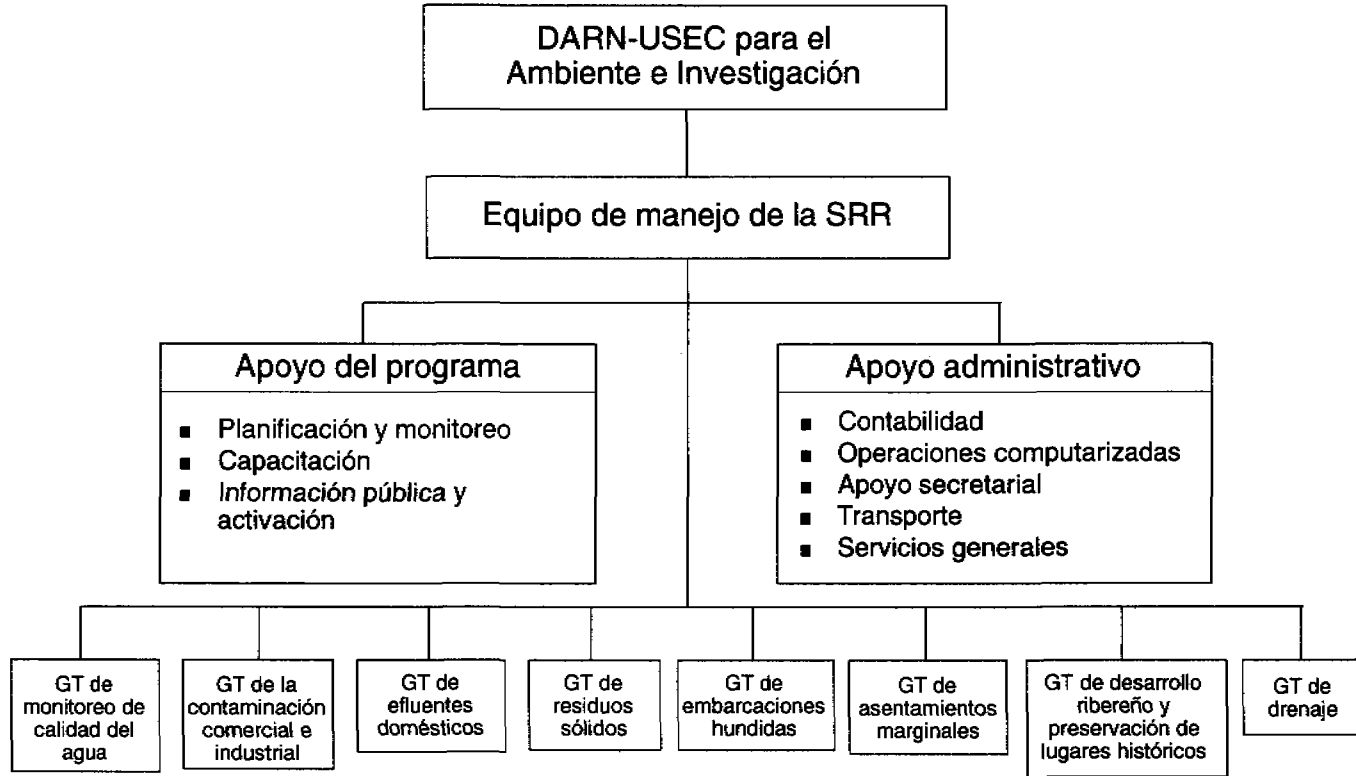
**Figura III.5** Estructura organizacional del Programa de Rehabilitación del Río Pasig (PRRP)

### III.4.3 Estructura actual

El presidente Fidel V. Ramos ha incluido al PRRP como una de las prioridades de su agenda durante su administración. Por consiguiente, es una preocupación del Gobierno que cuenta con el apoyo del Presidente de la República y el Congreso. Para lograr sus objetivos, el Presidente Ramos en julio de 1993 estableció el Grupo de Trabajo Presidencial para la Rehabilitación del Río Pasig, compuesto por los organismos gubernamentales directamente relacionados con los esfuerzos del PRRP y presidido por el Secretario del DARN. El grupo de trabajo es la entidad principal que maneja las actividades del programa y rinde cuentas directamente al Presidente (figura III.5).

La estructura de la SRR está encabezada por un equipo de gestión compuesto por un asesor ambiental de Danida y un director del proyecto del DARN. Para la administración y grupos de trabajo recibe el apoyo de los directores adjuntos del proyecto que apoyan los programas (figura III.6). El programa cuenta con personal administrativo, de contabilidad, computación, secretaría, transporte y servicios generales. Asimismo, hay oficiales de acción que actúan como coordinadores de los nueve grupos de trabajo del PRRP. Ellos mantienen la





**Figura III.6** Estructura de la Secretaría para la Rehabilitación del Río Pasig (GT: grupo de trabajo)

conexión vital entre la SRR, como oficina coordinadora, y las diferentes oficinas de los socios representados por sus coordinadores ambientales, funcionarios del manejo de la contaminación y personal de enlace involucrado en el programa.

Las unidades de planificación y monitoreo, desarrollo de recursos humanos e información pública y activación apoyan a estos grupos de trabajo. Estas unidades de apoyo proporcionan el personal y la logística para la coordinación general, capacitación del personal involucrado en el PRRP, campañas de concientización pública e implementación efectiva de proyectos sin prioridad mediante la movilización del público en general y las comunidades.

#### **III.4.4 Principales logros en el primer año**

En los 18 primeros meses del programa se creó una red con más de 100 grupos gubernamentales y no gubernamentales. Treinta y cinco organismos del Gobierno firmaron un Memorándum de Acuerdo en el cual claramente señalaban su aceptación y apoyo al plan de operación del Programa de Rehabilitación del Río Pasig. El Memorándum también identifica las responsabilidades claves con las cuales se han comprometido los signatarios.

El Memorándum de Acuerdo fue el trampolín para establecer el sistema de planificación y monitoreo de los aportes de cada uno de los organismos involucrados en el plan de operación. La SRR facilitó la formulación del programa de trabajo al reunir los diversos organismos en ocho grupos de trabajo técnico. Los comités se reúnen regularmente para tratar la implementación de los planes, así como para hacer recomendaciones de política al Grupo de Trabajo Presidencial. Los organismos se reúnen dos veces al año para intercambiar información y discutir los obstáculos y políticas que afectan a los organismos participantes.

El apoyo político se generó mediante la creación del Grupo de Trabajo Presidencial para la Rehabilitación del Río Pasig. Como resultado, la mayoría de los organismos que participan fueron obligados a cumplir con sus compromisos, aunque varios estuvieron limitados por fondos y cambios en sus prioridades. Este sistema de coordinación también ha atraído la participación de algunos grupos del sector privado interesados en el río Pasig.

De las 25 empresas de socios que firmaron el Pacto del Río Limpio en septiembre de 1993, 10 empresas han cumplido con los estándares para efluentes del DARN en octubre de 1994, cinco recibieron Órdenes de Cesar y Desistir y las demás mejoraron o construyeron sus plantas de tratamiento de residuos. Desde entonces, el MEIP ha ayudado a las industrias a cumplir con el pacto. La experiencia adquirida se aplicará a las otras compañías a lo largo del río.

Preparándose para esto, la SRR, la Laguna Lake Development Authority y la Oficina Regional de la Capital Nacional del DARN han emprendido un proyecto integrado de base de datos industriales que registra a las compañías y sus operaciones a lo largo del río Pasig y la Laguna Lake.

Los sólidos flotantes y el vertido de residuos en el río se han controlado parcialmente mediante esfuerzos interinstitucionales. Las unidades de los gobiernos locales de las áreas pertinentes intensificaron sus actividades para hacer cumplir las leyes y sus campañas de sensibilización. La Guardia Costera de Filipinas instaló trampas para impedir que los sólidos flotantes se propaguen por el río. El Servicio de Saneamiento de Canales del MMA reinició sus actividades de recolección de basura en barcos con estaciones a lo largo del río.

Al mismo tiempo, el Movimiento Salvemos el Pasig y la SRR han instalado programas de apoyo para abordar el problema de los residuos sólidos. El Movimiento Salvemos el Pasig ha capacitado a las comunidades a lo largo del río Pasig en la eliminación de residuos y ha creado una red multisectorial en dos comunidades para apoyar sus programas de eliminación de residuos con la participación de la población. La SRR también ha apoyado al Movimiento Linis Ganda que recoge materiales reciclables de las comunidades y los vende a empresas con sistemas de reciclaje. Ambas organizaciones también han ayudado a organizar “cooperativas de artículos usados” en algunos municipios y ciudades involucradas en el programa.

Se han retirado exitosamente 25 embarcaciones hundidas en el lecho del río gracias a los esfuerzos de la Guardia Costera de Filipinas. Se han identificado recientes naufragios y se están realizando los esfuerzos necesarios para reflotar los restos lo más pronto posible.

La administración de la ciudad de Manila transformó un antiguo basural en un parque y dos de los 20 km de un tramo del río han sido transformados por el gobierno municipal de Marikina en un parque con bancas, pistas para correr y diversas instalaciones.

Asimismo, se han reparado y construido defensas en las riberas del río. Los sectores poco profundos del río se han dragado con la colaboración del Departamento de Obras Públicas y Carreteras.

En Cavite y Marikina se han reubicado más de 1.000 familias de los asentamientos humanos ubicados a lo largo del río Pasig. Esto se logró con los esfuerzos de las unidades del gobierno local, la Autoridad Nacional de Vivienda, el DPWH y la Oficina del Presidente.

Ha habido un interés considerable en el programa del río Pasig por parte del público general que se ha informado a través de los medios de comunicación.

Los comentarios, sugerencias y "cartas al director" han sido publicados en diversos diarios y las expresiones públicas de interés y preocupación se han transmitido a las oficinas de la Primera Dama, DARN y SRR.

### **III.5 Lecciones aprendidas, limitaciones y oportunidades**

La fase inicial del programa fue muy ilustrativa. En su primer año, gran parte de las dificultades se centraron en la disponibilidad de la tecnología, procedimientos burocráticos y una falta general de fondos para la ejecución de proyectos.

Se encontró que las industrias contaminantes tenían plantas adecuadas para el tratamiento de residuos, pero no podían cumplir con las normas del DARN debido a la ineficacia de sus operaciones. En respuesta, la SRR ha capacitado a los operadores de las plantas de tratamiento de residuos de estas empresas. Combinado con un monitoreo continuo, esto ha impulsado diversos esfuerzos para frenar la contaminación industrial. En términos generales, el enfoque cooperativo parece estar trabajando bien para manejar la contaminación industrial.

La existencia de leyes y reglamentos que prohíben arrojar desperdicios ha ayudado a disminuir los residuos flotantes en el río. La limitación principal sigue siendo el cumplimiento de tales leyes. Los requisitos logísticos son insuficientes y los procedimientos burocráticos han obstaculizado la ejecución de los proyectos. Se necesitaba más barcos de recolección para reiniciar el programa de recolección de residuos del río porque el contrato de alquiler de la flota de 12 barcos venció en diciembre de 1994. La recolección exitosa de residuos depende de la difusión de información sobre la reducción de residuos y la educación de las comunidades ribereñas en el manejo de residuos. Los esfuerzos actuales son mínimos si se comparan con la gravedad del problema. La capacitación en eliminación de residuos necesita más personal para cubrir más comunidades.

El gobierno municipal de Marikina ha demostrado que el desarrollo de las riberas depende principalmente del gobierno local. La voluntad política de retirar a las personas de las edificaciones y establecimientos ilegalmente construidos para mantener el desarrollo a lo largo del río ha obligado a los gobiernos locales a extensos debates con los grupos interesados. Además, el financiamiento para la construcción y mantenimiento de los parques a lo largo del río es escaso. Esto se ve agravado por la ordenanza de zonificación que estipula que los canales deben tener un espacio libre de 10 m a ambos lados, lo cual apenas se aplica.

Aunque el SMAAA efectúa regularmente el vaciado de los tanques sépticos, son pocos los lugares para disponer lodo que cumplen con las normas ambientales. También existe la necesidad de asegurar fondos para la segunda fase del sistema de alcantarillado de Metro Manila que todavía se encuentra en la etapa de planificación. Pese a las inversiones realizadas, el gasto asignado para el dragado es una cantidad minúscula comparada con el total requerido para crear un impacto en el flujo del río. Por consiguiente, esta medida es solo paliativa.

Al igual que todos los esfuerzos de reubicación, el programa del PRRP se enfrenta con problemas de financiamiento, logística y la lucha constante con las organizaciones comunitarias de los grupos marginales. Como sucede con el programa de residuos sólidos, también se necesita la educación de las comunidades ribereñas, especialmente de las familias marginales aptas para la reubicación. La administración y el programa concuerdan en que las familias que invaden el río y construyen sobre los canales representan un peligro para ellos mismos y para aquéllos que se desplazan por el río. El problema se agrava aún más por el flujo creciente de migrantes de otras partes del país y de la metrópoli y la consecuente reducción del espacio disponible.

### **III.6 Conclusiones y recomendaciones**

Los primeros 18 meses del programa se concentraron en obtener el consenso de las organizaciones preocupadas por el plan maestro de rehabilitación y en la implementación para cumplir con los objetivos del programa de largo plazo. Esta ha sido una experiencia que ha demandado gran esfuerzo pero ha sido enriquecedora. Una vez que todos los organismos, tanto públicos como privados, estuvieron de acuerdo con los objetivos y estrategias del programa de rehabilitación, resultó más sencillo conseguir que sus programas y proyectos respectivos se adaptaran al sistema general. Lamentablemente, el PRRP tiene que intentar resolver los problemas que se presentan al coordinar un programa interinstitucional de largo plazo que abarcará tres períodos presidenciales. El Gobierno de Filipinas tiene el hábito de modificar las prioridades con cada administración.

El éxito a largo plazo del programa también depende de la capacidad de sus gerentes para obtener los recursos necesarios para cumplir con sus objetivos. Lógicamente, la implementación consistente del plan maestro crearía la confianza necesaria para atraer el apoyo de los donantes. A menos que el programa de rehabilitación pueda racionalizarse para ser económicamente beneficioso, dependerá de subvenciones y préstamos blandos y no podrá atraer la inversión del sector privado. Lamentablemente, esto se convierte en un círculo

vicioso. La gran brecha financiera del programa seguirá frenando su exitosa implementación.

La presión social será un elemento importante para el futuro del programa. La participación continua y directa de las organizaciones del sector privado obligará al Gobierno a cumplir los objetivos de largo plazo del programa. La opinión pública y la vigilancia de los medios de comunicación sin duda ejercerán gran influencia sobre esta presión. Esta será posible si existe una campaña consecuente y agresiva de información, educación y comunicación, y transparencia en el programa. Hasta el momento, los esfuerzos del PRRP han creado conciencia pública, pero no el suficiente interés para aumentar la presión sobre el Gobierno a fin de que cumpla el programa.

A continuación, se presentan las áreas críticas que requieren especial atención en la próxima fase del programa:

- Mayor coordinación entre las organizaciones involucradas en el programa a través de una evaluación minuciosa de los planes de implementación, esfuerzos comunes para aumentar la capacidad y apoyo crítico a los proyectos claves. Otro elemento importante es la institucionalización del sistema de coordinación, ya sea a través de un organismo nuevo por un período limitado o el fortalecimiento e incorporación de esta función en un organismo gubernamental existente. La legislatura necesita aprobar una ley en un futuro inmediato para establecer tal coordinación.
- Constante revisión y mejora del plan de operación. El programa debe ser flexible para responder a los cambios rápidos que ocurren en el ambiente económico y político. Si hay un sistema eficaz de coordinación entre todos los organismos que participan, no debe resultar difícil modificar los planes, rectificar los errores ni aprovechar nuevas oportunidades.
- Una campaña agresiva para reunir recursos a fin de asegurar la implementación de los proyectos claves en el plan de operación. Será imposible asegurar el financiamiento para todos los proyectos en un período corto, por consiguiente, debe priorizarse la generación de recursos. Una vez implantado el sistema de coordinación, deben realizarse los esfuerzos requeridos para obtener los fondos necesarios y asegurar la implementación de los programas. La falta de fondos no debe ser una excusa para los retrasos en la implementación de los proyectos. Más bien, debe incentivarse la creatividad al revisar los planes o dividir los proyectos de manera que puedan ejecutarse más fácilmente para prevenir retrasos. Lo peor que podría suceder es que el programa pierda su impulso y, en el proceso, el interés público y político.

- Fortalecimiento de la participación pública en el programa. Las organizaciones privadas son generalmente más capaces que el Gobierno para mantener las iniciativas porque las consideraciones políticas no les afectan en gran medida. La participación activa de un mayor número de organizaciones privadas, especialmente de aquéllas que pueden proporcionar habilidades técnicas especiales, por ejemplo, para la movilización de comunidades e investigación, normalmente no inherentes al Gobierno, asegurará la continuidad del programa.





## Estudio de caso IV\*

### NIGERIA

#### IV.1 Introducción

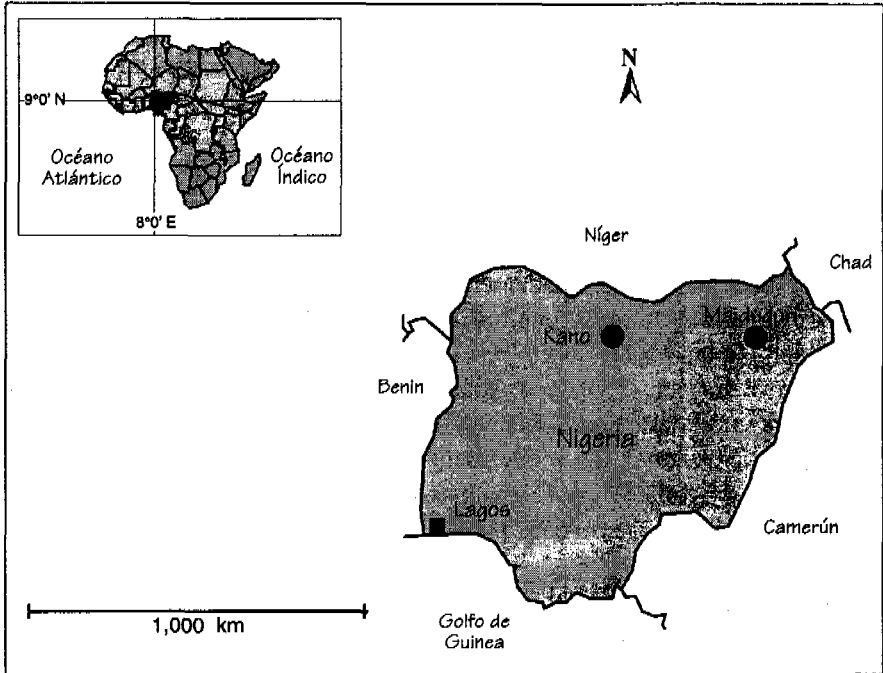
Nigeria está ubicado aproximadamente entre las latitudes 4° y 14° al norte de la línea ecuatorial y entre las longitudes 2° 2' y 14° 30' al este del meridiano de Greenwich (figura IV.1). Limita por el norte con las Repúblicas de Níger y Chad, por el sur con el Océano Atlántico, por el este con la República del Camerún y por el oeste con la República de Benin. Cuenta con una población de más de 100 millones, diseminados en forma desigual sobre un territorio de 923.770 km<sup>2</sup>. Nigeria ocupa el octavo lugar entre las naciones más pobladas del mundo y tiene un cuarto de la población total de todos los países de África subsahariana.

El clima, que afecta la calidad y la cantidad de los recursos hídricos del país, recibe la influencia de dos sistemas importantes de viento: el monzónico húmedo, relativamente fresco, que avanza del sudoeste a través del Océano Atlántico hacia el país y trae consigo lluvias y el viento Harmattan, caliente, seco y cargado de polvo que viene del noreste y cruza el desierto del Sahara y produce un clima seco y polvoriento. La temperatura media fluctúa entre los 25 y 30 °C (77 y 86 °F), aunque debido a la influencia moderada del mar la temperatura máxima media diaria y anual aumenta a medida que se avanza de la costa hacia el interior del país. En la época seca, la temperatura es mayor y oscila entre los 20 y 30 °C (68 y 86 °F).

#### IV.1.1 Recursos hídricos

Nigeria cuenta con abundantes recursos hídricos aunque su distribución es desigual en la superficie del país. La precipitación anual más alta, cerca de 3.000 mm, ocurre en el delta del Níger y los manglares del sudeste, donde las lluvias duran más de ocho meses al año. Hay una reducción progresiva de las precipitaciones hacia el norte, siendo la región saheliana nororiental más árida pues tan solo cae 500 mm a<sup>-1</sup> durante 3 a 4 meses. Las inundaciones

\* *Este estudio de caso fue preparado por Laurence Chidi Anukan*



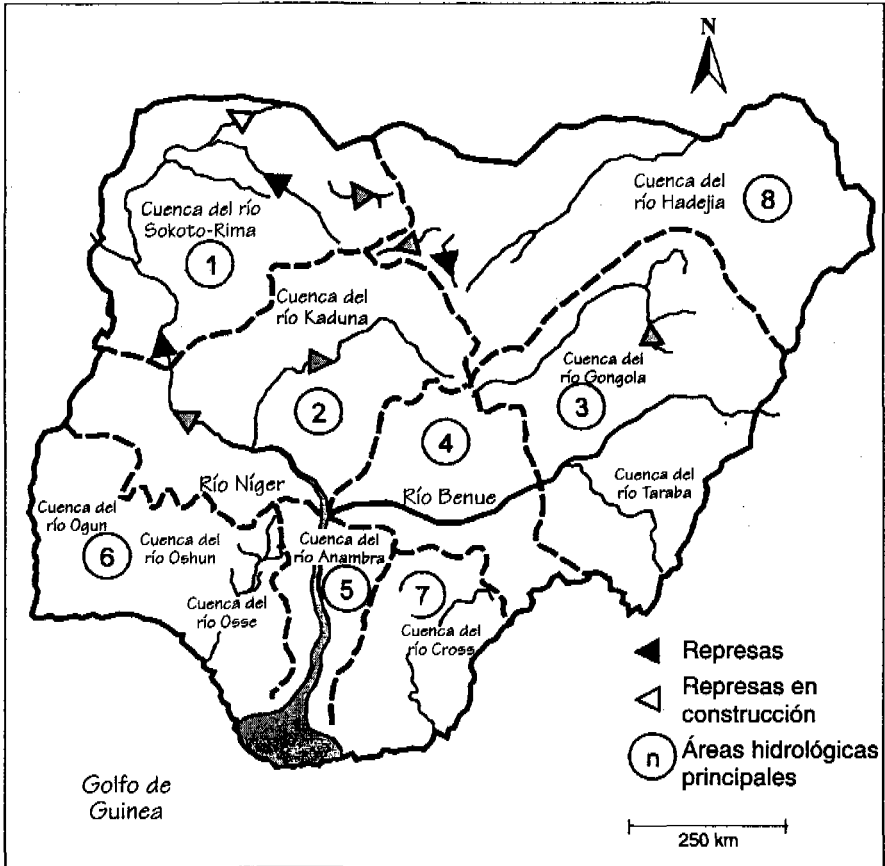
**Figura IV.1** Mapa de ubicación de Nigeria

generalizadas ocurren en el sur del país, mientras que en el norte hay escasez severa de agua durante la temporada seca cuando los manantiales, arroyos y pozos alimentados por las lluvias se secan.

Hay cuatro sistemas principales de drenaje en el país (figura IV.2):

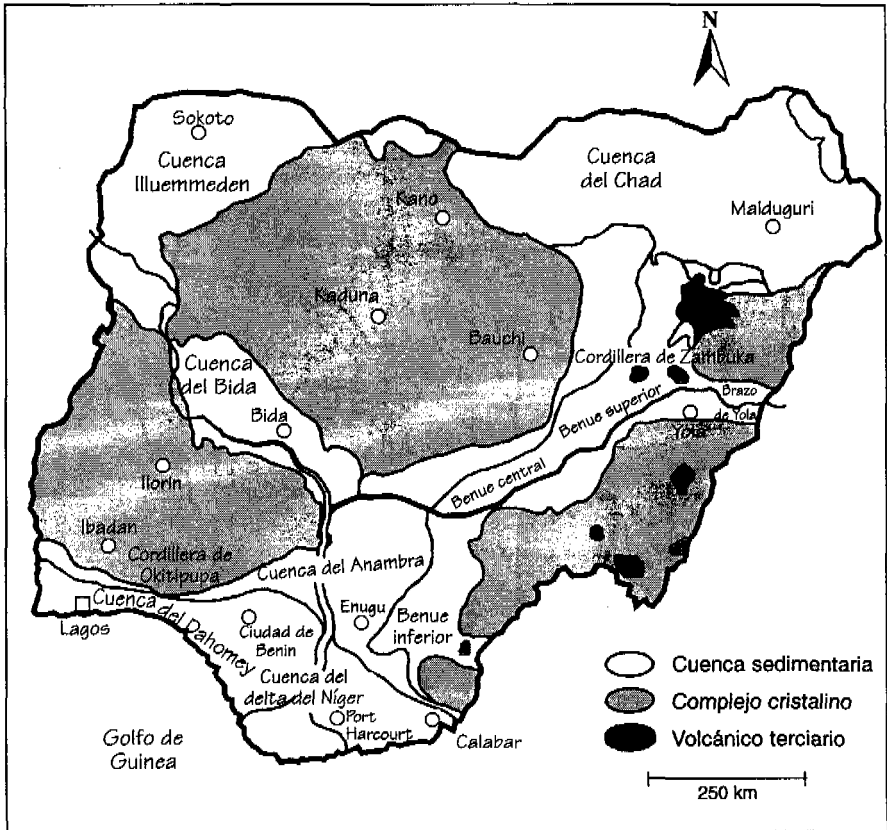
- El sistema de drenaje de la cuenca del río Níger con sus tributarios principales, los ríos Benue, Sokoto-Rima, Kaduna, Gongola, Katsina-Ala, Donga, Tarabe, Hawal y Anambara.
- El sistema de drenaje interior del lago Chad que comprende los ríos Kano, Hadejia, Jama'are Misau, Komadougou-Yobe, Yedoseram y Ebeji.
- El sistema atlántico de drenaje (al este del Níger) formado por los ríos Cross, Imo, Qua Iboe y Kwa.
- El sistema atlántico de drenaje (al oeste del Níger) constituido por los ríos Ogun, Oshun, Owena y Benin.

Aparte del sistema de drenaje interior del lago Chad, los tres restantes sistemas de drenaje terminan en el Océano Atlántico con una extensa red de canales del delta (figura IV.2).



**Figura IV.2** Mapa de Nigeria con los ríos y cuencas hidrológicas principales: 1 norte del Níger, 2 Níger central, 3 Benue superior, 4 Benue inferior, 5 Sur del Níger, 6 Litoral del oeste, litoral del este, 8 Lago Chad

Los recursos de aguas subterráneas están limitados por la estructura geológica del país (figura IV.3) y más de la mitad yacen bajo el complejo precámbrico, compuesto principalmente de rocas metamórficas e ígneas. Sin embargo, hay áreas extensas de esquistos fracturados, cuarcitas y derivados metamorfoseados de sedimentos antiguos en los cuales a menudo se encuentra agua a gran profundidad. Las formaciones sedimentarias, tales como los depósitos terciarios de las cuencas del Chad y del Sokoto, los depósitos del cretáceo del Níger y Benue y la formación sedimentaria del delta del Níger, producen aguas subterráneas en cantidades diversas.



**Figura IV.3** Mapa de las principales formaciones geológicas de Nigeria

### IV.1.2 Contaminación del agua

La contaminación del agua en Nigeria ocurre tanto en zonas rurales como urbanas. En las zonas rurales, el agua potable de los ríos y arroyos generalmente está contaminada por sustancias orgánicas provenientes de actividades agrícolas aguas arriba. La forma más común de contaminación asociada con la silvicultura es la creciente concentración de partículas del suelo vertidas por movimientos de tierra. Las partículas grandes se hunden y aumentan la carga del lecho, mientras que las más pequeñas, dependiendo de la velocidad del flujo, permanecen suspendidas. En el río Níger, los estudios han revelado que la materia suspendida puede dificultar la penetración de la luz y limitar la zona fotosintética a menos de un metro de profundidad. Los sedimentos que flotan en las corrientes de agua han preocupado seriamente a las autoridades del abastecimiento de agua porque incrementan los costos del tratamiento del agua.

En Nigeria, muchas fábricas están ubicadas cerca de los ríos y en ellos vierten sus efluentes. Las industrias principales responsables de la contaminación del agua en Nigeria son la industria del petróleo, minería (oro, estaño y carbón), madera y pulpa, productos farmacéuticos, textiles, plásticos, hierro y acero, cerveza, fermentación de destilerías, pintura y alimentos. De todos estos, la industria petrolera es la principal amenaza para la calidad del agua. Esporádicamente ocurren derrames accidentales de petróleo que ponen en peligro las fuentes locales de abastecimiento de agua y los recursos biológicos de agua dulce, especialmente en las zonas rurales.

Los problemas asociados con la falta de recursos hídricos adecuados en el país amenazan la salud de aproximadamente 40 millones de personas. Recientes estudios del Banco Mundial (Banco Mundial, 1990) indican que costaría más de US\$ 10<sup>9</sup> al año corregir tales problemas si no se detiene la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales. Las personas más afectadas tienden a ser los pobres urbanos y los que no poseen tierras. A largo plazo, el nivel actual de deterioro ambiental podría crear problemas de salud en gran parte de la población debido a las enfermedades transmitidas por el agua. Muchas personas sufren enfermedades por consumir agua potable contaminada. La contaminación del agua también significa un riesgo para otros recursos; los recursos del suelo y pesqueros, por ejemplo, han sido afectados significativamente. La mayoría de los problemas de contaminación ambiental surgen de fuentes antropogénicas, principalmente de las actividades domésticas e industriales.

## **IV.2 Política ambiental nacional**

### **IV.2.1 La Agencia Federal para la Protección del Ambiente**

El gobierno militar federal ha dado gran importancia al ambiente y estableció la Agencia Federal para la Protección del Ambiente (AFPA) mediante el Decreto 58 del 30 de diciembre de 1988 (FGN, 1988a). La AFPA es responsable de la protección general del ambiente y sus funciones y prioridades iniciales incluyen:

- Coordinar todos los programas ambientales del país.
- Actuar como punto focal nacional para el ambiente y como organismo de coordinación para todas las actividades bilaterales y multilaterales sobre el ambiente con otros países y organizaciones internacionales.
- Establecer e implementar normas ambientales y de emisión relacionadas con la contaminación del aire, agua y ruido.
- Controlar las sustancias que pueden afectar la estratosfera, especialmente la capa de ozono.

- Prevenir y controlar las descargas dañinas y peligrosas en el aire, agua o suelo.

#### **IV.2.2 La política nacional del ambiente**

La política nacional del ambiente fue establecida por el presidente en Abuja el 27 de noviembre de 1989 (AFPA, 1989). El objetivo era lograr el desarrollo sostenido en Nigeria y en particular:

- Asegurar la calidad adecuada del ambiente para la salud y bienestar de todos los nigerianos.
- Conservar y usar el ambiente y los recursos naturales para beneficio de las generaciones presentes y futuras.
- Restaurar, mantener y mejorar los ecosistemas y procesos ecológicos esenciales para el funcionamiento de la biosfera y preservación de la diversidad biológica y adoptar el principio del rendimiento óptimo sostenible en el uso de los recursos y ecosistemas naturales vivos.
- Crear conciencia pública y promover la comprensión de la relación entre el ambiente y el desarrollo, y alentar la participación individual y comunitaria en los esfuerzos por mejorar el ambiente.
- Cooperar de buena fe con otros países, organizaciones y organismos internacionales para lograr el uso óptimo de los recursos naturales transfronterizos y la prevención o reducción eficaz de la contaminación ambiental.

La introducción de pautas y normas formó parte de la ejecución de la política y estrategia de reducción de la contaminación ambiental. Estas pautas y normas se relacionan con seis áreas del control de la contaminación ambiental:

- Restricción de efluentes.
- Calidad del agua para usos industriales en el punto de captación.
- Restricción de las emisiones industriales.
- Limitación de la exposición al ruido.
- Manejo de residuos sólidos y peligrosos.
- Reducción de contaminación en las industrias.

Las medidas de protección ambiental sólo son significativas si se comprende adecuadamente el ambiente que se protegerá. No se recomienda la sobreprotección ni la poca protección del ambiente. En condiciones ideales, las normas deben tener como base los datos del ambiente en el nivel nacional. Actualmente, tales datos son escasos en Nigeria. Un enfoque alternativo es adaptar las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y las normas de las naciones desarrolladas de Europa y América. El componente de calidad del agua se debe basar en las guías de la OMS. Sin embargo, al transponer los

datos entre los países, debe considerarse las diferencias socioeconómicas y climáticas.

#### **IV.2.3 Establecimiento de programas de monitoreo ambiental**

Con el establecimiento de las guías y normas, la AFPA ha iniciado un programa de monitoreo para asegurar que se cumplan las normas establecidas. Los objetivos del programa incluyen:

- La creación de una base ambiental.
- La detección y evaluación de las tendencias ambientales.
- La advertencia de la aparición de condiciones ambientales críticas.
- La identificación de accidentes críticos que pueden exceder la tasa de recuperación del ambiente.
- La prevención de amenazas potenciales para el ambiente humano.
- La provisión de medios para el almacenamiento y recuperación de datos.

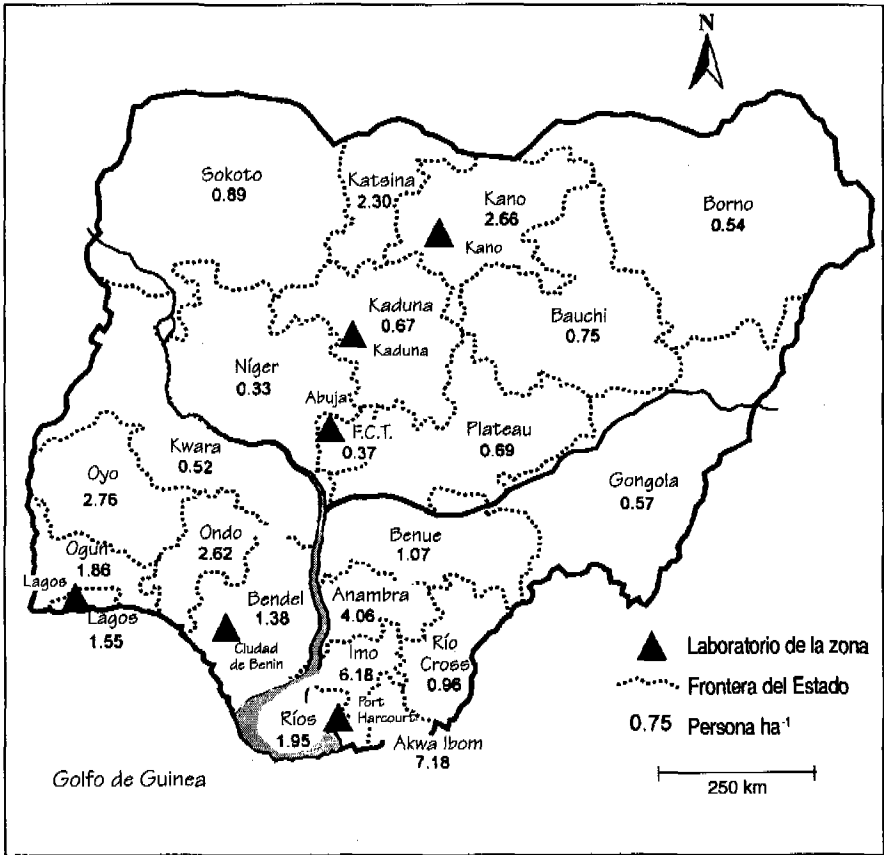
Se están realizando esfuerzos para construir laboratorios zonales en diversas partes del país a fin de proporcionar una cobertura adecuada al monitoreo de las causas y efectos del deterioro ambiental provenientes de fuentes domésticas, recreativas e industriales. Se propusieron seis laboratorios zonales en las siguientes ciudades (figura IV.4): Lagos, Abuja, Benin, Kano, Jos y Port Harcourt. El laboratorio de Lagos ya está funcionando y también actúa como laboratorio nacional de referencia.

#### **IV.2.4 El laboratorio nacional de referencia para el ambiente**

La oficina de la AFPA en Lagos y el complejo de laboratorios zonales se establecieron en octubre de 1990. El complejo de Lagos actúa como laboratorio de referencia para el ambiente y sirve a las actividades de monitoreo ambiental de los Estados y del Territorio Federal de la Capital. El complejo del laboratorio de Lagos está compuesto por cinco unidades:

- Laboratorio de agua y aguas residuales.
- Laboratorio analítico.
- Laboratorios de sustancias tóxicas.
- Laboratorio de microbiología.
- Laboratorio para propósitos generales, incluidas las técnicas de ensayos biológicos.

Una vez equipado adecuadamente, el complejo del laboratorio proporcionará a la AFPA la capacidad de generar datos confiables para determinar el cumplimiento de las guías y normas interinas nacionales establecidas por el Gobierno para vigilar y controlar la contaminación industrial y doméstica.



**Figura IV.4** Mapa de Nigeria con las principales divisiones administrativas, densidad de población y ubicación de los laboratorios zonales propuestos.

### IV.3 Manejo de recursos hídricos

El punto decisivo para el desarrollo y manejo de los recursos hídricos en Nigeria ocurrió después de la severa sequía de los años sesenta. La respuesta del Gobierno a la catástrofe fue el inicio de las estrategias para el desarrollo coordinado y eficaz de los recursos hídricos que culminó a mediados de los años setenta con la creación del Ministerio Federal de Recursos Hídricos y las Autoridades para el Desarrollo de Cuencas de Ríos. Las actividades de estas instituciones se fortalecieron aún más en 1981 con el establecimiento del Comité Nacional de Recursos Hídricos y las Juntas de Agua en el nivel estatal. Estos



organismos se encargaban de hacer un inventario y asegurar la planificación y manejo racional y sistemático de los recursos hídricos del país.

En los años setenta y principios de los ochenta, el manejo de los recursos hídricos en Nigeria tuvo muchos problemas que frenaron el desarrollo del recurso. Algunos de ellos fueron:

- Escasez de agua.
- Duplicación innecesaria en las organizaciones, estructuras y funciones de los organismos pertinentes.
- Falta de coordinación y deficiente asignación de funciones entre los organismos gubernamentales encargados del desarrollo de los recursos hídricos en el nivel federal, estatal y local.
- Desconocimiento de la interrelación entre las aguas superficiales y subterráneas, y entre los recursos hídricos y el uso del suelo.
- Falta de leyes eficaces para proteger el agua y el ambiente y carencia de medios para hacer cumplir las leyes existentes.

A fines de los años ochenta, Nigeria empezó a realizar grandes esfuerzos para enfrentar estos problemas: se creó un organismo nacional para coordinar las actividades de protección ambiental en el país (véase la sección IV.2.1); se formuló una política ambiental nacional amplia que, entre otras cosas, abordó el tema de los recursos hídricos (véase la sección IV.2.2); y se promulgó el decreto sobre residuos peligrosos con la intención de desalentar el vertido ilegal de residuos peligrosos en terrenos y cursos de agua. (FNG, 1988b).

#### **IV.3.1 Estrategias de la política nacional del ambiente**

La implementación de la política nacional del ambiente de Nigeria depende de acciones específicas dirigidas a los sectores principales y áreas problemáticas del ambiente (AFPA, 1989). El enfoque de gestión adoptado en la política se basa en una visión integral, holística y sistemática de los temas ambientales. Se espera que las actividades del programa de esta política establezcan y fortalezcan los mecanismos legales, institucionales, normativos, de investigación, de monitoreo, evaluación, información pública y otros pertinentes para asegurar el logro de las metas y objetivos específicos de la política. Las estrategias también promoverán la evaluación ambiental previa de las actividades propuestas que puedan afectar el ambiente o el uso de los recursos naturales. La administración eficaz de los recursos hídricos en Nigeria incluye las siguientes estrategias:

- Promulgación de una ley nacional de recursos hídricos para coordinar el desarrollo de los recursos hídricos.
- Formulación de un plan maestro de recursos hídricos.

- Mejora de la eficiencia del uso del agua para el desarrollo sostenible.
- Implementación de medidas para la conservación de agua, incluido el trasvase entre cuencas.
- Establecimiento y cumplimiento de normas nacionales de calidad y emisión de efluentes para proteger la salud de los seres humanos, ecosistemas acuáticos y especies.
- Establecimiento de estaciones o redes de monitoreo ambiental para localizar y vigilar las fuentes contaminantes y determinar su peligro real o potencial para la salud de los seres humanos y el ambiente.
- Recopilación continua de datos para el monitoreo y manejo de recursos.
- Introducción de incentivos económicos.

Los programas existentes para evaluar los recursos hídricos disponibles del país se están fortaleciendo para proporcionar, entre otras cosas, datos sobre:

- Las características hidrológicas que afectan a los recursos hídricos superficiales.
- La ubicación de recursos hídricos subterráneos y sus características en términos de profundidad, producción, permeabilidad, almacenamiento y posibilidades de recarga.
- El uso per cápita del agua y requerimientos.
- Los cambios en los regímenes hidrológicos que resultan de las actividades humanas, tales como el uso o extracción del agua, contaminación y efectos de la minería y tala de árboles.
- El manejo de represas pequeñas y grandes.
- Los problemas de riego, salinidad, drenaje y contaminación por fertilizantes, pesticidas y siembra.
- Flora y fauna de agua dulce.

Como parte de las estrategias para la ejecución de la política nacional sobre el ambiente en el sector hídrico, se ha formulado un plan maestro integral de recursos hídricos en el nivel nacional con apoyo del Gobierno de Japón, a través del Organismo Japonés de Cooperación Internacional (JICA). Por primera vez se ha promulgado un decreto para la protección y manejo de los recursos hídricos (FGN, 1993) con los siguientes objetivos:

- Promover la óptima planificación, desarrollo y uso de los recursos hídricos de Nigeria.
- Asegurar la coordinación de las actividades que tengan la probabilidad de influenciar la calidad, cantidad, distribución, uso y manejo del agua.
- Garantizar la aplicación de normas y técnicas apropiadas para la investigación, uso, control, protección, manejo y administración de los recursos hídricos.

- Facilitar la asistencia técnica y rehabilitación de los sistemas de abastecimiento de agua.

#### **IV.4 Programa de control de la contaminación del agua por la industria**

La industrialización se considera vital para el desarrollo socioeconómico de una nación así como para su posición política en la comunidad internacional. La industria proporciona oportunidades laborales a gran parte de la población de niveles económicos medio y alto. Las características y complejidad de las descargas industriales varían según la tecnología empleada, el tamaño de la industria y la naturaleza de los productos.

En condiciones ideales, la ubicación de las industrias debe lograr un equilibrio entre las consideraciones socioeconómicas y ambientales. Los factores pertinentes son disponibilidad y acceso a materias primas, proximidad de las fuentes de agua, mercado para los productos, costo efectivo del transporte y ubicación de asentamientos importantes, centros laborales e infraestructura de servicios. En los países en desarrollo como Nigeria, la ubicación de las industrias se determina con diversos criterios, algunos de los cuales son ambientalmente inaceptables y representan graves amenazas para la salud pública. Tal es el caso de Nigeria, donde las industrias se ubican cerca de las áreas residenciales en muchas capitales de estado y grandes centros urbanos.

La contaminación del aire y de las aguas superficiales y subterráneas, los vertederos de residuos sólidos y el deterioro ambiental general, incluida la pérdida de recursos terrestres y acuáticos, son los principales problemas de la industrialización en Nigeria. La disposición inadecuada de desechos industriales sin tratar ha dado lugar a aguas superficiales oscuras, de mal olor e insalubres, muerte de peces y pérdida de zonas recreativas. Una proporción significativa de la población aún depende de las aguas superficiales para beber, lavar, pescar y nadar. La industria también necesita agua de calidad aceptable para sus procesos.

El desarrollo económico puede ser compatible con la conservación ambiental y los problemas actuales del deterioro de los recursos ambientales deben manejarse dentro del marco del desarrollo sostenible. Si no se detiene el deterioro de la calidad ambiental se vería amenazada la salud de gran parte de la población, lo que traería serias consecuencias políticas y socioeconómicas.

##### **IV.4.1 Normas para efluentes industriales**

La última edición del *Directory of industries in Nigeria*, publicado por el Ministerio Federal de Industria, registra más de 3.000 establecimientos que varían en la tecnología que utilizan, tamaño, naturaleza de sus productos,

**Cuadro IV.1** Guías para los límites interinos que se aplican a los efluentes industriales en Nigeria (mg l<sup>-1</sup> a menos que se indique de otra manera)

Variables	Descarga en aguas superficiales	Aplicación en el terreno
Temperatura	< 40 °C a 15 m de la desembocadura	< 40 °C
Color (unidades Lovibond)	7	-
pH	6-9	6-9
DBO <sub>5</sub> a 20 °C	50	500
Sólidos suspendidos totales	30	-
Sólidos disueltos totales	2.000	2.000
Cloruro (como Cl <sup>-</sup> )	600	600
Sulfato (como SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	500	1.000
Sulfuro (como S <sup>2-</sup> )	0,2	-
Cianuro (como CN <sup>-</sup> )	0,1	-
Detergentes (sulfonato de alquilato lineal como sustancias activas al azul de metileno)	15	15
Petróleo y grasa	10	30
Nitrato (como NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) NO <sub>2</sub>	20	-
Fosfato (como PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	5	10
Arsénico (como As)	0,1	-
Bario (como Ba)	5	5
Estaño (como Sn)	10	10
Hierro (como Fe)	20	-
Manganeso (como Mn)	5	-
Compuestos fenólicos (como fenol)	0,2	-
Cloro (libre)	1,0	-
Cadmio, Cd	< 1	-
Cromo (trivalente y hexavalente)	< 1	-
Cobre	< 1	-
Plomo	< 1	-
Mercurio	0,05	-
Níquel	< 1	-
Selenio	< 1	-
Plata	0,1	-
Cinc	< 1	-
Metales totales	3	-
Calcio (como Ca <sup>2+</sup> )	200	-
Magnesio (como Mg <sup>2+</sup> )	200	-
Boro (como B)	5	5
Compuestos de alquimercurio	No detectable	No detectable
Bifenilos policlorados (PCB)	0,003	0,003
Pesticidas (total)	< 0,01	< 0,01
Emisores alfa (µC ml <sup>-1</sup> )	10 <sup>-7</sup>	-
Emisores beta (µC ml <sup>-1</sup> )	10 <sup>-6</sup>	-
Coliformes (promedio diario NMP/100 ml)	400	500
Fibra suspendida	-	-

- No aplicable o no establecido

Fuente: AFPA, 1991a

**Cuadro IV.2** Concentración máxima de sustancias tóxicas permitidas en efluentes industriales de Nigeria para proteger las aguas subterráneas

Variable	Concentración máxima (mg l <sup>-1</sup> )
Arsénico	0,05
Bario	1,0
Cadmio	0,01
Cromo	0,05
Plomo	0,05
Mercurio	0,002
Selenio	0,01
Plata	0,05
Endrín	0,0002
Lindano	0,004
Metoxicloro	0,1
Toxafeno	0,005
2,4-D	0,1
2,4,5-TP Silvex (destructor de árboles)	0,01

Fuente: AFPA, 1991a

características de sus residuos y el ambiente receptor. Actualmente, en Nigeria existen 10 categorías fácilmente identificables: metales y minería; alimentos, bebidas y tabaco; cervezas, destilerías y licores; textiles; curtiembres; productos del cuero; procesamiento de la madera, incluidos muebles e instalaciones; pulpa y papel; industrias químicas y similares; y otros.

En condiciones ideales, los efluentes deben ser tratados para remover las sustancias tóxicas y se debe aplicar el enfoque de la mejor tecnología práctica (MTP) o mejor tecnología disponible (MTD). El elevado costo del equipo importado para aplicar la MTP y MTD y la falta de tecnología local para combatir la contaminación ambiental, con frecuencia requiere que las normas para efluentes estén basadas en el potencial de contaminación del efluente o en la eficacia de la tecnología de tratamiento. Este enfoque es fácil de administrar, pero se puede sobreproteger algunas áreas y prestar poca protección a otras. Para superar este problema se han establecido límites uniformes para efluentes que incluyen a todas las categorías industriales de Nigeria basados en la capacidad asimilativa del agua receptora (cuadro IV.1). Se han considerado los límites para determinados efluentes industriales que presentan peculiaridades (AFPA, 1991a).

La AFPA (AFPA, 1991b,c) también ha publicado reglamentos específicos para proteger las aguas subterráneas de la contaminación. Las industrias tienen

que cumplir con los límites de concentración de sus efluentes, como se presenta en el cuadro IV.2. Estos se especifican en las licencias para las industrias y el cumplimiento se vigila mediante el monitoreo de conformidad.

Las guías de Nigeria requieren que las industrias hagan el monitoreo de sus efluentes internamente mientras que la AFPA verifica las características de los efluentes y el grado de cumplimiento de las normas. Los métodos analíticos que se usan para la determinación de las variables significativas en el agua y aguas residuales son prescritos por la AFPA para todas las entidades involucradas en el monitoreo. Para fines de monitoreo se adoptaron los métodos estándares para el análisis del agua y aguas residuales usados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), el Departamento del Ambiente del Reino Unido (DOE), la Asociación Americana de Salud Pública (APHA) y la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM). Cuando se hace el informe de los resultados se tiene que especificar el método analítico empleado.

#### IV.5 Conclusiones

A fines de los años ochenta, Nigeria empezó a dar prioridad a los asuntos ambientales, particularmente a los relacionados con el agua. Esto se refleja en los recientes programas, política ambiental, legislación y planes de acción implantados por el Gobierno. En todos ellos, las actividades de monitoreo ambiental, especialmente los aspectos de calidad del agua, reciben gran atención.

Con la creación de la AFPA como el organismo coordinador central para todos los asuntos ambientales del país, Nigeria ha desarrollado un mecanismo que vigilará adecuadamente y mantendrá los registros de todas las variables ambientales pertinentes. El nuevo concepto de manejo integral de los recursos hídricos adoptado por el Gobierno, sin duda, mejorará los aspectos del uso y conservación del agua dentro del país si se mantiene la voluntad política y los recursos financieros para la implementación.

#### IV.6 Referencias

- AFPA 1989 *Our National Environmental Goals*. Publicación especial No. 3. Agencia Federal para la Protección del Ambiente, Lagos.
- AFPA 1991 *Guidelines and Standards for Environmental Pollution Control in Nigeria*. Agencia Federal para la Protección del Ambiente, Lagos.
- AFPA 1991b *S.I.8 National Environmental Protection (Effluent Limitation) Regulations of 1991*. Agencia Federal para la Protección del Ambiente, Lagos.

- AFFA 1991c *S.I.9 National Environmental Protection (Pollution Abatement in Industries and Facilities Generating Wastes) Regulation of 1991*. Agencia Federal para la Protección del Ambiente, Lagos.
- Banco Mundial 1990 *Towards the Development of an Environmental Action Plan of Nigeria*. Número de informe 9002-UNI. Banco Mundial, Washington, DC.
- FGN 1988a *Federal Environmental Protection Agency Decree No. 58 December 30, 1988*. Gobierno Federal de Nigeria, Prensa del Gobierno, Lagos.
- FGN 1988b *Harmful Wastes Decree No. 42 of November 30, 1988*. Gobierno Federal de Nigeria, Prensa del Gobierno, Lagos.
- FGN 1993 *Waste Resources Decree No. 101 of August 1993*. Gobierno Federal de Nigeria, Prensa del Gobierno, Lagos.





## Estudio de caso V\*

### LA REPRESA DE CAPTACIÓN WITBANK

#### V.1 Introducción

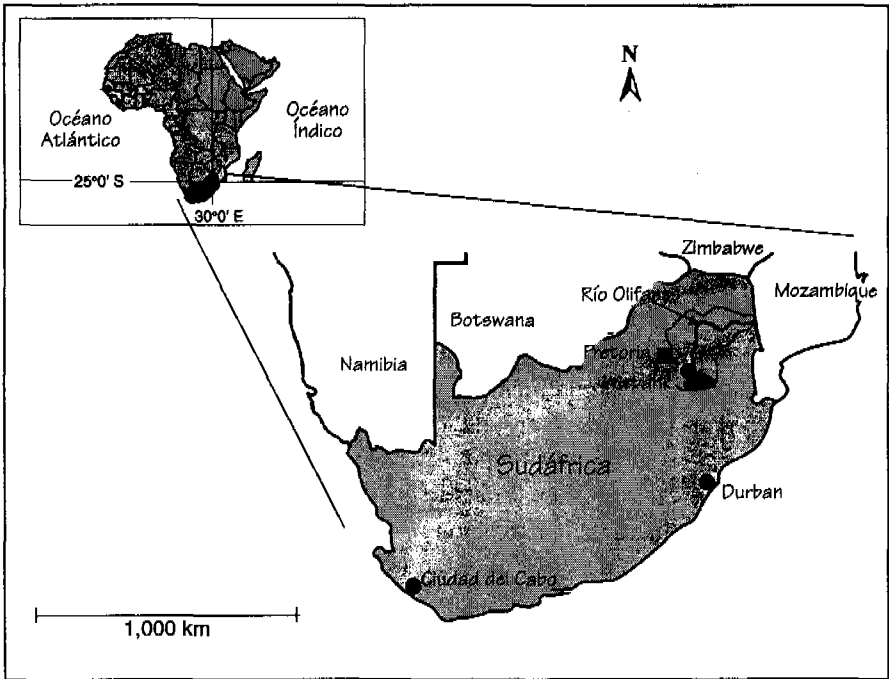
La represa de captación Witbank está ubicada en la parte superior de la cuenca del río Olifants, uno de los principales recursos hídricos de Sudáfrica. La calidad del agua en la represa está deteriorándose rápidamente, debido principalmente a la minería de carbón. Si continúa esta tendencia, a fines de este siglo el agua no sería apropiada para la mayoría de los usuarios reconocidos. La deficiente calidad del agua en la represa ha significado que la generación de energía, principal actividad industrial en la captación, tiene que depender en gran parte de fuentes de agua fuera de la captación.

Este estudio de caso describe el enfoque del Departamento de Asuntos de Agua y Silvicultura (DAAS) para asegurar que la calidad del agua en la represa Witbank siga siendo apropiada y que el recurso pueda usarse adecuadamente en el futuro. Actualmente se están ejecutando muchos aspectos de este enfoque. Desde octubre de 1993 hay evidencias de reducción de la contaminación del agua (véase la figura V.3). Hay indicaciones de que la ejecución de este enfoque producirá agua apta en la represa de captación Witbank para al menos los próximos 10 años. Se tendrán que emplear otras estrategias para abordar la calidad del agua a largo plazo.

#### V.2 Antecedentes

Sudáfrica es un país de gran diversidad. Su sociedad comprende componentes subdesarrollados, en desarrollo y desarrollados. El ingreso anual per cápita es aproximadamente US\$ 2.000, pero varía entre US\$ 1.020 y 7.750 según los diferentes grupos de población. Además, el país se caracteriza por grandes contrastes en cuanto al acceso al abastecimiento adecuado de agua. Los temas relacionados con el agua son, por consiguiente, un aspecto central del escenario político del país; tanto así, que el abastecimiento de agua y el saneamiento para todos los habitantes de Sudáfrica son un elemento clave del Programa de

\* *Este estudio de caso fue preparado por S.A.P. Brown*

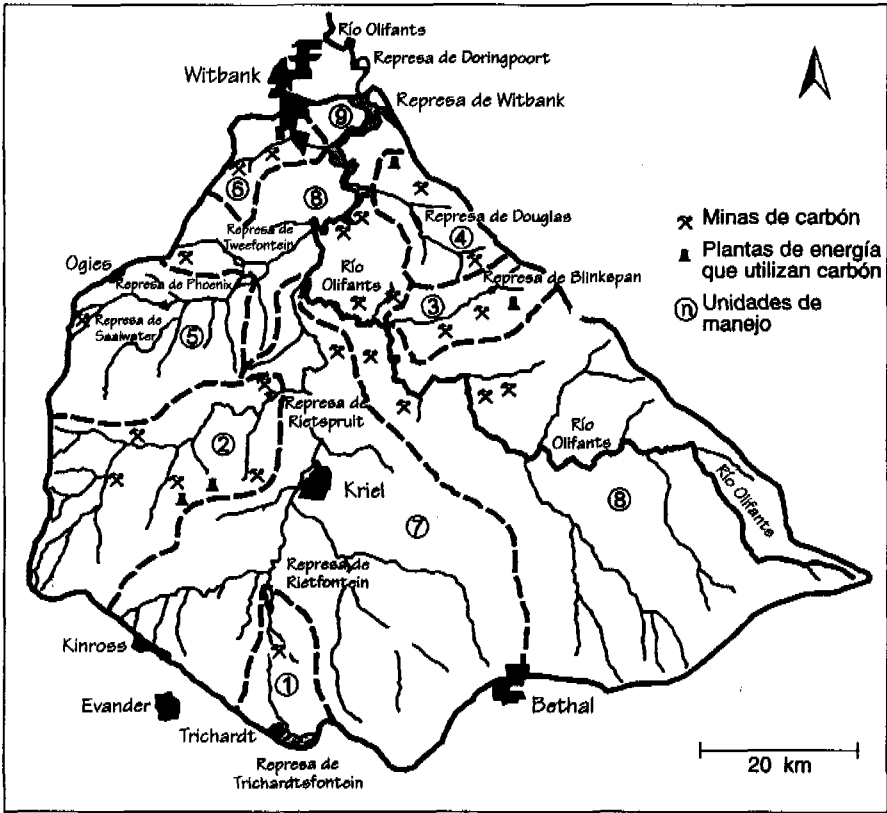


**Figura V.1** Mapa de Sudáfrica que muestra la cuenca del río Olifants y la represa de captación Witbank

Reconstrucción y Desarrollo (PRD). Este programa lo inició el Gobierno de Unidad Nacional para restaurar los desequilibrios sociales y económicos del país.

Sudáfrica es un país semiárido con limitados recursos hídricos. Geográficamente, el agua está distribuida en forma desigual en todo el país y su disponibilidad a lo largo del año también es irregular. En general, hay más agua en la parte oriental del país y la disponibilidad desciende gradualmente en la zona occidental. El río Olifants, uno de los principales recursos hídricos de Sudáfrica, se encuentra hacia el este. La disponibilidad del agua se complica aún más debido a que la demografía sudafricana está cambiando rápidamente. Gran parte de la población se está desplazando hacia las ciudades, donde viven en áreas que tienen servicios deficientes o nulos de abastecimiento de agua y saneamiento.

En Sudáfrica, el DAAS es la autoridad responsable del manejo de los recursos hídricos y tiene que asegurar el suministro de agua en cantidad y calidad aceptables para los usuarios reconocidos del agua. Sin embargo, en la



**Figura V.2** Mapa detallado de la represa de captación Witbank y sus nueve unidades de manejo; se muestra el desarrollo urbano y las principales actividades industriales y mineras (Wates, Meiring y Barnard, 1993)

práctica, parte de esta responsabilidad se delega a otros niveles del gobierno, otros organismos, usuarios de agua y a aquéllos que tienen influencia sobre el recurso hídrico.

### V.3 La represa de captación Witbank

La represa de captación Witbank está ubicada en la parte alta del río Olifants (figura V.1). En la figura V.2 hay una representación más detallada de la captación con la ubicación de la represa, el desarrollo urbano y las principales actividades industriales y mineras, así como las nueve unidades de manejo (véase la sección V.5.1). La represa Witbank abarca un área de 3.256 km<sup>2</sup> y tiene una escorrentía promedio anual de 125 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> a<sup>-1</sup>.

Las prácticas de uso del terreno en la captación son diversas e incluyen:

- Agricultura; el maíz tiene una importancia estratégica en el suministro de alimentos de primera necesidad en Sudáfrica. El cultivo del maíz en tierra seca se practica en 24% del área de captación.
- Generación de energía; es la actividad industrial más grande en la captación e incluye cuatro de las principales plantas de energía del país operadas con carbón.
- Minería de carbón; existen 29 minas principales de carbón y varias operaciones más pequeñas en el área, las que producen aproximadamente 47% del carbón que utiliza el país.
- Desarrollo urbano; limitado a varios pueblos pequeños.

#### **V.4 Situación antes de la intervención**

##### **V.4.1 La estrategia**

El enfoque general del control de la contaminación y administración ambiental en Sudáfrica parte de una estrategia de manejo que considera al ambiental como una unidad cuyo eje puede ser el aire, el agua o el suelo. Las autoridades normativas responsables del manejo del ambiente están organizadas del siguiente modo:

- Aire: Departamento de Salud Nacional.
- Agua: Departamento de Asuntos del Agua y Silvicultura.
- Suelo: Departamento de Agricultura junto con otros departamentos. Por ejemplo, el Departamento de Asuntos de Minería y Energía (DAME) ejerce control sobre las actividades mineras.

Las tres principales autoridades normativas han desarrollado diferentes estructuras organizacionales de acuerdo con su enfoque normativo. El presente ordenamiento institucional no reconoce la transferencia de la contaminación a través de los diferentes medios ambientales. Tampoco contempla un mecanismo normativo que asegure la gestión ambiental eficaz y eficiente. El resultado es la ausencia de asignación de responsabilidades claras, la repetición de límites institucionales, la exclusión de áreas que requieren atención y duplicación de esfuerzos.

Antes de 1991, la estrategia del manejo de la calidad del agua del DAAS se basaba en el enfoque de las normas para efluentes. Esta estrategia se centraba principalmente en los efluentes de fuentes puntuales. La contaminación por fuentes dispersas y las aguas receptoras no recibían la atención necesaria. En lo que se refiere al control de las actividades de minería, estas deficiencias se multiplicaron aún más por los siguientes factores:

- El DAAS manejó la calidad del agua en cuanto a la minería de manera aislada, es decir, el control no se integró a otras actividades. Este enfoque incluso consideraba oficinas separadas que se encargaban de asuntos relacionados con la minería en la misma área de manejo.
- Falta de coordinación entre el DAAS y el DAME, cuya principal responsabilidad es vigilar la influencia de las actividades mineras sobre el uso del terreno.
- La comunidad minera no tenía conciencia del efecto perjudicial de la minería de carbón sobre los recursos hídricos.

#### **V.4.2 Aspectos de la calidad del agua**

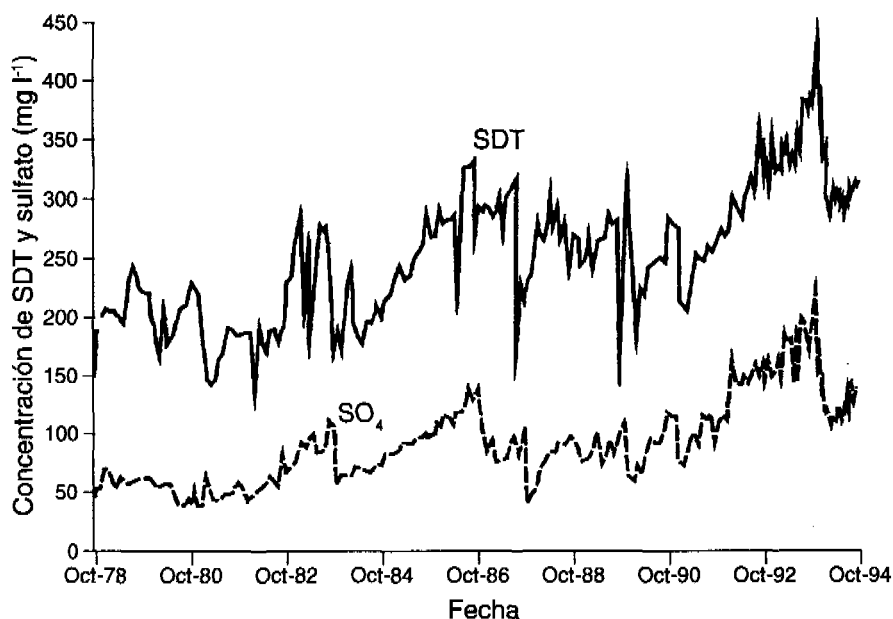
La minería de carbón es una fuente principal en potencia de contaminación del agua por fuentes dispersas. El sulfato es un buen indicador del incremento de la salinidad en esta forma de contaminación. Aproximadamente 70 a 80% de la carga de sulfato en la represa Witbank proviene de fuentes dispersas que pueden atribuirse a la minería de carbón. Este aumento de la contaminación por fuentes dispersas ha dado como resultado el deterioro progresivo de la calidad del agua de la represa, así, la concentración de sulfatos pasó de 50 mg l<sup>-1</sup> a 150 mg l<sup>-1</sup> y la de los sólidos disueltos totales (SDT) de 100 mg l<sup>-1</sup> a más de 400 mg l<sup>-1</sup>. Las concentraciones de estas dos variables durante un período de 16 años se muestran en la figura V.3. En algunos tramos del río y arroyos de la captación, el deterioro ha sido más acentuado y, en algunos casos, como se ha mencionado, ha pasado de 50 mg l<sup>-1</sup> de sulfatos a más de 150 mg l<sup>-1</sup>.

Los otros aspectos principales de la calidad del agua son:

- Eutroficación. El fósforo es el nutriente limitante en la represa y su concentración total no ha cambiado significativamente en el último decenio. Sin embargo, la transparencia del agua en la represa ha aumentado en una orden de magnitud durante el mismo período. Esto se debe al aumento de los SDT, lo que ha incrementado la floculación de las partículas de arcilla y la mayor penetración de luz.
- Los elevados niveles de compuestos tóxicos ocurren en algunos tramos de los arroyos de la captación. Estos compuestos son predominantemente metales y amoníaco. Las aguas ácidas asociadas con la minería de carbón contienen metales, especialmente aluminio, hierro y manganeso. El amoníaco proviene de los efluentes de aguas residuales.

#### **V.5 Intervención con un nuevo enfoque**

Durante 1991, el DAAS adoptó una nueva estrategia para el manejo de la calidad del agua. Esta estrategia centra su atención en las aguas receptoras y



**Figura V.3** Concentraciones de sólidos disueltos totales y sulfato en la represa Witbank, 1987-1994 (Wates, Meiring y Barnard, 1993)

considera todas las fuentes de contaminación. Los planes de manejo de la calidad del agua de la captación y las estrategias sectoriales específicas son importantes para el nuevo enfoque. Como parte de este nuevo enfoque se revisó el manejo de la captación de Witbank y se estableció como objetivos detener el deterioro de la calidad del agua, asegurar que el agua sea adecuada para los usuarios reconocidos y proteger el recurso hídrico. Los propósitos principales de este enfoque son:

- El desarrollo y ejecución del plan de manejo de la calidad del agua de la captación.
- La prevención y reducción de la contaminación por actividades mineras, donde sea posible.

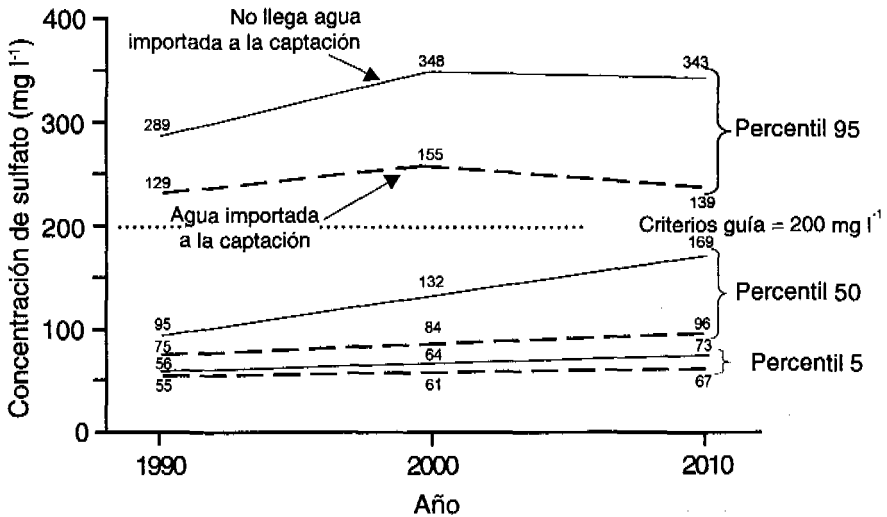
Estas dos actividades están interrelacionadas y se implementan paralelamente. El plan de manejo de la calidad del agua de la captación tiene que proporcionar, entre otras cosas, los requerimientos que debe cumplir para cada actividad basada en el nivel de contaminación que puede tolerar el agua sin limitar su uso. La prevención de la contaminación es un tema clave en las estrategias y está incorporada en el plan de manejo para asegurar que se cumplan los objetivos establecidos de calidad del agua.

### V.5.1 Plan de manejo de la calidad del agua en la captación

Un plan de la captación proporcionará el marco para administrar la calidad del agua de manera coherente y sistemática; tendrá influencia sobre el uso actual y futuro de los terrenos, en particular aquellos usos sobre los que el DAAS no tiene control directo; e integrará otros esfuerzos del manejo de recursos y aspectos ambientales con la calidad del agua. Para proporcionar este marco, se siguieron los siguientes pasos:

- Se establecieron objetivos de la calidad del agua en lugares estratégicos de cada captación. El objetivo de la calidad del agua en un lugar específico se expresa como la concentración máxima de los parámetros de control que deben mantenerse para que el agua sea adecuada al uso que se le ha destinado. En la captación de Witbank, los usos reconocidos del agua son para abastecimiento de agua, generación de energía, minería, recreación y sustento de la vida acuática.
- Se formularon estrategias flexibles para asegurar el logro de los objetivos de la calidad del agua.
- Se fijaron los requerimientos que debían cumplir las actividades que podrían perjudicar la calidad del agua. Los sitios que generaban contaminación puntual y no puntual se consideraron fuentes únicas y los requerimientos de cumplimiento se determinaron y estipularon con ese criterio.
- Los poderes colectivos e influencia de otras autoridades, organismos y el público se coordinaron de manera cooperativa para implementar las estrategias de la captación. Esto se aplica particularmente al control del uso futuro de terrenos y al ajuste de las prácticas del uso de terrenos para reducir las fuentes dispersas de contaminación del agua.
- Se establecieron sistemas de monitoreo y auditoría para asegurar la implementación de las estrategias de la captación. Asimismo, se vigiló la eficacia del plan de manejo de la calidad del agua y de los esfuerzos de manejo de la calidad del agua emprendidos por otros participantes.

El plan de manejo de la calidad del agua en la captación se desarrolla en tal nivel de detalle que especifica lo que debe lograrse y ejecutarse, dónde y cuándo se implementará, cómo será administrado y quién se encargará de las actividades específicas. Sin embargo, la captación no puede administrarse como una sola unidad de manejo. Las subcaptaciones aguas arriba de la represa tienen diferentes requerimientos de uso del agua. Por este motivo, se subdividió la captación en nueve unidades de manejo (véase la figura V.2). En cada unidad de manejo se establecen los objetivos del manejo de la calidad del agua de su respectiva área.



**Figura V.4** Concentraciones de sulfato presentes y previstas en la represa Witbank, asumiendo que las plantas de energía operen con cero de descarga y 45% de reducción de la contaminación no puntual por minas de carbón (Wates, Meiring y Barnard, 1993)

Las estrategias de manejo y los objetivos de la calidad del agua incorporados en el plan se centran en:

- Salinidad, con el sulfato como indicador de salinidad.
- Eutroficación, con el fósforo como el nutriente limitante.
- Elementos tóxicos, en particular metales pesados y amoniaco.

*Salinidad*

Para la represa misma se estableció como objetivo 155 mg l<sup>-1</sup> (95 valor del percentil de sulfato). Esto es aproximadamente 23% menos que el requisito establecido para el uso, es decir, 200 mg l<sup>-1</sup>. Este margen permite:

- Mayor desarrollo minero, industrial y agrícola.
- Que no colapse el sistema por un posible mal funcionamiento del control de la contaminación del agua.
- Compensar la falta de conocimiento sobre algunos aspectos de las repercusiones potenciales de las deposiciones atmosféricas, extracción de carbón y técnicas de minería a tajo abierto.
- Compensar la carencia de información adecuada para establecer con exactitud los requerimientos de los usuarios del agua, en particular, lo pertinente al ambiente acuático natural.



**Cuadro V.1** Objetivos del manejo del sulfato en el agua

Unidad de manejo	Requerimiento más estricto del usuario (mg l <sup>-1</sup> SO <sub>4</sub> )	Objetivo del manejo	
		percentil 50	percentil 95
1	30	24	34
2	200	70	120
3	*	620	1.200
4	*	830	1.450
5	200	220	390
6	*	260	380
7	200	160	260
8	200	190	460
9 (Represa Witbank)	200	84	155

<sup>1</sup> Las unidades de manejo se basan en las subcaptaciones de la represa Witbank

\* No identificado

Fuente: Wates, Meiring y Barnard, 1993

El logro del objetivo relacionado con el sulfato depende de la descarga cero de las plantas de energía, 45% de disminución de la contaminación dispersa proveniente de las minas de carbón y el agua adicional que llega a la captación. Las mejoras proyectadas que resultan de la aplicación de estas estrategias se indican en la figura V.4. Los objetivos del manejo del sulfato para las nueve unidades de gestión se señalan en la cuadro V.1.

### *Eutroficación*

Se espera lograr el control de la eutroficación con la reducción de los compuestos de fósforo a fin de reducir el crecimiento de algas en la represa Witbank. Los factores del clima, las actividades antropogénicas y la agricultura son las principales fuentes no puntuales de fósforo en la captación. Hay un desperdicio sustancial de 32% del fósforo que se aplica a los suelos agrícolas y que llega a la represa. No se consideró práctico controlar estas fuentes dispersas de fósforo. Los efluentes municipales de la planta de tratamiento de aguas residuales proporcionan 38% de las fuentes registradas en la captación y 44% de la descarga de fósforo registrada en la represa. El control del fósforo está dirigido a estas fuentes y se ha impuesto una norma especial de 1 mg l<sup>-1</sup> PO<sub>4</sub>-P en todos los efluentes de las plantas de aguas residuales.

### *Metales y amoniaco*

El control de metales y amoniaco se hará mediante la restricción del máximo admisible de amoniaco libre y salino, así como de concentraciones de metal en las descargas de la minería y complejos industriales. Estas concentraciones máximas admisibles se presentan en los cuadros V.2 y V.3.

### **V.5.2 Prevención y reducción de la contaminación**

En esencia, el enfoque para la prevención y minimización de la contaminación es el uso de los reglamentos que facilitan la intervención directa para prevenir la contaminación en la fuente. La Ley del Agua, componente estatutario de los instrumentos de reglamentación aplicados directamente por el DAAS, ha limitado el poder ejercer influencia sobre el uso de los terrenos afectados por la minería. Por lo tanto, no siempre es posible la intervención directa para prevenir la contaminación dispersa. Para abordar este asunto, así como otras deficiencias mencionadas anteriormente relacionadas con las actividades mineras, se coordinó entre los sistemas reguladores del DAAS y el DAME. La coordinación se logró mediante la participación en un sistema integrado de manejo ambiental para las actividades de exploración y extracción mineras.

En los sistemas reguladores de ambos departamentos, el sistema integrado desempeña las siguientes funciones claves:

- Preparar a los departamentos para que sean capaces de abordar los efectos anticipados de la contaminación minera sobre el ambiente acuático.
- Capacitar a los departamentos para asegurar que los objetivos ambientales sean alcanzados permanentemente.
- Asegurar que los industriales mineros comprendan la magnitud y naturaleza del efecto que sus actividades ejercerán sobre el ambiente y que se comprometan a tratar esos efectos de manera práctica antes de iniciar una actividad minera.
- Proporcionar a las autoridades la oportunidad de asegurarse que los industriales tienen los medios para garantizar que se ejecutarán las medidas propuestas a fin de controlar el efecto ambiental de sus actividades.

Para cumplir los requerimientos del sistema de manejo integrado, cada mina en el área de captación tiene que realizar lo siguiente:

- Llevar a cabo un programa de manejo ambiental aprobado, en relación con una mina específica que requiere explícitamente medidas para prevenir y disminuir la contaminación.
- Implementar medidas adecuadas antes del cierre para prevenir la contaminación y asegurar el uso sostenible del recurso hídrico.

**Cuadro V.2** Concentraciones máximas admisibles de amoníaco libre y salino en las descargas de la minería e industria

pH de la descarga	Concentración de amoníaco libre y salino (mg l <sup>-1</sup> NH <sub>3</sub> -N)		
	15 °C <sup>1</sup>	20 °C <sup>1</sup>	25 °C <sup>1</sup>
6,5	10,0	10,0	10,0
7,0	3,4	4,4	4,8
7,5	1,1	1,7	1,3
8,0	0,62	1,1	0,76
8,5	0,36	0,37	0,27
9,0	0,13	0,14	0,12

1 Los valores de la temperatura se aplican al efluente o descarga. En condiciones ideales, se deberían aplicar a los cuerpos receptores de agua. Sin embargo, durante períodos prolongados el flujo de las aguas receptoras puede ser muy bajo

o casi insignificante, por lo tanto, el requerimiento de la temperatura se ha aplicado a la descarga.

Fuente: Waters, Meiring y Barnard, 1993.

**Cuadro V.3** Concentraciones máximas admisibles de metales pesados en descargas de la minería e industria

Metal pesado	Concentración máxima admisible (mg l <sup>-1</sup> )
Aluminio	150
Cadmio	2
Cromo	200
Cobre	20
Hierro	1.000
Plomo	10
Manganeso	500
Mercurio	0,1
Níquel	100
Selenio	30
Cinc	200

Fuente: Waters, Meidng y Barnard, 1993

- Descargar agua contaminada de fuentes puntuales o dispersas solo en conformidad con las condiciones prescritas por el DAAS.
- Realizar provisiones financieras para asegurar la implementación de las medidas planificadas para manejar el impacto.

### V.6 Deficiencias del enfoque

Se identificaron diversas deficiencias como resultado de la experiencia adquirida durante el desarrollo e implementación del manejo de la calidad del agua en la represa Witbank. Los siguientes temas requieren atención:

- El desarrollo de una captación que se centra solo en la calidad del agua tiene un propósito limitado. El abastecimiento y demanda del agua deben estar incluidos en el desarrollo de un plan de captación del agua para asegurar el manejo eficaz de los recursos hídricos.
- Actualmente, el compromiso con los temas relacionados con el agua es voluntario, en particular aquéllos fuera de la influencia directa del DAAS. En la mayoría de los casos, estos se relacionan con la influencia sobre el uso de terrenos, crucial para el éxito de un plan. Deben establecerse mecanismos para asegurar que se cumplan los compromisos. Algunos de estos se abordarán mediante enmiendas a la Ley del Agua contemplada para un futuro próximo.
- En particular, necesita mejorarse la capacidad institucional del DAAS. Este departamento, principal responsable de la implementación del manejo integrado de la exploración y minería, ha presentado deficiencias en la atención de las necesidades del agua y en la administración de un sistema complejo como el sistema integrado de exploración y minería.
- La participación de las partes interesadas debe asegurarse desde el inicio del desarrollo de un plan de manejo de la calidad del agua de una captación. En el caso del plan de la represa Witbank, los aspectos técnicos se desarrollaron con participación limitada, lo que recientemente ha dificultado la implementación del plan. Las partes interesadas no se sienten dueñas del plan y esto se manifiesta en la falta de deseo de formar parte de su implementación y ejecución o de contribuir a su éxito. Actualmente se está abordando esta deficiencia y se promueve la participación en todos los niveles del desarrollo e implementación del manejo de la calidad del agua en la represa de captación Witbank.

### V.7 Conclusiones

Se están implementando los aspectos claves del enfoque del manejo de la calidad del agua en la represa Witbank. A pesar de las deficiencias identificadas, la

ejecución de este enfoque permitirá contar con agua adecuada y disponible al menos durante los próximos 10 años. Este pronóstico se basa en el resultado logrado con un enfoque similar en el Klipspruit, una captación pequeña adyacente a la represa Witbank. En la captación de Klipspruit, se determinaron dos niveles de objetivos para el manejo de la calidad del agua. Se esperaba que el segundo nivel de objetivos se lograra solo después de la implementación de estrategias de largo plazo. Sin embargo, la implementación del enfoque ha dado lugar a mejoras significativas inmediatas en la calidad del agua. En realidad, la calidad del agua en el Klipspruit ha mejorado a tal grado que se ha alcanzado la mayoría de objetivos del segundo nivel antes de la implementación de las estrategias de largo plazo.

## **V.8 Referencias**

Wates, Meiring y Bamard 1993 Technical support document for Witbank Dam Water Quality Management Plan. Preparado para el Departamento de Asuntos de Agua y Silvicultura, Sudáfrica.



## Estudio de Caso VI\*

### LA CUENCA ALTA DE TIETÊ, BRASIL

#### VI.1 Introducción

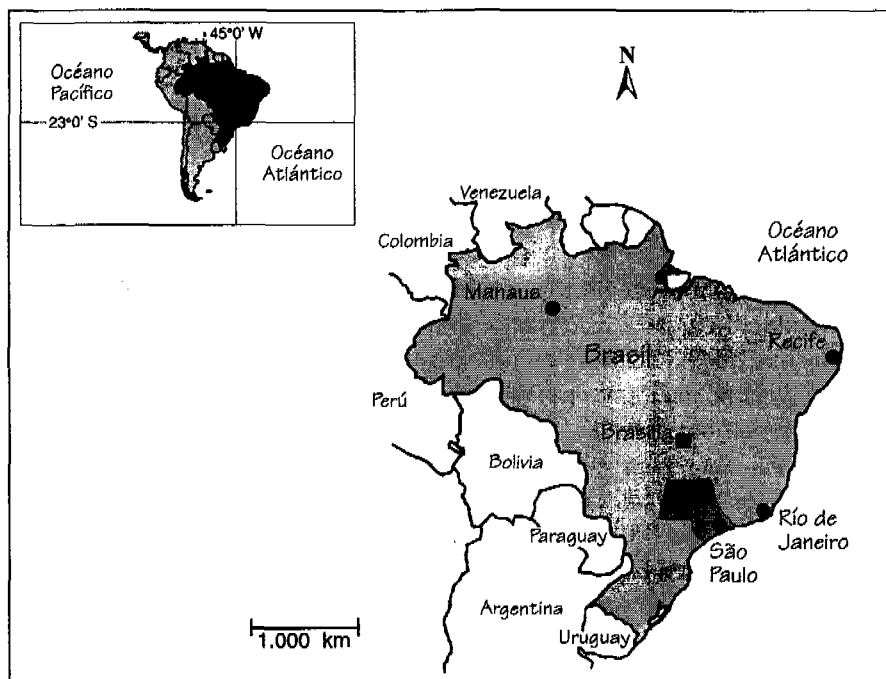
El área metropolitana de São Paulo, ubicada en la cuenca superior del río Tietê, comprende 38 ciudades además de la ciudad de São Paulo. El crecimiento espectacular que ha ocurrido en esta área ha ido acompañado de un aumento enorme de la población y problemas ambientales graves relacionados con la contaminación del agua. El sistema de abastecimiento de agua proporciona aproximadamente  $60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  para esta área, de los cuales cerca de 80% regresa sin tratar a los principales cursos de agua. Los problemas de calidad del agua se multiplican por el hecho de que los ríos forman parte de un sistema diseñado exclusivamente para la generación de energía eléctrica. Este sistema requiere que se revierta el flujo y, en consecuencia, una mezcla de aguas residuales sin tratar y el flujo natural del río continúa permanentemente dentro de los límites del área metropolitana.

La protesta pública ha obligado al Gobierno del Estado de São Paulo a tomar medidas para mejorar la calidad ambiental de sus aguas. En 1991, se puso en marcha el Proyecto Tietê con el ambicioso objetivo de tratar 50% del total de las aguas residuales para 1996. Esta meta se alcanzaría con tres nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales, la expansión de una existente y la implementación de otras obras accesorias, tales como redes de alcantarillado e interceptores. Como parte de este proyecto, también se requiere que las industrias cumplan con las normas de emisión fijadas en 1976 y que nunca se han cumplido.

#### VI.2 La región metropolitana de São Paulo

La región metropolitana de São Paulo (figura VI.1), que incluye la ciudad de São Paulo y 38 ciudades adyacentes, ocupa  $8.000 \text{ km}^2$ , de los cuales  $900 \text{ km}^2$  están urbanizados. Toda el área se encuentra a 700 m sobre el nivel del mar y abarca la mayor parte de la cuenca superior del Tietê. El río Tietê es el río más largo del estado.

\* *Este estudio de caso fue preparado por Roberto Mas Hermann y Bendito Pinto Ferial Braga Jr.*

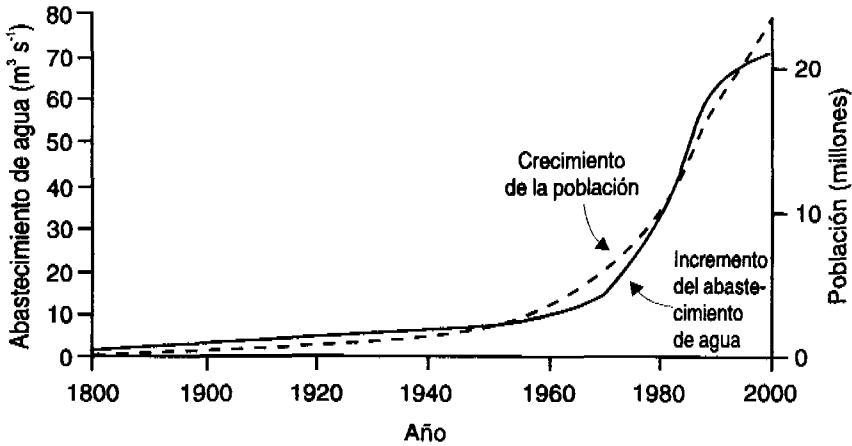


**Figura VI.1** Mapa de Brasil que muestra la cuenca superior del Tietê, Estado de São Paulo, Brasil

La población actual del área es de 16 millones y se calcula que ascenderá a 19 millones en el año 2000. En 1880 la población era de unos 4.000, en 1930 llegó a 200.000, en 1940 a 1 millón y en 1970 a 6,5 millones. Este crecimiento también se refleja en el área urbanizada que en 1880 abarcaba 2 km<sup>2</sup>, aumentó a 130 km<sup>2</sup> en 1940 y a 420 km<sup>2</sup> en 1954. Además, la demanda de agua está creciendo exponencialmente, de 5 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> en 1940 a un estimado de 65 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> en el año 2000 (figura VI.2).

Esta región tiene la concentración urbana más densa de toda América del Sur y el complejo industrial más grande de América Latina. La producción industrial representa 27% del total nacional y 62% del total del estado. La motivación para este desarrollo rápido surgió durante los años cuarenta en un esfuerzo por sustituir los productos importados con productos locales. Las consecuencias de este nivel de producción y el consiguiente aumento de la población son una alta densidad de la población (0,1% del área total del país es ocupada por 12% de la población total), una alta demanda de energía de 7.000 MW (25% de la demanda brasileña total) y, especialmente, conflictos sobre el





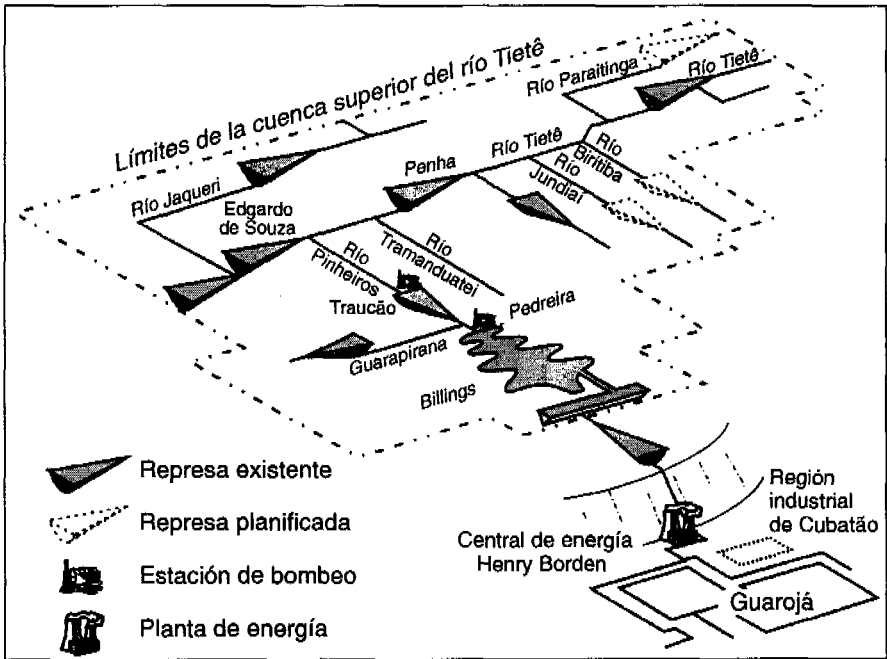
**Figura VI.2** Crecimiento anterior y proyectado de la población y abastecimiento de agua en la región de São Paulo

uso del agua. El rápido desarrollo industrial ha dado lugar a una urbanización acelerada, demanda de energía eléctrica, abastecimiento de agua y control de inundaciones. La falta de recursos hídricos ha ocasionado serios problemas ambientales. Solo 10% del total de las aguas residuales recibe tratamiento secundario y, en consecuencia, los ríos urbanos están altamente contaminados con una variedad de residuos industriales y municipales.

### VI.3 Situación antes de la intervención

La geografía e historia han influenciado la configuración del desarrollo de los recursos hídricos en el área metropolitana de São Paulo. El primer gran proyecto hidráulico se concibió exclusivamente para generar energía eléctrica por la necesidad de suministrar energía de bajo costo a la industria. El sistema fue diseñado para aprovechar la carga hidráulica de aproximadamente 700 m y se concluyó a fines de los años cincuenta (figura VI.3). Incluye varias represas, dos estaciones de bombeo que revierten el flujo del río Pinheiros y dos plantas de energía ubicadas en las faldas de Serra do Mar, al nivel del mar.

La implementación de este sistema redujo la velocidad de los ríos Pinheiros y Tietê que reciben casi todas las aguas residuales generadas en la región. Solo 10% de estas aguas residuales recibe tratamiento secundario y, por consiguiente, se experimentan graves problemas ambientales. La complejidad del sistema



**Figura VI.3** Configuración del primer sistema hidroeléctrico en la cuenca del Tietê

creció a medida que aumentó la necesidad del abastecimiento municipal de agua, lo que dio lugar a que algunos reservorios (originalmente planificados para la generación hidroeléctrica, como el de Guarapiranga) se usaran para abastecer agua. Entonces, las aguas residuales sin tratar que fluyen por los canales principales se usaron para la generación de energía.

En el pasado, se han hecho varios intentos para controlar la contaminación del agua en esta cuenca. Ya en 1953, se propuso un plan que incluía la construcción de seis plantas de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de São Paulo, posteriormente se presentaron otros proyectos hasta que a fines de los años ochenta y principios de los noventa comenzó la construcción del gigantesco proyecto SANEGRA. Este proyecto incluía, entre otras características, una planta de aguas residuales con una capacidad final de tratamiento de  $63 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

Actualmente, los principales ríos de la región reciben una descarga diaria de aproximadamente  $1.200 \text{ t}$  de carga orgánica y  $5 \text{ t}$  de carga inorgánica. De estas, se estima que la industria genera cerca de  $370 \text{ t d}^{-1}$  de carga orgánica y las  $5 \text{ t d}^{-1}$  de carga inorgánica.

#### **VI.4 El Proyecto Tietê**

La protesta pública contra los problemas causados por la deficiente calidad ambiental del agua en el área alcanzaron un clímax a fines de los años ochenta. Los medios de comunicación desempeñaron una función muy importante en la organización de varias objeciones en contra de la contaminación; una petición que exigía la acción del Gobierno del Estado reunió más de un millón de firmas. En setiembre de 1991, el Gobierno del Estado lanzó el Proyecto Tietê para limpiar los ríos y reservorios del área de São Paulo. En este proceso participan dos empresas públicas:

- Companhia de Saneamento Básico de São Paulo (SABESP) que es una empresa de servicio público responsable de la planificación, construcción y operación del abastecimiento de agua y sistemas de aguas residuales en el estado, incluida el área metropolitana de São Paulo.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) que está a cargo del control ambiental en el nivel estatal.

Para administrar el Proyecto Tietê, el Gobierno del Estado de São Paulo creó por decreto especial un grupo de trabajo con profesionales seleccionados de estas empresas y de otros seis departamentos del estado. El comité directivo es presidido por el propio Gobernador del Estado.

El Proyecto Tietê empezó con un plan maestro para la recolección y disposición de aguas residuales que fue preparado durante el período 1983-1987. Bajo ese plan, se consideraron cinco plantas de tratamiento de aguas residuales con una capacidad total de  $53,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Ese primer plan se examinó y actualizó para aumentar la capacidad de tratamiento. Asimismo, se diseñaron tres nuevas plantas de tratamiento y una de ellas se amplió considerablemente. Las cinco plantas usan el método de lodos activados. Las redes e interceptores de recolección de aguas residuales también se ampliaron. La figura VI.4 muestra la implementación del plan de Tietê para reducir la contaminación.

El proyecto Tietê es financiado con un préstamo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), de aproximadamente US\$ 450 millones y un fondo de US\$ 600 millones provisto por el Estado de São Paulo para 1994 a 1996. Durante este período, las industrias que están siendo reforzadas a través de un programa especial coordinado por la CETESB han invertido aproximadamente US\$ 200 millones en la implementación de sistemas de tratamiento. Las industrias también deben hacer frente a los costos de producción.

#### **VI.5 Manejo de efluentes industriales**

La ley brasileña requiere que las industrias descarguen sus aguas residuales en la red de alcantarillado público. Con la ampliación del sistema de recolección,

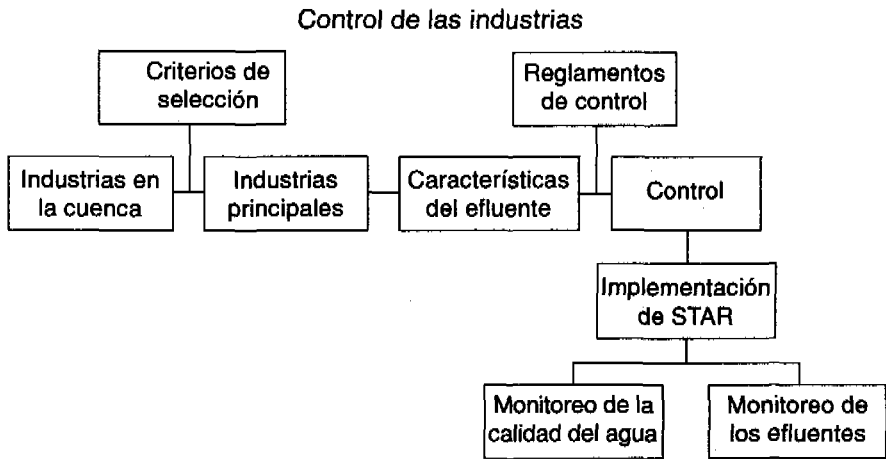


un gran número de industrias nuevas conectaron sus desagües a la red pública y, como resultado, sobrecargaron las plantas de tratamiento. Para evitar tales problemas y preservar el proceso de tratamiento, toda industria debe cumplir las normas estrictas incluidas en los permisos. Siendo el organismo encargado del control ambiental en el nivel estatal, la CETESB hace cumplir las leyes estatales que exigen licencias para las descargas industriales en el sistema de recolección. Aunque la Ley Estatal número 997 se aprobó en 1976, no se aplicó rigurosamente hasta 1991. A inicios de 1991, la CETESB inició un programa para evaluar los efluentes industriales de cada industria ubicada en el área metropolitana de São Paulo. Hay aproximadamente 40.000 plantas industriales autorizadas en el área, pero se estima que solo 1.250 son responsables de 90% de las cargas orgánicas e inorgánicas. Con la información generada en el proceso de concesión de licencias, estas 1.250 industrias contaminadoras fueron seleccionadas para ser investigadas más minuciosamente y se emprendieron intensas negociaciones con ellas. Se les pidió que presentaran planes y un calendario para implementar las plantas de tratamiento que les permitirían cumplir con las normas de emisión y las licencias requeridas por la Ley Estatal 997.

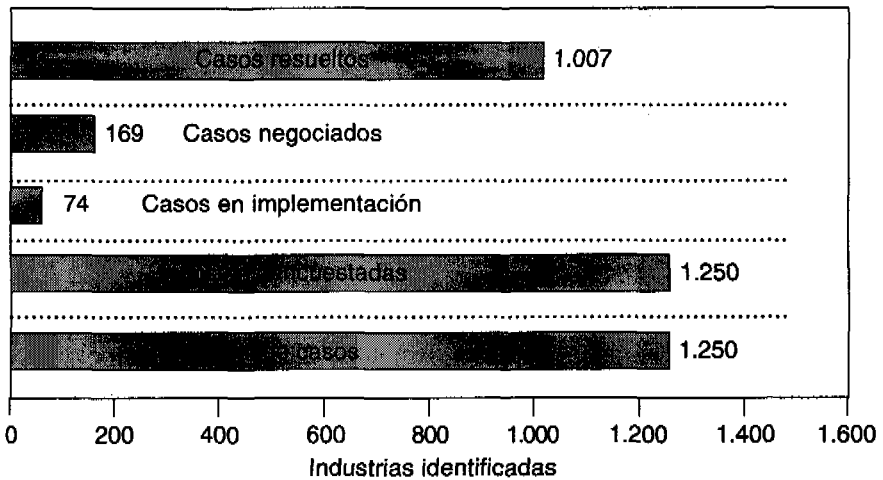
Después de recopilar toda la información, la CETESB definió un sistema llamado STAR (Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales) que es un protocolo de información donde se establecen los procesos del tratamiento para cada industria, el calendario de implementación del tratamiento y el sistema de licencias, dentro del convenio firmado por la CETESB y las industrias. La información recopilada bajo STAR se almacenó en un banco de datos en la sede de la CETESB.

Las industrias recibieron apoyo mediante préstamos de dos fuentes diferentes, de la misma CETESB encargada de administrar directamente una línea especial de crédito del Banco Mundial (PROCOP) y BNDES, un organismo federal brasileño diseñado para ayudar a las industrias a mejorar su desempeño. Durante la implementación de los sistemas de tratamiento, la CETESB vigiló con mucha atención las descargas del efluente con un equipo móvil y también los cuerpos receptores de agua en puntos fijos. Gradualmente las industrias están introduciendo el automonitoreo y la CETESB está estableciendo un sistema de monitoreo del cumplimiento para comprobar los resultados del automonitoreo. Este procedimiento permanente asegura el cumplimiento de las normas legales a largo plazo. El proceso se ilustra en la figura VI.5.

La figura VI.6 muestra el número de industrias con control de efluentes en diferentes etapas para fines de septiembre de 1994 y la figura VI.7 señala el



**Figura VI.5.** Esquema del proceso de control de la contaminación en la cuenca del Tietê



**Figura VI.6** Industrias con control de efluentes en diferentes etapas, septiembre de 1994

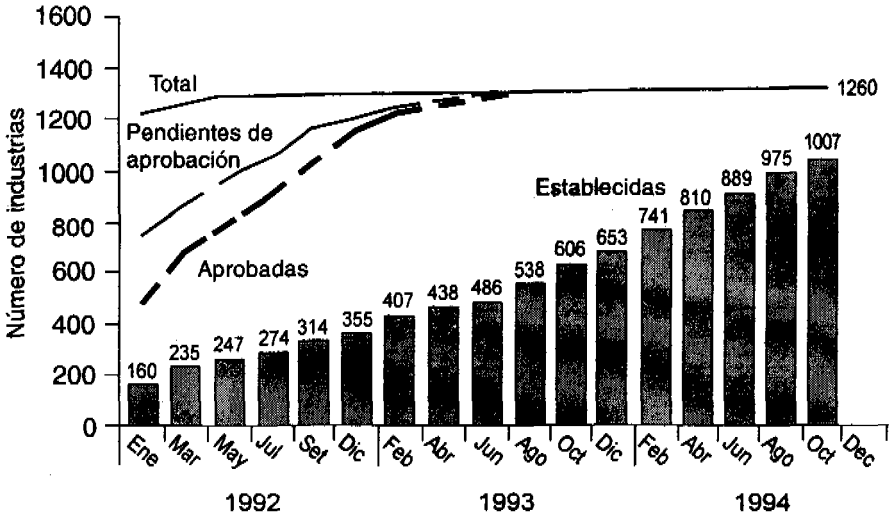


Figura VI.7 Progreso en la implementación del control de efluentes industriales, 1992-1994

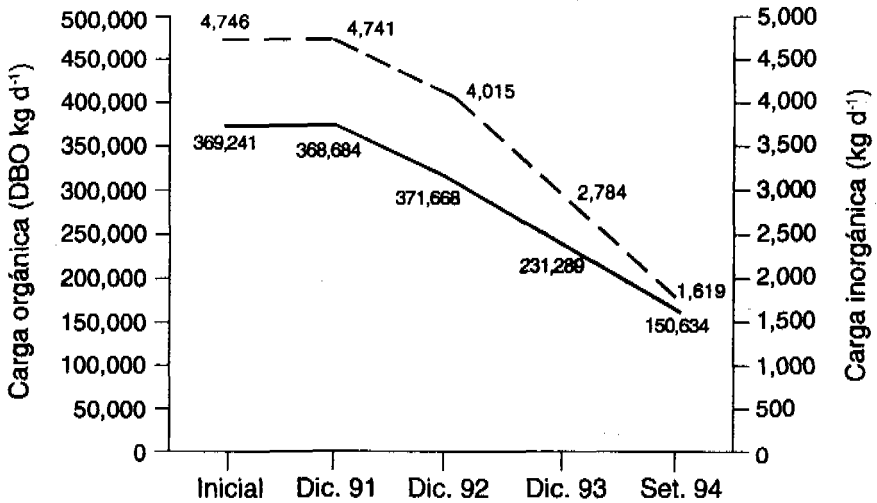


Figura VI.8 Disminución de la carga de contaminación industrial luego del control del efluente, 1991-1994

aumento gradual del número de industrias que han logrado las metas del tratamiento de efluentes establecidas por la CETESB. De las 1.250 industrias, 1.007 tenían sus sistemas de tratamiento trabajando satisfactoriamente. La disminución resultante en las cargas de contaminación entre 1991 y 1994 se muestra en la figura VI.8. La carga orgánica de 370.000 kg DBO d<sup>-1</sup> a principios del proceso se redujo a 150.000 kg DBO d<sup>-1</sup> en septiembre de 1994. La carga inorgánica disminuyó de 4.700 a 1.600 kg d<sup>-1</sup>.

### **VI.6 Conclusiones**

Este exitoso estudio de caso del manejo y control de efluentes industriales ilustra la importancia de la participación pública. Los funcionarios elegidos son particularmente sensibles a la opinión pública para satisfacer a sus votantes. A partir de los años ochenta, cuando los ciudadanos empezaron a protestar contra el deterioro de los cuerpos de agua locales, se hizo cumplir el sistema de licencias y se efectuó seguimiento al cumplimiento. Esto fue posible por una ley estatal aprobada en 1976, pero que jamás se había hecho cumplir.

Además, muchas industrias decidieron apoyar el programa y adoptaron métodos eficaces de tratamiento para promover el control de la contaminación y también para ganar una mejor imagen como resultado de la presión del público. Finalmente, debe señalarse que se dispuso de crédito oportuno, lo que facilitó las decisiones de inversión.

### **VI.7 Referencias**

- CETESB 1994 *Projeto Tietê, Despoluição Industrial*. Relatório de Acompanhamento, Setembro 1994. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo.
- Alonso, L.R. y Serpa, E.L. 1994 *O Controle da Poluição Industrial no Projeto Tietê, 1994*. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), São Paulo.



## Estudio de caso VII\*

### EL VALLE DEL MEZQUITAL, MÉXICO

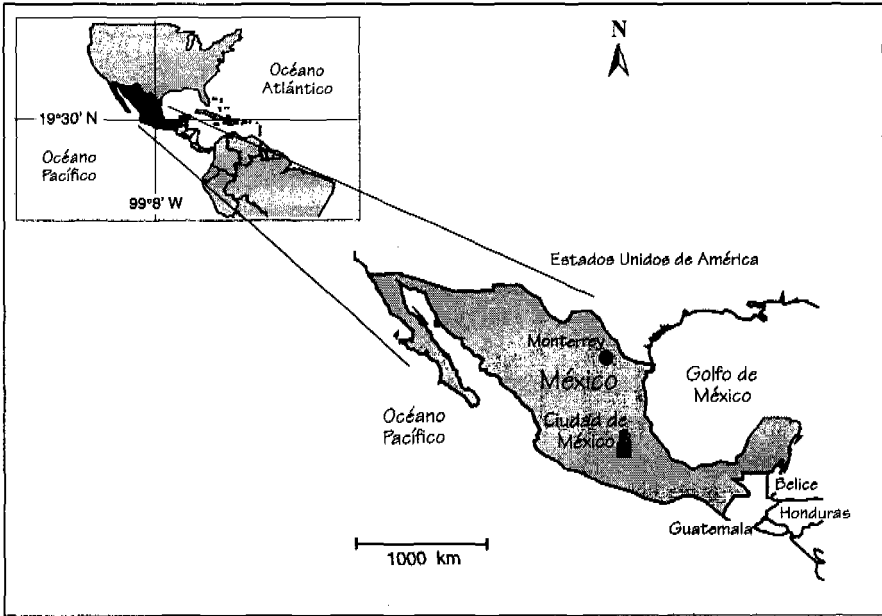
#### VII.1 introducción

México es una república federal conformada por 31 estados y un distrito federal. El país tiene una superficie de casi  $2 \times 10^6 \text{ km}^2$  y una precipitación anual de 777 mm que equivale a  $1.522 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$  de agua. Este volumen de agua debería ser suficiente para las necesidades de su población, pero la desigual distribución geográfica y temporal de los recursos hídricos da como resultado la escasez de agua para 75% del país. Estas áreas son identificadas como áridas o semiáridas (SEMARNAP, 1996).

La población de 89 millones tiene una tasa de crecimiento anual de 1,9% y 70% reside en áreas urbanas. El área metropolitana de la ciudad de México, con 18 millones de habitantes, contrasta enormemente con la población rural de 20 millones sumamente dispersa que vive en 149.000 comunidades de menos de 1.000 habitantes. El nivel general de educación es bajo y hay más de 56 grupos étnicos que hablan lenguas aborígenes. La esperanza de vida es de 69 a 72 años. La prevalencia de enfermedades infecciosas y parasitismo es mayor que las enfermedades degenerativas crónicas. La tasa de mortalidad infantil sigue siendo elevada.

El producto nacional bruto era de US\$ 3.750 per cápita en 1993 (INEGI, 1994) y actualmente México enfrenta una seria crisis económica. Esto agrava la pobreza de 50% de la población que vive en áreas rurales y zonas marginales de las ciudades grandes. Generalmente se considera que esta situación es temporal y se espera que el desarrollo económico empiece nuevamente en México, como ha ocurrido en el pasado. En 1994, México firmó el Tratado de Libre Comercio de América del Norte con Estados Unidos y Canadá. México también es miembro de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE).

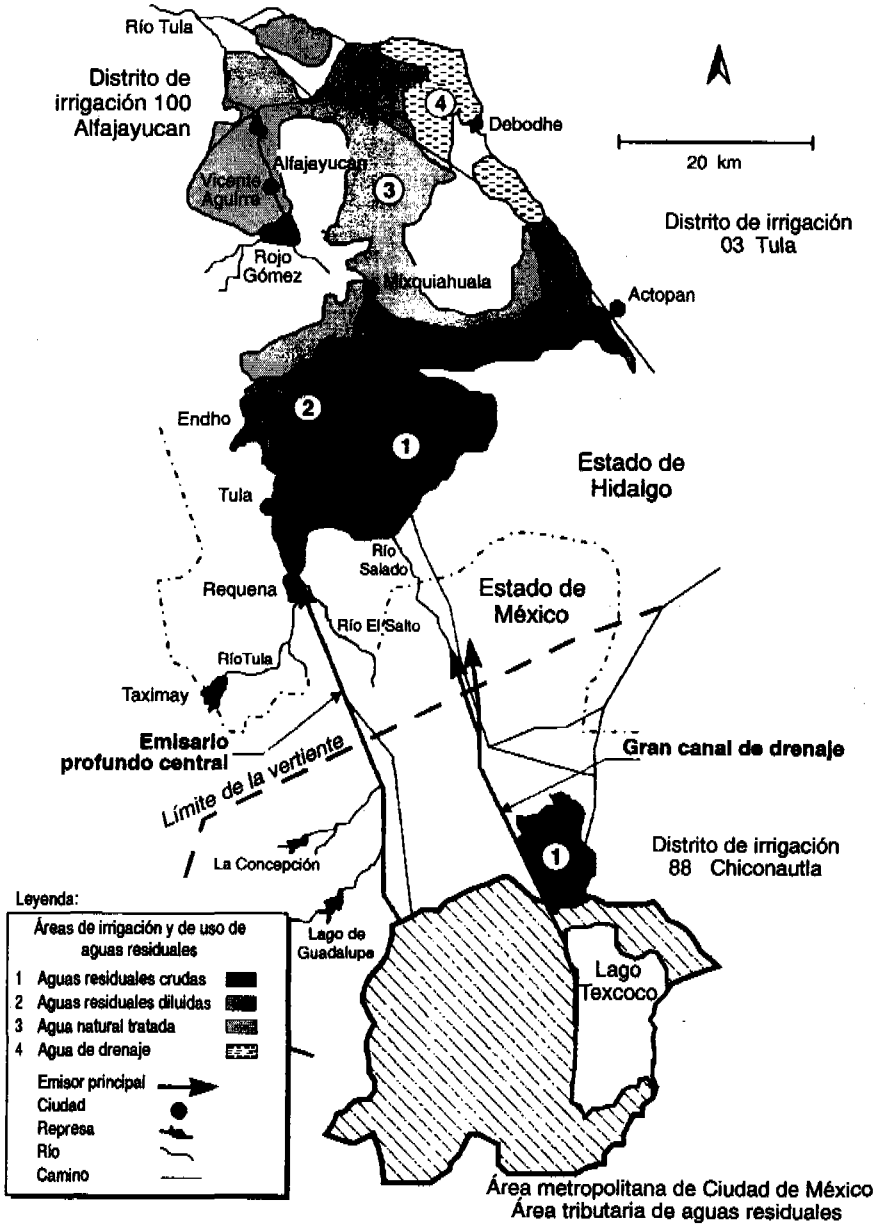
\* *Este estudio de caso fue preparado por Humberto Romero-Alvarez*



**Figura VII.1** Mapa que muestra la ciudad de México y el Valle del Mezquital al norte de la ciudad

## VII.2 El Valle del Mezquital

El Valle del Mezquital está dentro de los límites del estado del Hidalgo, en la meseta alta mexicana, 60 km al norte de la ciudad de México (figura VII.1) y la altitud varía entre 1.700 m a 2.100 m sobre el nivel del mar. Los 495.000 habitantes del valle se dedican principalmente a actividades agrícolas, complementadas con la cría de ganado. Su nivel de vida es mayor que el de la población que no tiene acceso a aguas residuales para el riego (Romero, 1994). Los distritos de riego 03 de Tula y 100 de Alfajayucan usan aguas residuales crudas del área metropolitana de la ciudad de México (figura VII.2). Estas aguas residuales no reciben ningún tratamiento convencional. Debido al inmenso tamaño del área cultivada (83.000 ha en 1993-1994) y su antigüedad (91 años en operación continua), la región representa un ejemplo único de riego con aguas residuales (cuadro VII.1). Las aguas residuales, ya sean crudas, parcialmente tratadas o mezcladas con agua de lluvia, son sumamente valoradas por los agricultores pues mejoran la calidad del suelo y sus nutrientes permiten una mayor productividad (cuadro VII.2) (SARH, 1994; CNA, 1995). En 1990, los cultivos de maíz y alfalfa cubrían una superficie 10 veces mayor que los cultivos vegetales, pero la producción fue seis veces menor.



**Figura VII.2** Mapa del sistema de irrigación con aguas residuales en el Valle del Mezquital, México

**Cuadro VII.1** Datos de riego para el Valle del Mezquital, 1993-1994

Sistemas de riego	Área (ha) cubierta <sup>1</sup>	Cultivada <sup>2</sup>	No. de usuarios	Volumen de agua (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> a <sup>-1</sup> )	Valor de producción (10 <sup>6</sup> N\$) <sup>3</sup>
Distrito 03 de Tula	45.214	55.258	27.894	1.148	255
Distrito 100 de Alfajayucan	32.118	22.380	17.018	651	85
Unidades privadas	5.375	5.450	4.000	96	0
<b>TOTAL</b>	<b>82.707</b>	<b>83.088</b>	<b>48.912</b>	<b>1.895</b>	<b>340</b>

<sup>1</sup> El área cubierta se refiere a los terrenos con infraestructura de riego

<sup>2</sup> El área cultivada incluye algunas áreas con más de un cultivo por año.

<sup>3</sup> La tasa promedio de cambio para ese período era N\$ 3.5 por US\$ 1.

Fuente: Comisión Nacional de Agua (CNA), Sede de los Distritos de Riego, Mixquiahuala, Hidalgo, México, 1995

**Cuadro VII.2** Productividad agrícola en el Valle del Mezquital, 1990-1992 (t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>)

Cultivos	Media nacional	Media Mezquital	Área de riego del Estado de Hidalgo	Área de lluvias
Maíz dulce	3,7	5,1	3,6	1,1
Frijol rojo	1,4	1,8	1,3	0,49
Avena	4,7	3,7	3,6	1,7
Cebada (forraje)	10,8	22,0	15,5	13,5
Alfalfa	66,3	95,5	78,8	0,0

Fuentes: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), México 1994 (valores nacionales) Comisión Nacional de

Agua (CNA), Sede de los Distritos de Riego, Mixquiahuala, Hgo., México, 1995 (datos del Valle del Mezquital)

Las aguas residuales están contaminadas con microorganismos patógenos y compuestos tóxicos que constituyen un riesgo para la salud, tanto de los agricultores como de los consumidores de productos agrícolas. Los principales cultivos son alfalfa, maíz, trigo, avena, frijol, tomates, ajíes y betarraga. Hay una producción pequeña pero importante de cultivos restringidos en la parte inferior del valle (Distrito 100) que incluye lechuga, repollo, culantro, rábano, zanahoria, espinaca y perejil. Esta restricción de cultivos forma parte de la política de manejo del reúso de aguas residuales con medidas preventivas para salvaguardar la salud.

En los distritos de riego del Valle del Mezquital, las aguas residuales de la ciudad de México (una mezcla de efluentes domésticos e industriales) reciben un tratamiento natural en el terreno que es equivalente o superior al tratamiento secundario convencional de aguas residuales. Los efectos ambientales que podrían experimentarse debido a la contaminación del agua si este esquema de riego no estuviese disponible son:

- Las aguas residuales crudas producirían una seria contaminación ambiental calculada en  $1.150 \text{ t d}^{-1}$  de materia orgánica, expresada en función de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) que afectaría el suelo y recursos hídricos aguas abajo de la cuenca del río Pánuco, incluidas varias lagunas costeras y el Golfo de México.
- Se verían afectados el abastecimiento de agua municipal y rural, las plantas hidroeléctricas, la pesca, los ecosistemas acuáticos y una rica biodiversidad.
- Los nutrientes de las aguas residuales ricas que fluyen aguas abajo hacia la cuenca del río causarían excesiva flora acuática e infestación de vectores como resultado de la eutroficación.
- El valor estético del ambiente natural y del paisaje sería afectado por espumas y otros efectos, como el olor.
- Sin este proceso enorme y natural de tratamiento en el terreno sería casi imposible integrar el desarrollo sostenible de suelos y recursos hídricos en una región tan importante de México.

### **VII.3 Situación antes de la intervención**

Actualmente, hay lineamientos legales e institucionales que garantizan el desarrollo agrícola sostenible en el Valle del Mezquital. La Ley Nacional del Agua, en vigor desde 1993, tiene una sección dedicada específicamente a la prevención y control de la contaminación del agua. Además, las Normas Técnicas Ecológicas 32 y 33 (ahora normas mexicanas oficiales) establecen los requerimientos para el uso de aguas residuales en el riego agrícola (Diario Oficial de la Federación, 1993). La Comisión Nacional del Agua (CNA) se creó oficialmente en 1989 como una entidad del gobierno federal responsable de promover la construcción de infraestructura hidroagrícola, así como su operación y asegurar que se cumplan las leyes y normas relacionadas con el uso eficaz del agua y control de su calidad.

El Gobierno Federal, específicamente la CNA, es el responsable de los distritos de riego desde 1949. Cada distrito se encuentra bajo la administración de un ingeniero principal nombrado por la CNA y el estar bajo el control de una única autoridad facilita en gran medida la gestión del esquema de riego. Asimismo, hay una junta administradora compuesta por representantes de los

gobiernos central y estatal, asociaciones de usuarios del agua y bancos locales de crédito. Algunos agricultores trabajan en cooperativas administradas por ellos mismos, aunque la mayoría son trabajadores independientes que poseen parcelas muy pequeñas (un promedio de 1,5 ha por usuario).

Los agricultores presentan sus demandas de agua a la oficina distrital local y especifican dónde y cuándo requieren agua. Luego el gerente distrital prepara un primer borrador del calendario de riego y analiza los factores involucrados, como la cantidad de agua disponible, cronograma de la demanda de agua, cultivos preferidos de los agricultores, políticas agrícolas, restricciones en los cultivos y recursos disponibles. El plan de riego se implementa luego que los agricultores participantes lo discuten y aprueban.

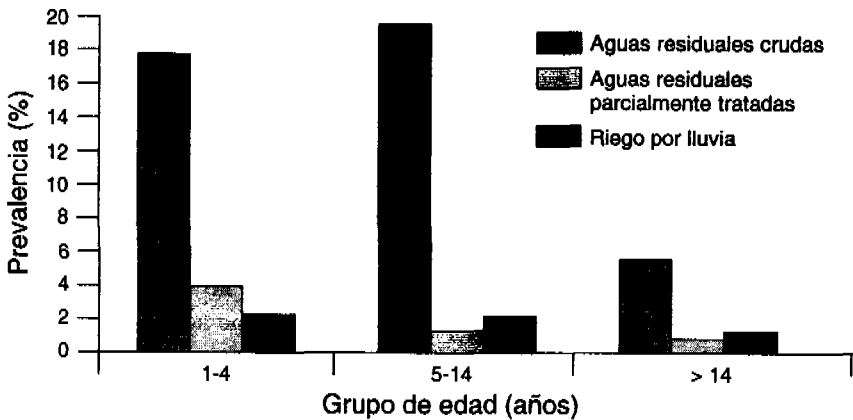
La CNA cobra una cuota a los usuarios (agricultores) para recuperar algunos de los costos operativos, aunque los subsidios del gobierno siguen siendo altos. Se están realizando esfuerzos para eliminar estos subsidios. Los costos reales operativos y de mantenimiento ascienden a N\$ 4,42 (4,42 nuevos pesos) por mil metros cúbicos y los agricultores solo están pagando N\$ 1,46 (33%), más N\$ 0,75 (17%), estimado como costo del mantenimiento (la tasa de cambio promedio para el ciclo agrícola 1993-1994 fue N\$ 3,5 por US\$1). Por consiguiente, solo 50% de los costos operativos son cubiertos por los agricultores que usan las aguas residuales. Cada año, desde comienzos del siglo, el gobierno ha proporcionado financiamiento para la continua expansión de la infraestructura de riego. Es difícil calcular estos costos de construcción como un componente del valor económico de las aguas residuales porque hay poca información disponible. Sin embargo, a menudo las ganancias de los agricultores son aproximadamente 60% de los cultivos comercializados y algunas hortalizas pueden ser más lucrativas (70 incluso 80%).

En los cuatro últimos años, debido a la propagación del cólera, la CNA ha impuesto restricciones en cultivos regados con aguas residuales, cuyos productos se consumen crudos, como las hortalizas. Esta decisión, adoptada como una medida preventiva, causó conflicto social entre los agricultores que vieron sus ingresos gravemente reducidos por la restricción de sus cultivos comerciales sin tener otras opciones viables.

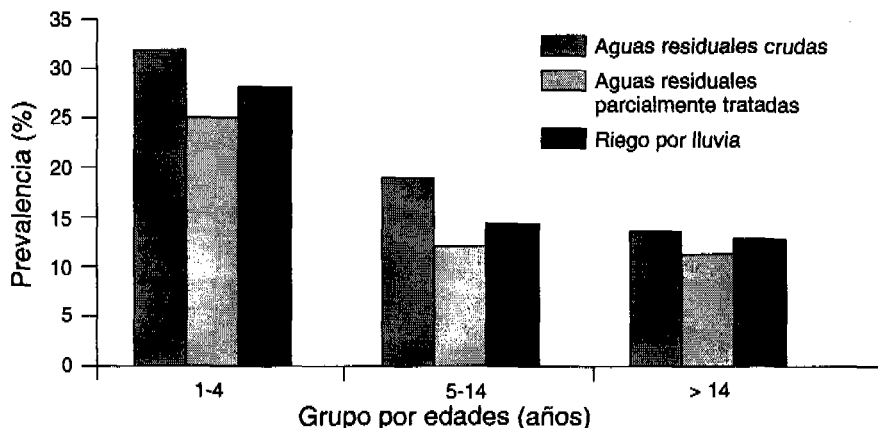
El volumen de aguas residuales ha aumentado con el transcurso del tiempo. Se distribuye en el Valle del Mezquital por un sistema complejo de túneles, reservorios y canales que tienen un efecto purificador en las aguas residuales. El resultado es que diferentes áreas se riegan con agua de diferente calidad. Por ejemplo, en la entrada del Valle, las aguas residuales tienen un máximo de  $6 \times 10^8$  coliformes fecales por 100 ml, mientras que en la salida del reservorio Vicente Aguirre se reduce a  $2 \times 10^1$  (cuadro VII.3). La misma reducción ocurre

**Cuadro VII.3** Concentración de coliformes fecales en los reservorios del Valle del Mezquital (NMP<sup>1</sup> por 100 ml)

Reservorio	Media geográfica <sup>2</sup>	Máximo <sup>3</sup>	Mínimo <sup>3</sup>
Endho			
Afluente	$2,6 \times 10^7$	$6 \times 10^8$	$3 \times 10^4$
Efluente	$6,1 \times 10^4$	$3 \times 10^6$	$4 \times 10^4$
Rojo Gómez			
Afluente	$5,3 \times 10^5$	$3 \times 10^4$	$5 \times 10^3$
Efluente	$1,4 \times 10^4$	$2 \times 10^5$	$1 \times 10^1$
V. Aguirre			
Afluente	$5,9 \times 10^3$	$1 \times 10^4$	$1 \times 10^2$
Efluente	$3,3 \times 10^2$	$3 \times 10^4$	$2 \times 10^1$

<sup>1</sup> Número más probable<sup>2</sup> Fuente: Cortés, 1989<sup>3</sup> Fuente: Cifuentes y otros, 1995**Figura VII.3** Porcentaje de infección por *Ascaris lumbricoides* en diferentes grupos de edad de acuerdo con el método de riego (Cifuentes y otros, 1994)

con los helmintos; la concentración de los huevos de *Ascaris* se reduce de 135 por litro en la entrada del valle a menos de uno por litro en la salida del reservorio más bajo (Cortés, 1989; Cifuentes y otros, 1994). Esta situación ha motivado el interés de las instituciones académicas que llevan a cabo estudios epidemiológicos en el Valle del Mezquital. Los primeros resultados (figura VII.3) han demostrado que hay un riesgo mayor de infección por *Ascaris lumbricoides* en los hijos de trabajadores agrícolas que usan aguas residuales crudas que en aquéllos que usan aguas residuales parcialmente tratadas de



**Figura VII.4** Porcentaje de enfermedades diarreicas en diferentes grupos de edad de acuerdo con el método de riego (Cifuentes *et al.*, 1994)

reservorios y que los riesgos para ambos grupos fueron considerablemente más altos que para los que se encuentran en áreas utilizadas como control (riego por lluvia). Por otro lado, el riesgo para niños y adultos en el grupo de reservorios fue similar al observado en los controles (área regada con lluvia). Como se esperaba, en el grupo de 5 a 14 años, especialmente hombres, hubo más casos de infección por *Ascaris* cuando fueron expuestos a aguas residuales crudas (Cifuentes y otros, 1995; Blumenthal y otros, 1996). Además, estos estudios sugirieron una asociación entre el predominio de enfermedades diarreicas y la exposición de los hijos de los agricultores a aguas residuales de diferente calidad; los niños de hogares expuestos a aguas residuales crudas tenían un riesgo menor que, sin embargo, aumentaba significativamente. Las viviendas insalubres de los agricultores, donde viven muchas personas con hábitos de higiene deficientes, podrían explicar las altas tasas de enfermedades diarreicas en niños de 1 a 4 años que básicamente dependen de sus madres (figura VII.4) (Ordóñez, 1995). Estos resultados apoyan el criterio de que la infección por parásitos es un indicador eficaz de los efectos del uso de aguas residuales en la salud de una población.

#### VII.4 Escenario de la intervención

En 1993, México fue el anfitrión de un taller regional para analizar los temas relacionados con el uso de aguas residuales en la agricultura y proponer las intervenciones apropiadas a fin de garantizar la salud y seguridad pública y ocupacional. El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) organizó



el taller con la asistencia de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Panamericana de la Salud (OPS), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Centro de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (HÁBITAT). Participaron representantes de 12 países de América Latina y el Caribe. El taller recomendó la creación de un estudio y centro de referencia en el Valle del Mezquital con la intención de promover, coordinar e integrar los estudios de investigación llevados a cabo en las condiciones favorables que presentaba el área.

Con respecto al tratamiento de las aguas residuales como una medida de protección de la salud y el ambiente, la CNA está conduciendo estudios detallados de ingeniería para la posible construcción de plantas convencionales de tratamiento en el gran canal de drenaje, en el área metropolitana de la ciudad de México y en el punto de descarga del emisor central en el Valle del Mezquital. En este sentido, la CNA tiene experiencia con plantas de tratamiento, tanto grandes como pequeñas, que actualmente operan en el área metropolitana y cuyos efluentes se usan para regar áreas verdes y llenar lagos recreacionales del área urbana.

En una escala más pequeña, es posible convencer a los agricultores para que inviertan en plantas de tratamiento en sus parcelas para asegurar la producción segura de hortalizas para ensaladas y otros cultivos de alto riesgo. Actualmente, la CNA se está concentrando en ayudar a los agricultores que usan aguas residuales para que construyan sus propias lagunas de estabilización y adapten la calidad de las aguas residuales a las restricciones de diversos cultivos y demostrar que las prácticas empleadas son seguras. Para garantizar que estas prácticas seguras se usen correctamente, se necesita un programa estricto de certificación de la calidad de aguas residuales.

Dos sucesos en la política y administración del país facilitaron la intervención más directa para mejorar las condiciones de uso de las aguas residuales en el Valle del Mezquital en el futuro. En primer lugar, cambios recientes en la organización de la administración pública federal han asignado la administración general del agua, a través de la CNA, bajo el nuevo Ministerio del Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Esto permitirá poner mayor énfasis en los problemas ambientales que precisamente son el tema que más preocupa en el Valle del Mezquital y que podrían afectar los recursos hídricos aguas abajo en la cuenca del río Pánuco, como se mencionó anteriormente. El segundo suceso importante fue la propuesta para crear el centro regional de estudio en el Valle del Mezquital. El objetivo específico de este centro es mejorar la comprensión técnica y científica para permitir el uso racional y seguro de aguas

residuales y así contribuir al desarrollo de la agricultura sostenible. Para ayudar a las muchas y diversas investigaciones en el Valle del Mezquital, el centro de referencia debe proporcionar dos facilidades básicas:

- Un sistema de información que incluya los datos generados por los estudios de campo y red de monitoreo ambiental.
- Varias unidades de demostración de tipo experimental y educativo para facilitar la capacitación y transferencia de tecnología.

### **VII.5 Lecciones aprendidas, limitaciones y oportunidades**

El proyecto para crear un centro de estudio en el Valle del Mezquital se enfrenta con obstáculos comunes en los países en desarrollo. Estos son:

- Altos niveles de pobreza y desempleo agravados por el crecimiento demográfico excesivo y una moneda (el peso) devaluada por la deuda externa y escasez de recursos financieros.
- Condiciones persistentes de deterioro ambiental. Sobre todo, la necesidad de saneamiento básico en zonas rurales demanda la atención y compite por fondos escasos.
- Gran presión del mercado por adoptar soluciones de países desarrollados que son inapropiados desde el punto de vista técnico, económico y financiero para los países en desarrollo. El tratamiento de aguas residuales es un buen ejemplo.
- El proceso de descentralización administrativa. En su fase inicial, presenta serias dificultades en la coordinación porque generalmente hay poco personal profesional y técnico bien preparado disponible en el nivel local.

No obstante, hay factores que favorecen la implementación del proyecto, como:

- Muchas instituciones e investigadores, tanto nacionales como internacionales, están interesados en llevar a cabo estudios en este campo.
- Hay voluntad política para detener el deterioro ambiental y revertir las tendencias actuales a fin de garantizar el desarrollo sostenible.
- Existe la infraestructura institucional básica para implementar intervenciones que mejorarían la producción agrícola y el saneamiento en los distritos de riego.
- Algunos organismos internacionales de cooperación están interesados en dar asistencia técnica y financiera al centro propuesto por su pertinencia regional para los países de América Latina y el Caribe. El Banco Interamericano de Desarrollo, por ejemplo, ha indicado su interés en el proyecto. El Banco, junto con el Gobierno del Japón ha aprobado un crédito de US\$ 800 millones para plantas de tratamiento de aguas residuales de gran escala, así como para la infraestructura hidráulica necesaria en el área metropolitana de la ciudad de México.

### VII.6 Conclusiones y recomendaciones

- El uso racional de las aguas residuales para el riego en la agricultura y silvicultura o acuicultura es una práctica sumamente útil y productiva que contribuye al desarrollo sostenible, el cual es el objetivo central del Programa 21 aprobado en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) en Río de Janeiro en 1992.
- Las intervenciones necesarias para mejorar la eficiencia del uso de aguas residuales a fin de proteger la salud y salvaguardar el ambiente, requieren una comprensión total de las condiciones socioculturales y económicas locales. Tal comprensión debe resultar en acción y lineamientos que se apliquen con prontitud.
- En el Valle del Mezquital las condiciones de riego son ideales para llevar a cabo la investigación de campo. Los resultados de esta investigación podrían usarse en el nivel nacional y con el tiempo en otros países en desarrollo.

Considerando los puntos anteriores, se propone:

- Apoyar la creación de un Centro Regional de Estudio y Referencia para el uso racional y seguro de las aguas residuales en el Valle del Mezquital.
- Imponer restricciones a los cultivos y otras reglamentaciones para el uso de aguas residuales, basadas en los resultados epidemiológicos recientes.
- Introducir simultáneamente un programa piloto de intervención de saneamiento básico de viviendas en el área de riego.

### VII.7 Referencias

- Blumenthal, U.J., Mara, D.D., Ayres, R.M., Cifuentes, E., Peasey, A., Scott, R., Lee, D.F. y Ruiz Palacios, G. 1996 Evaluation of the WHO nematode egg guideline for restricted and unrestricted irrigation. *Wat. Sci. Tech.* **33** (10-11), 277-83.
- Cifuentes, E., Blumenthal, U.J., Ruiz-Palacios, G., Bennett, S. y Peasey, A. 1994 Escenario epidemiológico del uso agrícola del agua residual: el Valle del Mezquital, México. *Salud Públ. Méx.*, **36** (1), 3-9.
- Cifuentes, E., Blumenthal, U.J., Ruiz-Palacios, G. 1995 *Riego Agrícola con Aguas Residuales y sus Efectos sobre la Salud en México. En: Agua, Salud y Derechos Humanos*. Iván Restrepo. México.
- CNA 1995 *Información proporcionada por la Jefatura de los Distritos de Riego del Valle del Mezquital*. Comisión Nacional del Agua, Mixquiahuala, Hidalgo, México.
- Cortés, J. 1989 *Caracterización Microbiológica de las Aguas Residuales con Fines Agrícolas. Informe del Estudio Realizado en el Valle del Mezquital*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Jiutepec, México.

- Diario Oficial de la Federación 1993 NOM-CCA-032-ECOL/1993 y NOM-CCA-033-ECOL/1993. México, 18 de octubre 1993.
- INEGI 1994 *Sistemas de Cuentas Nacionales de México*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGA), México.
- Ordóñez, B.R. 1995 Comunicación personal, México.
- Romero, A.H. 1994 Estudio de Caso (Valle del Mezquital). En: *Actas Taller Regional para las Américas sobre Aspectos de Salud, Agricultura y Ambiente, Vinculados al Uso de Aguas Residuales*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Jiutepec, México.
- SARH 1994 *Anuario de la Producción Agrícola*. Ministerio de Recursos Agrícolas e Hidráulicos, México, D.F., México.
- SEMARNAP 1996 *Programa Hidráulico 1995-2000*. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), México.

## Estudio de caso VIII\*

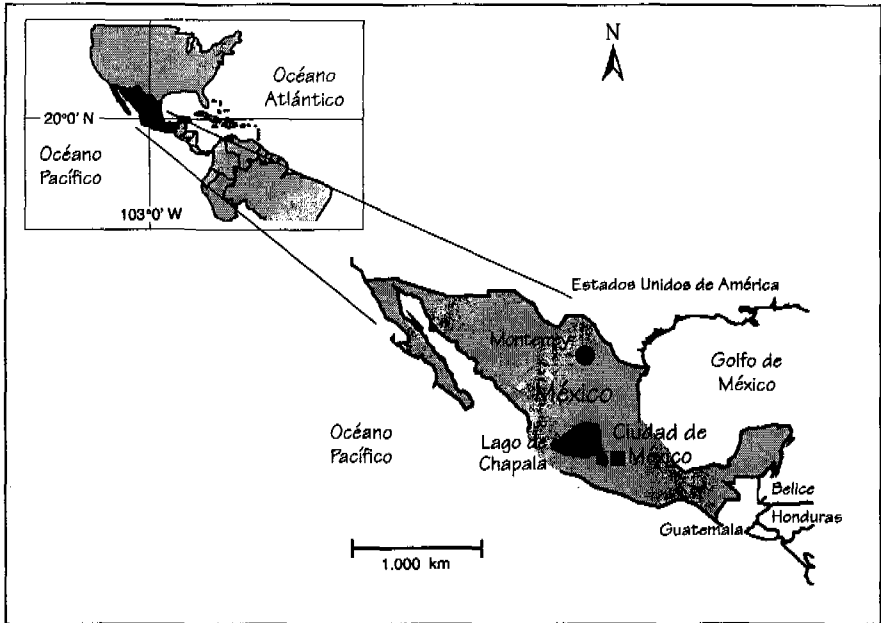
### LA CUENCA LERMA-CHAPALA, MÉXICO

#### VIII.1 Introducción

Actualmente, en muchas de sus regiones, México enfrenta un desajuste entre la demanda del agua y su disponibilidad, principalmente debido a la escasez y a la distribución desigual de la calidad del agua. El rápido crecimiento urbano e industrial, entre otros factores económicos y sociales, ha empeorado esta situación. Se ha incrementado la necesidad del agua, los usuarios compiten acérrimamente entre sí y como resultado están surgiendo conflictos sociales. Asimismo, la calidad del agua se ha deteriorado ya que los efluentes industriales se descargan frecuentemente sin tratamiento previo. Además, México está superando lentamente una grave crisis económica y financiera que ha limitado el desarrollo de la infraestructura hidráulica y ha empobrecido a grandes sectores de la población.

México cubre 1,97 millones de km<sup>2</sup> de América del Norte (figura VIII.1) y tiene una población de 91,12 millones con una tasa de crecimiento de 1,8% al año. Políticamente, México está dividido en 31 estados autónomos (cada uno con su gobierno elegido) y un distrito federal que incluye la ciudad de México. Un sistema complejo de montañas crea 310 cuencas hidrológicas con diferentes grados de desarrollo hidráulico y contaminación del agua. De todas las cuencas mexicanas, la de Lerma-Chapala es la más importante. En consecuencia, recibe atención prioritaria de los tres niveles del gobierno, federal, estatal y municipal, y especialmente de la Comisión Nacional del Agua (CNA) que es la única autoridad federal a la que se le ha confiado la administración general de los recursos hídricos en el nivel nacional. La toma de conciencia pública sobre temas hídricos en Lerma-Chapala ha motivado la participación activa de los usuarios del agua, organizaciones no gubernamentales (ONG) e instituciones sociales con intereses directos o indirectos en el sector hídrico.

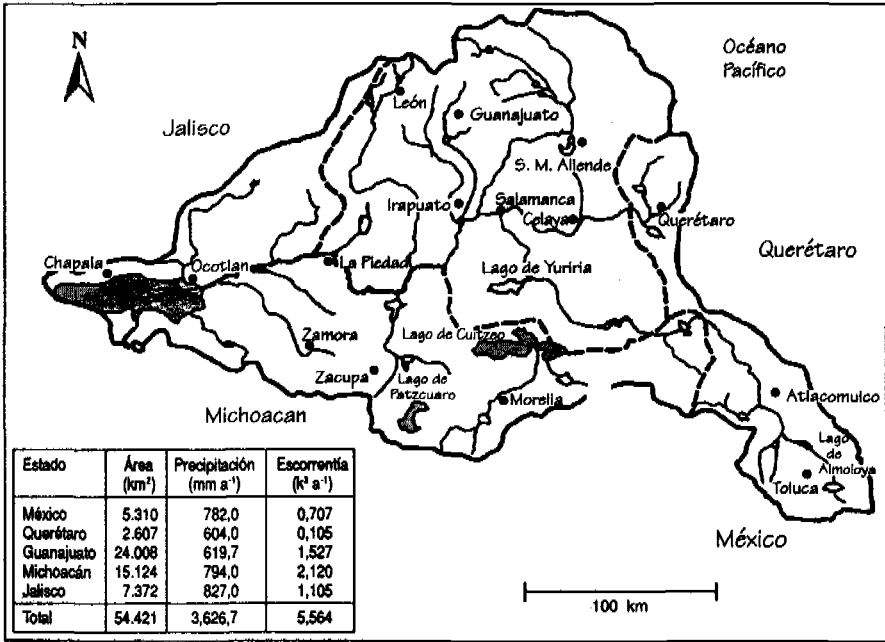
\* *Este estudio de caso fue preparado por José Eduardo Mestre Rodríguez*



**Figura VIII.1** Mapa de México donde se muestra la ubicación de la cuenca Lerma-Chapala

### VIII.2 La cuenca Lerma-Chapala

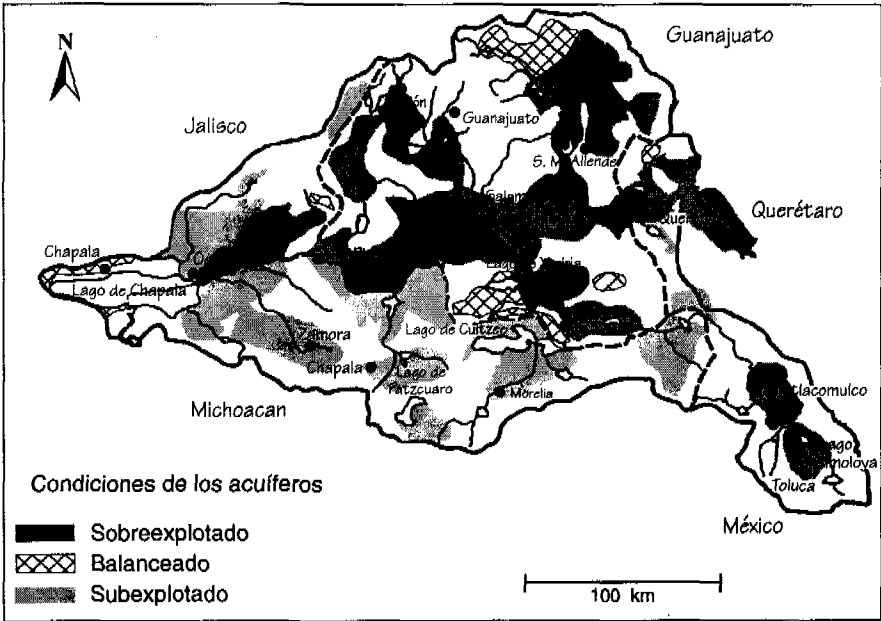
El río Lerma, con 750 km de longitud, nace en la meseta central de México a 3.000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). El río desemboca en el lago Chapala (1.510 m.s.n.m.) que es el lago tropical más grande de México (figura VIII.2) con 77 km de largo y 23 km de ancho. La máxima capacidad de almacenamiento del lago es de 8,13 km<sup>3</sup> y el área superficial es de aproximadamente 110.000 ha. El lago tiene poca profundidad, el promedio es 7,2 m, con un máximo de solo 16 m. La cuenca del río Lerma es una región tropical con una temperatura promedio de 21 °C, un área de 54.400 km<sup>2</sup> (menos de 3% de todo el territorio mexicano) y una precipitación promedio de 735 mm a<sup>-1</sup>, principalmente concentrada en el verano, de la que deriva una escorrentía media de 5.19 km<sup>3</sup>. El río Santiago surge en el Lago Chapala y fluye hacia el oeste hasta llegar al Océano Pacífico. La cuenca del río Santiago es menos desarrollada en cuanto a población y actividad económica, salvo Guadalajara, la segunda ciudad más grande de México que cuenta con un área metropolitana de más de 3,5 millones de habitantes.



**Figura VIII.2** Mapa de la cuenca Lerma-Chapala con cifras de precipitación y escurrentía para cada estado

En la cuenca Lerma-Chapala hay unos 26.000 pozos profundos con tasas muy bajas de eficiencia, debido a su alto consumo de electricidad y baja producción de agua. Casi 70% de los 38 acuíferos de la región están sobreexplotados (figura VIII.3).

La actual población de la cuenca es de 9,35 millones con una tasa de crecimiento anual ligeramente menor que el promedio nacional. La población está distribuida en 6.224 localidades, 18 de las cuales tienen una población mayor de 50.000 habitantes; la población rural asciende a 32%. La disponibilidad del agua ha impulsado el desarrollo regional socioeconómico y la producción industrial y agrícola per cápita ha sobrepasado los niveles nacionales. La región cuenta con 6.400 industrias que generan un tercio del PNB y 20% de todo el comercio nacional ocurre dentro de esta cuenca. Además, comprende un octavo de toda la tierra irrigada en México. La agricultura en esta área es de tal importancia que las exportaciones de productos agrícolas dependen en gran medida de esta diminuta región. Con los tres sectores económicos altamente desarrollados y con una red superior de transporte, parcialmente financiada por inversionistas privados, indudablemente, esta área es una de las regiones más ricas de América Latina.



**Figura VIII.3** Acuíferos de la cuenca Lerma-Chapala con indicación de su nivel de explotación del agua

La cuenca Lerma-Chapala incluye sectores de los estados centrales de Guanajuato, Jalisco, México, Michoacán y Querétaro (figura VIII.2). Los conflictos derivados del uso de escorrentías superficiales (principalmente para el riego y agua potable), combinados con la descarga de efluentes no tratados, ha dado lugar a serios problemas de contaminación regional y local. Frecuentes conflictos en relación con la calidad del agua ocurren en el lago Chapala, el cual desempeña un papel clave como la principal fuente de agua de Guadalajara.

**VIII.3 Situación antes de la intervención**

Antes de 1989, el marco normativo y legal proporcionó procedimientos claros para la medición de la escorrentía superficial, sistemas de información afines y herramientas de análisis; pero había graves deficiencias en el monitoreo y registro de la calidad del agua. Además, las estructuras institucionales, centralizadas en el nivel federal, no pudieron reducir el deterioro de la calidad del agua en toda la cuenca. Con el tiempo, esta situación se agravó y redujo drásticamente la disponibilidad del agua para diversos usos. Sin embargo, había conciencia pública y oficial sobre los temas claves relacionados con la calidad



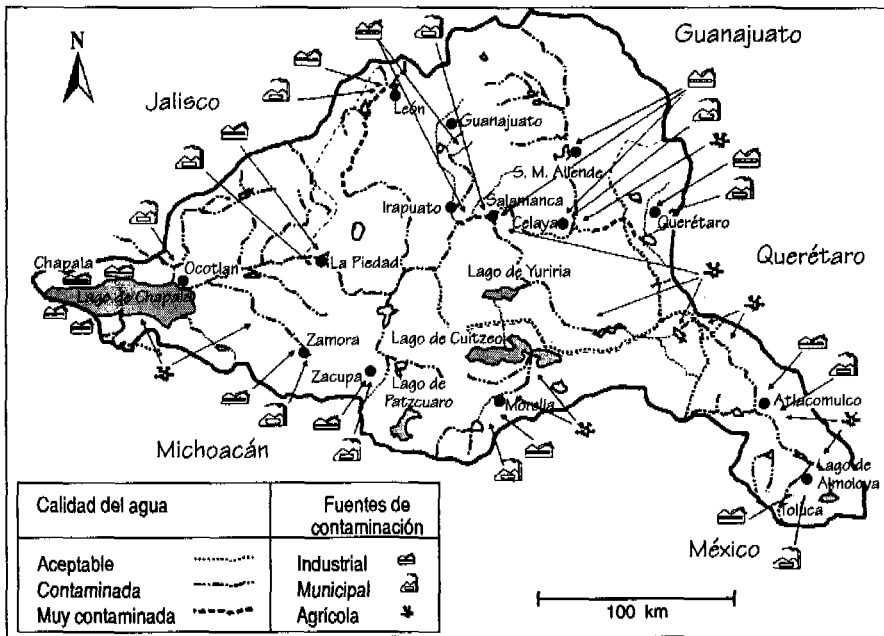
del agua y el desarrollo sostenible. En consecuencia, en 1970, bajo la Secretaría de Recursos Hidráulicos se creó la primera unidad técnica y administrativa para prevenir y controlar la contaminación del agua por diferentes fuentes. La cuenca Lerma-Chapala fue una elección natural como área piloto para llevar a cabo la primera evaluación de calidad del agua y sentar las bases de la intervención futura.

Desde una perspectiva económica y financiera, los servicios hidráulicos en la cuenca Lerma-Chapala no diferían del esquema general predominante en el resto del país. El financiamiento era insuficiente para satisfacer las demandas. El precio del agua y los pagos reales efectuados por los usuarios se encontraban por debajo de los costos, lo que restringe la inversión de capital y la gestión. A su vez, esto limitó la posibilidad de prestar un servicio razonable de agua para el riego, industria y viviendas. Además, tal situación limitó la participación de los usuarios del agua y generó una actitud negativa hacia el abastecimiento y manejo de los recursos hídricos. Incluso en la actualidad, cuando se están ejecutando cambios, muchos usuarios (en todos los niveles y sectores) todavía se muestran renuentes a pagar por el agua.

El abastecimiento de agua potable había alcanzado niveles aceptables de cobertura en zonas urbanas pero no en zonas rurales. Los municipios con más de 50.000 habitantes tenían una cobertura de servicio de cerca de 85% o más y las grandes ciudades generalmente llegaban a 95%. La cloración del agua era poco común, excepto en las grandes ciudades. El control de la calidad del agua también era sumamente limitado, a pesar de los esfuerzos de los sectores de agua y salud. El Centro de Estudios Limnológicos, establecido en Chapala en 1975, y el laboratorio regional de salud pública creado en 1981 en León, Guanajuato, apoyaron los esfuerzos para promover el control de la calidad del agua.

Los sistemas urbanos de aguas residuales tenían niveles de cobertura inferiores a los sistemas de agua potable. Los efluentes sin tratar se descargaban directamente en ríos y reservorios. Además, donde existían plantas de tratamiento, como en la ciudad de Querétaro, su operación era generalmente ineficaz como resultado del defectuoso diseño y mal manejo relacionados con los aspectos financieros. Pocos sectores sociales estaban dispuestos a pagar por el tratamiento de efluentes.

La economía mexicana creció considerablemente después de la Segunda Guerra Mundial. Las inversiones nacionales e internacionales promovieron el crecimiento industrial y éste fue ayudado por un mercado nacional incapaz de adquirir productos importados. Simultáneamente, la agricultura por riego creció en forma sostenida en términos de área superficial, importancia económica y



**Figura VIII.4** Mapa de la cuenca Lerma-Chapala que muestra la clasificación de la calidad del agua para los principales tramos del río y las fuentes que originan la contaminación del agua

demanda de agua. Las políticas de desarrollo económico nacional y regional no permitieron una estrategia de conservación del agua a largo plazo y como resultado, la agricultura por riego es responsable de 81% de todas las extracciones de agua en la cuenca Lerma-Chapala.

Esta región incluye 16 grandes reservorios que ayudan a regular las escorrentías erráticas de año en año. También han ayudado considerablemente a reducir los riesgos de inundación. Sin embargo, como resultado de un exceso de nutrientes derivados de los efluentes sin tratar, los reservorios estuvieron seriamente afectados por infestaciones masivas de jacintos de agua.

Las industrias, así como la mayoría de los pueblos ubicados en la cuenca se abastecen principalmente de fuentes subterráneas (90%). Las industrias más importantes concentran sus actividades en carnes, lácteos y otros productos agrícolas, bebidas, pulpa y papel, productos de cuero, industria petroquímica y química, todos con poco o ningún énfasis en el tratamiento y reciclaje de aguas residuales.

El desarrollo en la cuenca Lerma-Chapala se sostiene en gran parte por el uso intensivo del agua. Las industrias en la cuenca generan alrededor de 0,608

$\times 10^3 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$  de aguas residuales con  $130.500 \text{ t a}^{-1}$  de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) proveniente de desechos urbanos y  $424.260 \text{ t a}^{-1}$  de demanda química de oxígeno (DQO) de descargas industriales. Estas cargas de contaminantes orgánicos e inorgánicos y la falta de capacidad del tratamiento de aguas residuales han intensificado los problemas de calidad del agua y reducido notoriamente la disponibilidad del agua (figura VIII.4). La contaminación dispersa causada por el drenaje que contiene residuos de fertilizantes e insecticidas de áreas regadas, junto con residuos sólidos arrastrados por la lluvia, provenientes de viviendas rurales que carecen de sistemas de eliminación de excretas y basura, también han contribuido a los problemas de calidad del agua.

El lago Chapala es el centro de distribución de agua más importante de la región y se vio seriamente amenazado por una creciente contaminación biológica y química. Esto generó una protesta pública en el estado de Jalisco y con el tiempo se convirtió en un asunto de interés nacional.

#### **VIII.4 Escenario de intervención**

Hacia fines de 1988, era evidente para la sociedad e instituciones del gobierno que en la cuenca Lerma-Chapala existía una compleja y grave situación. La demanda de agua era mayor que la disponibilidad natural e incluso todos los efluentes se destinaban al reúso. La asignación del agua era un proceso caótico porque la mayoría de los derechos del agua se concedieron sin una estrategia clara para proteger a los usuarios aguas abajo o hacer frente a la escasez regional causada por las frecuentes sequías. Los usuarios competían entre sí, generalmente las industrias y municipios ejercían gran presión sobre las tierras agrícolas regadas. Los conflictos por el agua eran frecuentes en todos los niveles entre estados vecinos. En general, la calidad del agua descendió a un nivel inaceptable. En lugares específicos, la calidad del agua se había deteriorado en tal medida que afectaba todas las formas y manifestaciones de vida. Casi no existía protección de la cuenca del río. La erosión se había incrementado en antiguas áreas forestales y los pastizales estaban desapareciendo a una velocidad sorprendente como resultado de prácticas pecuarias irracionales. Con el tiempo, la sedimentación redujo la capacidad hidráulica de los arroyos, ríos y reservorios y disminuyó notoriamente el ciclo de vida de varias represas.

La sociedad empezó a exigir la ejecución de acciones inmediatas y eficaces para remediar la situación en la cuenca. En abril de 1989, el gobierno federal y los gobiernos de los cinco estados que comparten formalmente la cuenca, coordinaron sus esfuerzos a fin de poner en marcha el "Programa para la Asignación de Agua entre Usuarios" con un conjunto nuevo de reglas y

emprender simultáneamente el “Programa de Ordenamiento de los Aprovechamientos Hidráulicos y el Saneamiento de la Cuenca Lerma-Chapala”. Los cuatro objetivos principales que surgieron de estos dos programas fueron:

- Reducir la contaminación del agua.
- Establecer un sistema nuevo de asignación del agua.
- Impulsar todas las actividades conducentes a elevar la eficiencia del agua.
- Establecer reglas básicas sólidas para el manejo del suelo y agua, permitir y promover la protección y recuperación de nichos biológicos, enfoques prácticos (y lucrativos) para el manejo racional de suelos y otra acción preventiva.

La sociedad aceptó y adoptó estos cuatro objetivos y, a su vez, desempeñó una función clave al examinar los resultados, evaluar las acciones e incluso argumentar la introducción de cambios propuestos por diversos sectores sociales.

Los organismos del gobierno instalaron un “Consejo Consultivo para la Evaluación y Seguimiento” de todos los subprogramas y actividades derivados del programa de la cuenca. El Consejo estuvo integrado por ministros del Gobierno Federal, gobernadores de estado y presidentes de empresas públicas descentralizadas (principalmente refinerías de petróleo y centrales eléctricas). En realidad, este Consejo fue el antecesor de los actuales Consejos de la Cuenca del Río.

El Consejo Consultivo ejerció presión social continua y suscitó un cambio importante en la política del gobierno sobre prevención y control de la contaminación del agua porque aceleró el proceso de descentralización administrativa. A medida que crecieron sus funciones y responsabilidades, con el tiempo el Consejo Consultivo se convirtió en el Consejo de la Cuenca del Río. Se creó un grupo de trabajo para contar con un instrumento flexible que examinara los conflictos y las acciones en detalle y presentara propuestas al Consejo. Tenía representantes de cada miembro del Consejo y se les facultó votar y establecer compromisos a nombre de la institución que representaban. Se eligió un presidente, quien siempre tenía que ser funcionario público de la Comisión Nacional del Agua. El grupo de trabajo se reunía cada dos meses, mientras que el Consejo tenía una reunión pública solemne cada año, generalmente con la presencia del Presidente de la República. La agenda de trabajo del Consejo para cada reunión se discutía con anticipación y era aprobada por el grupo de trabajo. Todos los temas claves, como el financiamiento o cumplimiento de las leyes que fueron puestos a votación en el Consejo ya habían sido aprobados en el mismo grupo de trabajo o a través de la presión política bilateral. En consecuencia, todos los temas claves siempre fueron

aprobados por consenso. Este mecanismo ha resultado valioso y ha evitado potenciales enfrentamientos y puntos de vista obsoletos.

El Consejo Consultivo creó una atmósfera apropiada que con el tiempo atrajo a los usuarios del agua. Por lo tanto, dentro del Consejo Consultivo se creó una Asamblea de Usuarios del Agua como una entidad con poderes que podría escuchar los múltiples reclamos del agua, así como proporcionar un medio rápido para elevar al nivel del Consejo las necesidades, esperanzas y aportes de los usuarios a fin de contribuir al mejoramiento de la situación hídrica en la cuenca Lerma-Chapala. Luego, los representantes de los usuarios del agua llegaron a ser miembros del Consejo con los mismos derechos de voz y voto que los miembros del Gobierno.

Tres años después, la nueva Ley Nacional de Agua (diciembre, 1992), inspirada por el proceso del Consejo Consultivo, creó consejos de cuenca en todo el país para mejorar la coordinación institucional e intensificar todas las formas de relaciones fructíferas entre usuarios e instituciones del agua. La ley del agua asignó a la CNA una función clave en el manejo regional del agua dentro del gobierno federal. Además, promovió una mayor participación de las autoridades del Estado y municipales (artículo 13). Las cuencas hidrológicas (definidas por los límites de las aguas superficiales o subterráneas) fueron finalmente, y de manera legal, reconocidas como la unidad geográfica ideal para el manejo racional del agua. La Ley Nacional de Agua quizás podría haber llegado más lejos en su definición de Consejos de Cuenca ya que, en la práctica, el Consejo de la Cuenca Lerma-Chapala había avanzado más allá de lo que requería la ley.

Por primera vez en la historia mexicana, la Ley de Agua incluía un capítulo exclusivo sobre la prevención y control de la contaminación del agua. Esta sección responsabiliza claramente a la CNA por la promoción y, cuando sea necesario, por la operación de la infraestructura y servicios federales esenciales para preservar, conservar y mejorar la calidad del agua en las cuencas hidrológicas y acuíferos (Artículo 86). Todos los que proveen agua y tratan efluentes tienen la responsabilidad directa de cumplir con la ley. Esto ha facilitado desde hace dos décadas, un proceso de descentralización en gran escala dentro del sector. Si ocurren sucesos impredecibles y se requiere la intervención directa de la CNA, entonces (y solo entonces) el Gobierno Federal proporcionará los servicios de agua hasta que tales sucesos extremos cesen o sean controlados.

Como resultado directo de un Plan Maestro de Agua (un logro en sí mismo, derivado de discusiones y audiencias públicas entre representantes de los consejos al grupo de trabajo) y en estrecha coordinación, la CNA y el Consejo

de la Cuenca Lerma-Chapala han implementado un ambicioso "Programa de Tratamiento de Aguas Residuales en Gran Escala" para limpiar la región. En México, este es el primer programa de tratamiento de agua en gran escala emprendido como resultado de la participación generalizada y no solo como un programa federal. El programa maneja la desinfección del agua dulce y la construcción de plantas de tratamiento para efluentes industriales. En su mayor parte, los proyectos fueron generados por las autoridades estatales y municipales y el financiamiento fue recaudado mediante derechos federales de agua (pago similar a un impuesto), subsidios (tanto federales como estatales), créditos nacionales y extranjeros, inversiones privadas y ahorros derivados de las estrategias de fijación de precios del agua. Todas las actividades de construcción usualmente fueron supervisadas por las autoridades locales mediante contratistas e inversionistas del sector privado.

En el caso de las plantas de tratamiento, se definió claramente el proceso de toma de decisiones; el Consejo identificó varios municipios claves como los de mayor responsabilidad directa por los niveles de contaminación doméstica sobre una base general o local. Las autoridades municipales fueron invitadas a considerar la posibilidad de sumarse al Programa de Tratamiento de Aguas Residuales y los que estuvieron de acuerdo (la mayoría) recibieron apoyo técnico, financiero e institucional cuando lo solicitaron. Los detalles de este esquema eran bastante complejos dado que, por ejemplo, los sistemas de aguas residuales estaban incompletos en varios casos y los procedimientos de facturación eran incipientes en otros sitios.

Antes que se promulgara el Programa de Agua Limpia en abril de 1991, el agua potable era desinfectada principalmente con cloro. En la región, se detectaba  $5.763 \text{ l s}^{-1}$  de agua, equivalente a 31% del abastecimiento total de agua para atender a 2,2 millones de habitantes en 10 localidades. Para fines de 1994, la desinfección con cloro había aumentado a  $18.000 \text{ l s}^{-1}$ , correspondiente a 85% del total de agua suministrada a 5,7 millones de habitantes en 594 localidades. La CNA administra un sistema de monitoreo permanente basado en la determinación de cloro residual. También se proporciona mantenimiento regular a los cloradores solo cuando lo requieren, sin interferir con políticas de abastecimiento de agua ni responsabilidades locales. Otras organizaciones se encargan de la operación de los sistemas. Para incentivar el cumplimiento de las normas en las fuentes de agua potable, la CNA ha actualizado su inventario de fuentes. Actualmente, 498 fuentes están protegidas, es decir, 20% de todas las fuentes de agua registradas.

El programa de tratamiento de aguas residuales se planificó en tres etapas. La primera etapa, que concluyó en diciembre de 1994, tuvo como finalidad

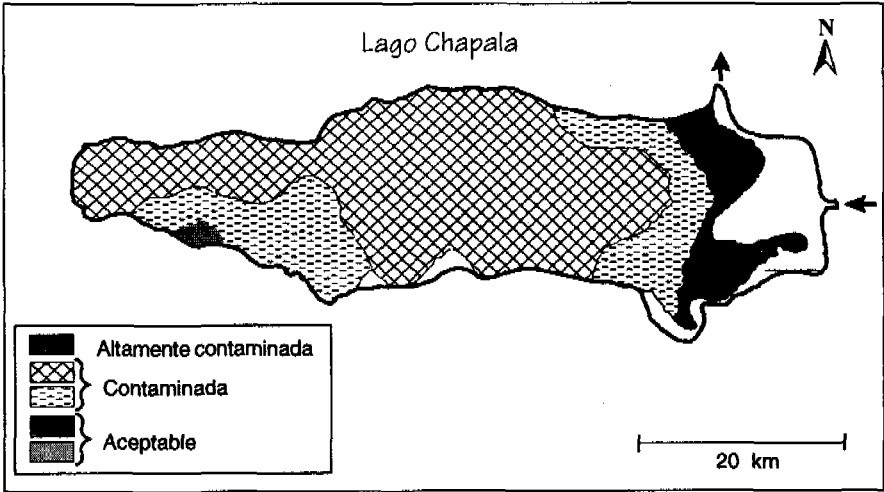
reducir en 50% las consecuencias de la contaminación orgánica en la cuenca de río Lerma y 65% en el lago Chapala. La meta era construir y operar 48 plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas con una capacidad general de  $3.700 \text{ l s}^{-1}$ . Las inversiones globales de capital han sido de unos 367 millones de pesos (aproximadamente US\$ 80 millones).

En 1997, 45 plantas con una capacidad de tratamiento de  $5,72 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  operaban en forma sistemática con una eficiencia promedio de 70%. Además, 40% de las plantas operativas tienen que mejorar su eficiencia mientras que las restantes descargan DBO dentro de los límites legales. Se construyeron seis plantas adicionales de tratamiento para elevar la capacidad regional a  $9,56 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (en la región, la descarga de efluentes domésticos es de aproximadamente  $17 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). En las orillas del lago Chapala se han construido 17 plantas municipales (que tratan un total de  $643 \text{ l s}^{-1}$  con 90% de eficiencia en la remoción de DBO). En esta zona específica, para asegurar la operación de las plantas que en su mayoría son muy pequeñas, se creó una unidad administrativa técnica especial enteramente administrada y financiada por el gobierno estatal local. Este esquema ha evolucionado a tal punto que las autoridades municipales aportan la mayoría de los gastos, financiados a través de las tarifas de agua. En promedio, en mayo de 1989, se informó que casi 90% de toda el agua del lago Chapala era de calidad deficiente (figura VIII.5). En contraste, hoy se considera que 85% es de buena calidad y 15% de calidad adecuada (figura VIII.6). Estos resultados indican claramente los logros alcanzados por la reversión del grave deterioro ambiental del lago Chapala.

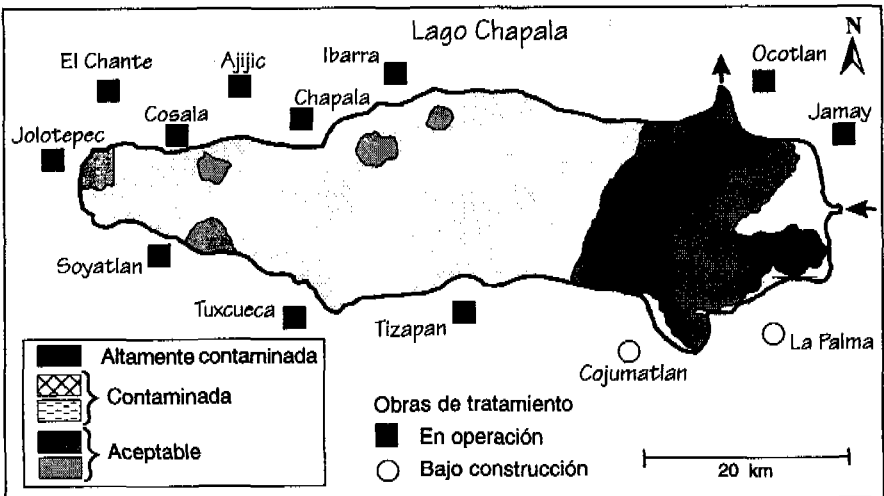
Se han ampliado los sistemas de alcantarillado como consecuencia de la reciente construcción de plantas de tratamiento. Además, como regla general, los sistemas de tratamiento primarios y lagunas de estabilización en particular, son ahora el método preferido de tratamiento de aguas residuales por sus ventajas técnicas y financieras sobre otros métodos convencionales. Desde principios de 1997, el proceso de toma de decisiones ha sido afectado directamente por las recientes Normas Oficiales Mexicanas que promueven normas de descarga realistas de acuerdo con los parámetros económicos y financieros del país. En la mayoría de casos, los efluentes crudos de aguas residuales domésticas cumplen las nuevas normas después del tratamiento primario.

Las industrias eléctricas y de petróleo del Gobierno Federal también han construido plantas de tratamiento de gran escala para purificar y reusar sus aguas residuales; su capacidad general es de  $415 \text{ l s}^{-1}$ .

La segunda etapa del programa de limpieza Lerma-Chapala, que ya está en marcha, pretende aumentar la capacidad de tratamiento de las aguas residuales municipales e industriales a  $10.670 \text{ l s}^{-1}$  mediante la construcción y operación



**Figura VIII.5** Mapa del lago Chapala que muestra la distribución de la calidad del agua determinada por un índice de la calidad del agua en 1989, antes del programa de tratamiento de aguas residuales



**Figura VIII.6** Mapa del lago Chapala que muestra el mejoramiento de la calidad del agua en mayo de 1996 (determinado por un índice de calidad del agua) como resultado de la primera etapa del Programa de Tratamiento de Aguas Residuales y la ubicación de las plantas de tratamiento de efluentes. Compárese con la figura VIII.5

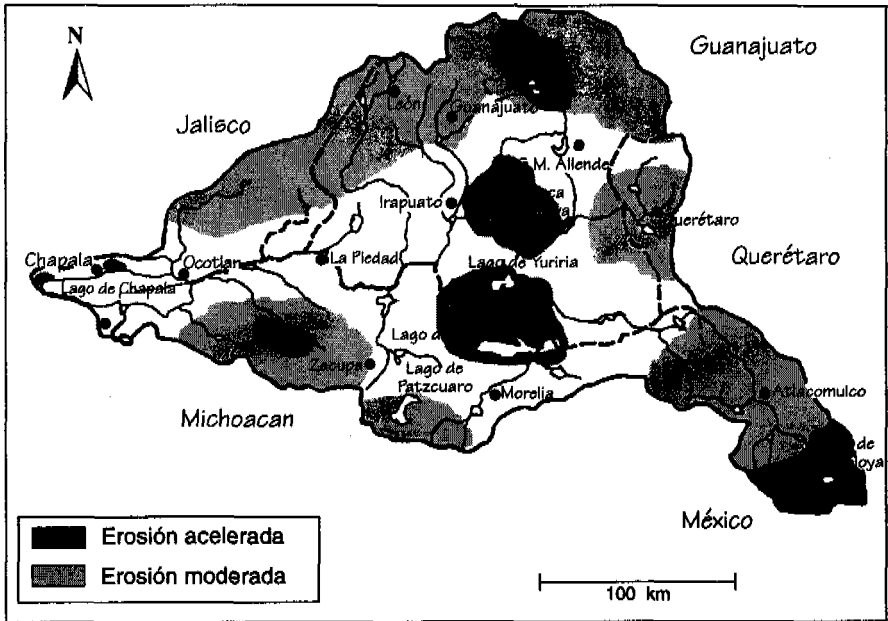


de 52 plantas y expansión de cinco instalaciones existentes, con una inversión total de 1.200 millones de pesos (US\$ 150 millones). El estado federal, las inversiones y créditos privados, así como los ahorros de las empresas de abastecimiento de agua proporcionan el financiamiento. Varios sistemas de tratamiento están en operación o se están construyendo. Al final de esta etapa, 100 plantas de tratamiento reducirán extraordinariamente la contaminación del agua. Casi 85% de todos los efluentes domésticos serán tratados. En todos los casos, el Gobierno Federal, a través de la CNA (sólo cuando sea necesario) puede proporcionar apoyo técnico en el diseño de proyectos y puede contribuir al financiamiento de las inversiones. Casi la mitad del financiamiento será suministrada por los inversionistas privados y su participación en el diseño, construcción y actividades de operación serán de importancia capital.

La tercera etapa del Programa de Tratamiento de Aguas Residuales en Gran Escala incluye la construcción de 50 plantas adicionales orientadas a satisfacer las necesidades de los municipios pequeños y comunidades rurales. Estas plantas tendrán una capacidad total de tratamiento de 1.833 l s<sup>-1</sup>.

Para controlar y monitorear la calidad del agua en la cuenca, la CNA mantiene un organismo regional de agua con sede en Guadalajara. Este organismo inspecciona y mantiene regularmente una red de 50 estaciones de monitoreo, 22 de las cuales están ubicadas en el río Lerma y 28 en el lago Chapala. También tiene a su cargo dos laboratorios especializados de calidad del agua en la región. Toda la información es sistemáticamente procesada y analizada con modelos digitales, algunos de los cuales se crearon conjuntamente con el International Institute of Applied Systems Analysis (IIASA) en Laxenburgo, Austria, el Thames Water International en Reading, Inglaterra, y el Canada's Centre for Inland Waters de Toronto, Canadá. Con esos modelos se ha elaborado una clasificación detallada de los diversos tramos del río Lerma que cumplió con la Ley de Agua y ha sido oficialmente publicada. Los modelos permiten hacer predicciones basadas en escenarios alternativos derivados de la construcción de nuevas plantas y modificación de las políticas de calidad del agua.

La CNA y el Consejo de la Cuenca Lerma-Chapala cuentan con sistemas de información. Se puede acceder a ellos y consultar vía Internet y periódicamente se revisan para mejorar la información y facilitar el uso a los usuarios. Se están ofreciendo estadísticas regionales del sector hídrico en forma impresa, siguiendo el modelo francés de la Red Nacional de Datos sobre el Agua (Réseau National des Donnés sur l'Eau) administrada por la Oficina Internacional del Agua (Office International de l'Eau) en Limoges, Francia, o en CD-ROM, a través del Instituto Mexicano de Tecnología de Agua.



**Figura VIII.7** Mapa de la cuenca Lerma-Chapala que muestra las áreas afectadas por diferentes niveles de erosión del suelo

La CNA y la cuenca Lerma-Chapala realizan esfuerzos para mejorar la eficiencia del uso del agua en la cuenca, principalmente en los sistemas de uso agrícola y urbano. Una estrategia exitosa ha sido mantener la política de fijación de precios del agua de acuerdo con la realidad, habiéndose ajustado los sistemas de facturación y recolección para aumentar los pagos. El pago por el servicio de riego, por ejemplo, ha aumentado en 500% desde 1990. Estas acciones tienen como finalidad aumentar el reúso del agua tratada, fortalecer institucionalmente a los organismos operativos y controlar las pérdidas de agua, entre otros.

La transferencia del control de los distritos de riego a los usuarios también ha contribuido a mejorar la eficiencia. Hasta la fecha, se ha transferido 214.000 ha, es decir, 74% de toda el área regada en la cuenca. Anteriormente, los distritos de riego se habían rehabilitado y modernizado con una inversión de 445 millones de pesos (US\$ 55,6 millones). A los usuarios en particular se les motivó a participar en la toma de decisiones y procesos de planificación, así como en el manejo del agua. Además, se les invitó a desarrollar y conservar la infraestructura y brindar servicios directamente. Esta experiencia, vinculada al Consejo de la Cuenca Lerma-Chapala, ha sido de gran importancia. Los

agricultores de riego han adquirido madurez respecto a los temas del agua; ahora administran con éxito sus distritos de riego, ya no se requieren tantos empleados federales, la distribución del agua ha mejorado y la recolección de dinero ha aumentado. De vez en cuando surgen problemas, pero la mayoría son resueltos localmente con poca o ninguna intervención gubernamental.

Asimismo, se han implementado programas piloto en varias microrregiones para detener y prevenir la erosión de suelos y, consecuentemente, reducir la sedimentación acelerada en los cuerpos de agua (figura VIII.7). Las infestaciones de maleza acuática, que actualmente cubren más de 11% de toda la superficie del agua, son otro problema que ha sido abordado con éxito por la CNA, especialmente en el lago Chapala donde menos de 4% de la superficie del agua está cubierta de maleza.

Hay una campaña permanente a través de los medios de comunicación e Internet para dar a conocer al público los objetivos y actividades del Consejo de la Cuenca. Estas actividades también son útiles para promover diferentes organizaciones independientes de usuarios, a fin de integrarlos en una Asamblea de Usuarios del Agua con mayor poder, cuyos representantes seguirían apoyando y participando conjuntamente en las actividades del Consejo.

### **VIII.5 Conclusiones y lecciones para el futuro**

La calidad del agua del río Lerma y especialmente la condición del lago Chapala han mostrado una considerable mejora en los últimos siete años como resultado de la acción integrada dentro de la cuenca hidrológica (concebida como una unidad de manejo) (figuras VIII.5 y VIII.6). Las lecciones aprendidas más importantes centran la atención de la CNA, del Consejo de la Cuenca y de la sociedad en:

- La necesidad de aumentar la voluntad política hacia la asignación de recursos, descentralización administrativa, coordinación de esfuerzos y cumplimiento de compromisos.
- Un nuevo marco institucional y legal en el que la CNA sea el organismo regulador en el nivel nacional y el Consejo de la Cuenca en el nivel regional y que la Autoridad Federal del Agua se apoye exclusivamente en la CNA.
- Fortalecer la función del Consejo de la Cuenca en el sector hídrico y establecer reglamentos claros para que participen individualmente y en colaboración conjunta con instituciones del gobierno municipal, estatal y federal.
- Dar continuidad al sistema integrado de información sobre agua que ahora se encuentra disponible para las autoridades y presionar para que se amplíe el número y versatilidad del equipo de medición y lugares, y la capacidad y flexibilidad de las herramientas de análisis y toma de decisiones.

- Mejorar la planificación y evaluación mediante la motivación de los usuarios del agua para que participen conjunta y eficazmente en el fomento de un compromiso permanente por parte de la sociedad en los temas regionales del agua.
- Una nueva cultura del agua dentro de la sociedad; los individuos y las comunidades deben ser conscientes de la escasez del agua, contaminación y erosión; también deben estar dispuestos a aceptar que tienen que pagar el precio por un mejor futuro en términos de disponibilidad y calidad del agua; y el desarrollo sostenible se debe convertir en un asunto de amplia divulgación entre políticos, científicos, técnicos, abogados y público general.
- Expandir y mejorar la experiencia de Lerma-Chapala (tanto institucional y no gubernamental con todas sus complejas características técnicas, políticas, financieras, legales, sociales y humanas) a otras cuencas hidrológicas en todo México.

#### **VIII.6 Reflexiones finales**

Se debe asegurar la continuidad del programa de tratamiento de aguas residuales de Lerma Chapala porque las metas de calidad del agua solo pueden alcanzarse a través del tiempo y con esfuerzo. No solo se necesita construir plantas de tratamiento, sino operarlas de manera eficiente y permanente. Como en muchos lugares del mundo, el tema clave es el financiamiento. Las personas deben estar dispuestas a pagar por el tratamiento de agua y las empresas de agua (públicas o privadas) deben reducir las pérdidas de agua, aumentar la eficiencia y mejorar sustancialmente la medición, facturación y recolección de pagos.

Los resultados logrados hasta el presente se deben consolidar mediante acciones complementarias que garanticen la operación de las plantas de tratamiento mediante capacitación intensiva y permanente y certificación de operadores, a través de un sistema eficaz de licencias para descargas (tanto al alcantarillado como a cuerpos de agua) y otras medidas preventivas para restringir la contaminación industrial mediante el incentivo al tratamiento previo en la industria y mayor énfasis a la contaminación por fuentes no puntuales proveniente del riego agrícola y condiciones sanitarias inadecuadas (eliminación de excretas) en las viviendas rurales. En conclusión, el mejoramiento de la calidad del agua se impulsará cuando se adopte un enfoque eficaz que haga cumplir las leyes.

El plan maestro, sus actividades y resultados deben evaluarse sistemáticamente para que sus efectos positivos se puedan incorporar en otras cuencas de México.

Las metas de calidad del agua determinadas por los usuarios deben ser compatibles con la voluntad de pagar los costos que permitirán alcanzar tales objetivos. Se debe incentivar la inquietud con respecto al deterioro de la calidad del agua y estimular la conciencia del público sobre los problemas de contaminación actuales.

Finalmente, todavía hay un largo camino que recorrer antes de lograr el éxito en esta u otra región de México. Sin embargo, se están dando pasos en la dirección correcta y las condiciones están mejorando gradualmente.



## Estudio de caso IX\*

### LA CUENCA DEL DANUBIO

#### IX.1 Introducción

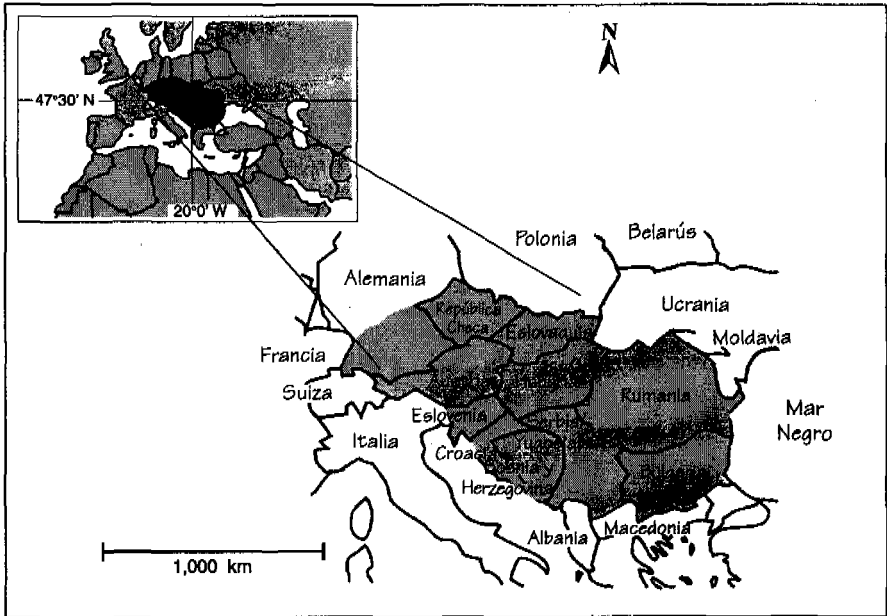
La cuenca del río Danubio está en el corazón de Europa central y oriental (figura IX.1). El río principal es uno de los más largos (ubicación 21) del mundo y es el segundo más extenso de Europa. Tiene una longitud de 2.857 km desde su fuente a una altura de 1.078 m en la Selva Negra, Alemania, hasta su delta en el mar Negro, en Rumania. La cuenca del Danubio cubre 817.000 km<sup>2</sup> y recorre partes de Alemania, Austria, República Checa, República Eslovaca, Hungría, Croacia, Eslovenia, Bulgaria, Rumania, Moldova, Ucrania y partes de las Repúblicas Federales de Yugoslavia, Bosnia y Herzegovina. La cuenca representa 8% del área de Europa (figura IX.2).

Entre la fuente y el delta, el principal río Danubio cae a una altura total de 678 m y su carácter varía, de un arroyo de montaña a un río de tierras bajas. Aguas arriba del delta del Danubio, el flujo medio del río es de aproximadamente 6.550 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> con descargas máximas y mínimas de 15.540 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> y 1.610 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, respectivamente. Cerca de 120 ríos fluyen hacia el Danubio, tales como el Tisa y Sava que tienen su propio flujo significativo. En la figura IX.3 se presenta la contribución de los tributarios principales.

La altitud media de la cuenca del río es de solo 475 m, pero la máxima diferencia de altura entre las tierras bajas y los picos alpinos es de más de 3.000 m. Sin embargo, la cuenca puede ser dividida en una región superior, media y baja (según su estructura geológica y geografía) y el delta del Danubio. La temperatura media mensual aumenta hacia el este, de 21 °C en Viena a 23 °C en Budapest y 26 °C en Bucarest. La precipitación anual promedio en la cuenca del río Danubio varía de 3.000 mm en las altas montañas a 400 mm en la región del delta. La evaporación anual media varía entre 450 mm y 650 mm en las regiones bajas.

Aproximadamente 80 millones de personas viven en la cuenca (cuadro IX.1). Las condiciones económicas varían de países desarrollados como Alemania y Austria a países con posibilidades económicas y tecnológicas modestas. La

\* *Este estudio de caso fue preparado por Ilya Natchkov*



**Figura IX.1** Mapa de los países que recorre el río Danubio

mayoría de los países en la región se encuentran en transición y han pasado por recientes cambios políticos y sufren graves limitaciones económicas y financieras.

## **IX.2 Actividades económicas en la cuenca**

En toda la cuenca, los ríos tributarios y el principal río Danubio proporcionan un recurso vital para el abastecimiento de agua, biodiversidad sostenible, agricultura, industria, pesca, recreación, turismo, generación de energía y navegación. Además, el río es un ecosistema acuático con un alto valor económico, social y ambiental. En la cuenca se ha construido un gran número de represas y reservorios, diques, esclusas de navegación y otras estructuras hidráulicas para facilitar los usos importantes del agua; existen más de 40 grandes estructuras en la principal corriente del río Danubio. Estas estructuras hidráulicas han proporcionado beneficios económicos significativos pero, en algunos casos, han ocasionado repercusiones negativas significativas aguas abajo. Estas repercusiones incluyen, por ejemplo, el aumento de la erosión y disminución de la capacidad de asimilación cuando las desviaciones han reducido el flujo por debajo del mínimo requerido para determinados usos del agua, como la pesca y mantenimiento de ecosistemas acuáticos.



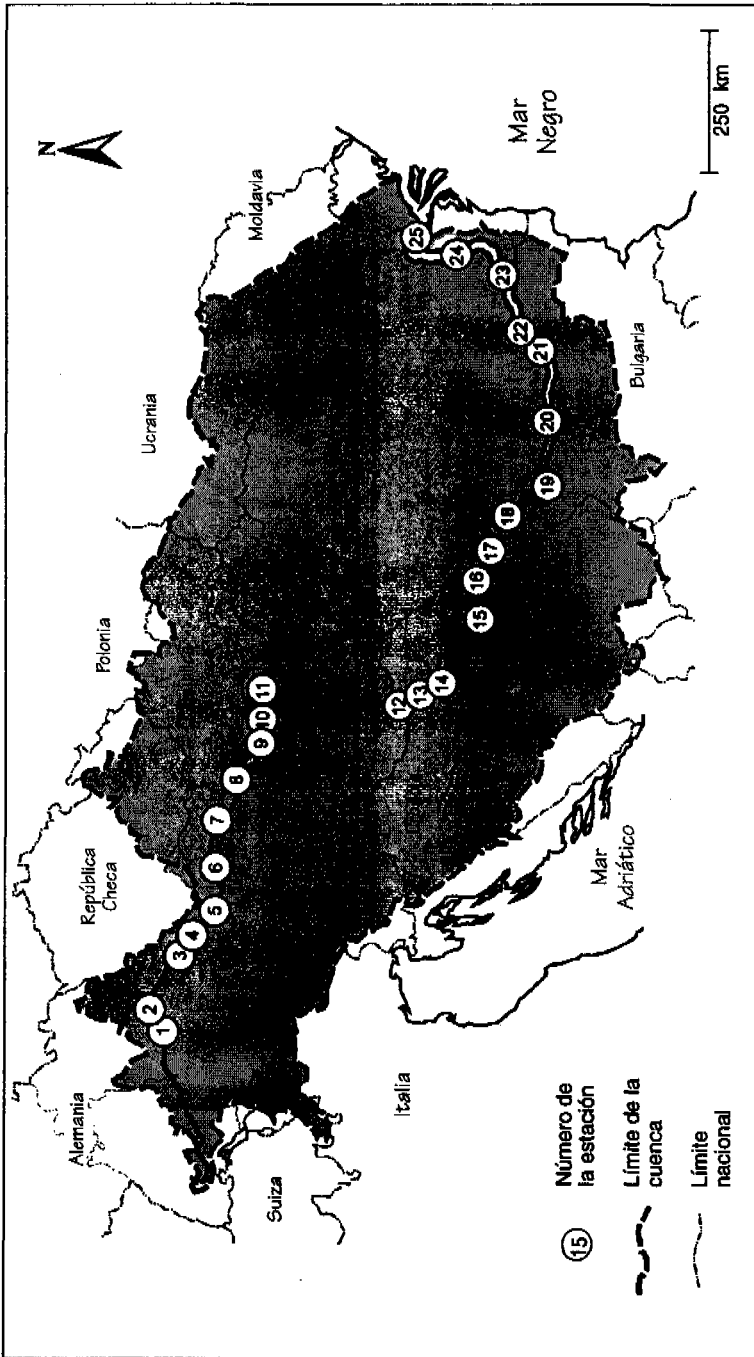


Figura IX.2 Mapa detallado del área de captación de la cuenca del río Danubio

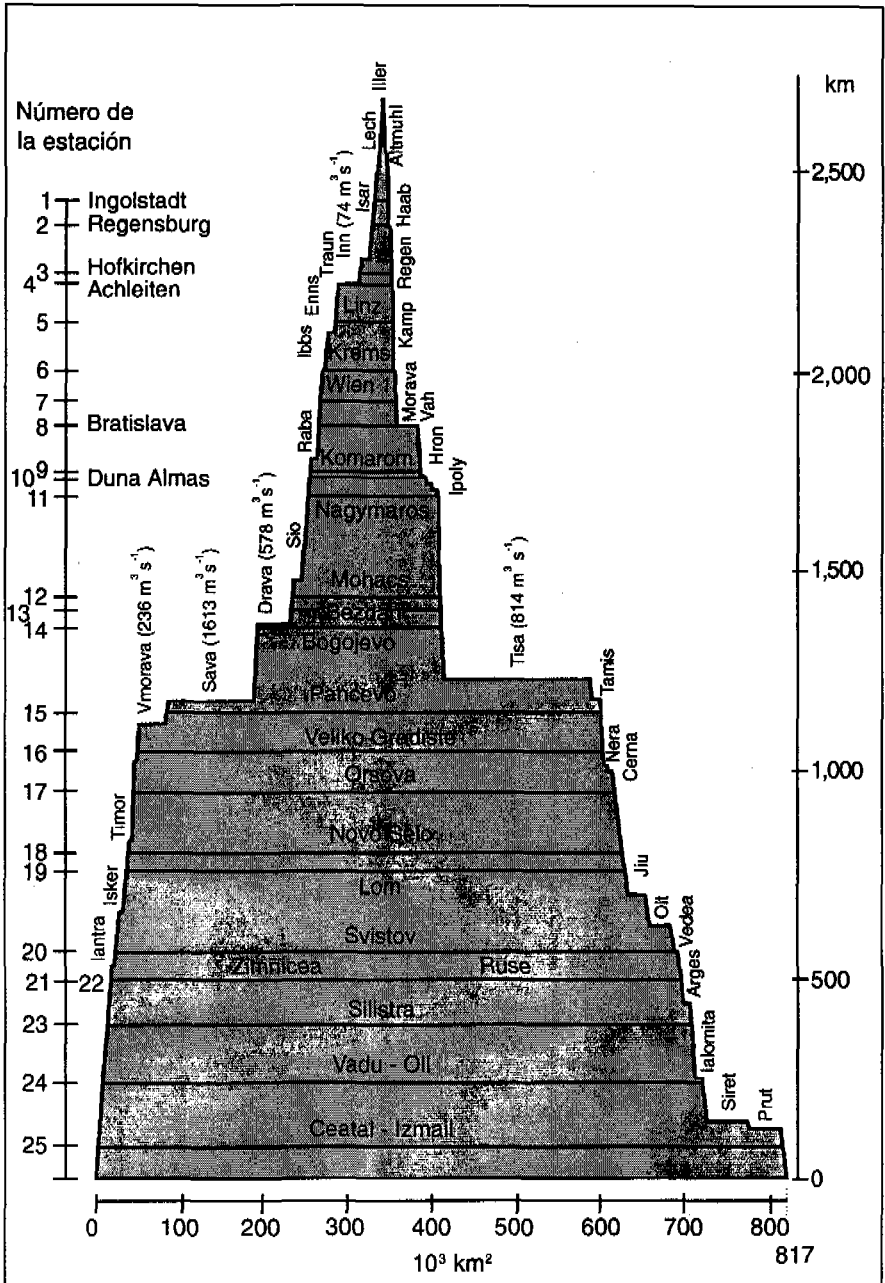


Figura IX.3 La contribución de los diversos tributarios al flujo total del río Danubio

**Cuadro IX.1** Área y población de los países incluidos en el Programa Ambiental de la Cuenca del Río Danubio<sup>1</sup>

País	Área total (10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> )	Área en la cuenca del Danubio (10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> )	(% del total)	Población (10 <sup>6</sup> )	Población en la cuenca del Danubio (10 <sup>6</sup> )	(% del total)	Población urbana (%)
Alemania	356,9	59,60	16,7	80,0	9,00	11,25	
Austria	83,9	80,70	96,2	7,42	7,42	100,00	
Rep. Checa	78,9	22,49	28,5	10,36	2,74	26,45	78
Rep. Eslovaca	49,0	48,68	99,3	5,31	5,10	96,00	78
Hungría	93,0	93,0	100,0	10,60	10,60	100,00	61
Croacia	56,5	33,75	59,7	4,76	3,25	68,30	51
Eslovenia	20,25	15,20	75,0	2,00	1,76	87,75	56
Bulgaria	111,0	48,20	43,4	8,80	4,07	46,25	68
Rumania	238,0	233,20	98,0	22,76	22,00	96,70	54
Moldova	33,7	8,79	26,1	4,34	0,77	17,60	47
Ucrania	604,0	36,31	6,0	51,70	3,00	5,80	67
Total en el área de PACRD		679,92			69,7		
Yugoslavia, Bosnia y Herzegovina		134,25			10,5		
Otros		2,38			80,2		
Total		817,00					

<sup>1</sup> Algunos datos son estimados porque no hay estadísticas disponibles específicamente para la cuenca del río Danubio

Los principales usos del agua en la cuenca son el abastecimiento de agua potable para los municipios y la industria y la irrigación. Muchas plantas de tratamiento a lo largo del Danubio y sus tributarios usan el agua filtrada de sus márgenes. Las plantas de Nussdorf usan pozos de las orillas del río y satisfacen cerca de 15% ( $150.000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ) de la demanda de agua de Viena. El abastecimiento de agua de Bratislava depende del agua filtrada de sus márgenes ( $160.000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ). En Hungría, la mayor parte del agua potable (90%) proviene de recursos subsuperficiales. La cantidad total bombeada es aproximadamente  $6.000 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ , de la cual 70% es para el abastecimiento público y 30% para el riego y la industria. En Bulgaria, la extracción total del agua del Danubio es de  $1.142 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$  (filtrada de su superficie y riberas), de la cual 70% es para riego, 20% sirve a la industria y 10% es para el abastecimiento público de agua. En los países aguas abajo, el usuario principal es la agricultura que representa 85% del uso total en Moldova. En los países aguas arriba, como Eslovaquia, el principal usuario del agua es la industria (71% del total de agua superficial extraída).

Las actividades económicas y el uso de la tierra en esta gran cuenca son muy diversos e incluye numerosos centros urbanos grandes y una amplia variedad de actividades industriales, agrícolas, mineras y de silvicultura. También hay numerosas áreas naturales importantes, como las zonas pantanosas y los bosques inundados. Estas actividades ejercen gran presión sobre los recursos hídricos y la calidad ambiental de la cuenca. La contaminación microbiológica es evidente en todo el sistema del río y generalmente se debe a la descarga de aguas residuales urbanas y agua de tormentas. Las descargas urbanas e industriales provenientes del inadecuado tratamiento y disposición de desechos también aportan cantidades significativas de sustancias que agotan el oxígeno (medido en términos de su demanda bioquímica de oxígeno (DBO)). Los nutrientes de fuentes domésticas e industriales, fertilizantes químicos de la agricultura y estiércol de las operaciones pecuarias intensivas y de gran escala, afectan las aguas subterráneas, las aguas superficiales y sus sedimentos. Como resultado, el aumento de los niveles de nutrientes estimula la eutroficación y degradación del ecosistema acuático. La calidad del agua para los ocho países de la cuenca del Danubio se resume en el cuadro IX.2.

Los países de la cuenca media y baja del Danubio están experimentando una reestructuración y transformación importante de sus sistemas políticos, sociales, administrativos y económicos. Desde una perspectiva ambiental, algunos de los cambios más importantes se darán en el sector industrial, donde el énfasis casi exclusivo sobre la producción en el pasado dio lugar a una significativa contaminación y desperdicio de recursos. Algunos cambios

**Cuadro IX.2** Proporción de la red del río y las diferentes clases de calidad del agua en ocho países de la cuenca del Danubio (de acuerdo con sistemas nacionales de clasificación)

País	Clase de calidad del agua				
	I	II	III	IV	V
Austria <sup>1</sup>	23	71	6	0	
Bulgaria <sup>2</sup>	37	22	24	16	1
República Checa <sup>3</sup>					
Régimen de oxígeno	0	22	19	36	23
Indicadores básicos físicos y químicos	0	0	0	1	99
Parámetros biológicos y microbiológicos	4	26	66	4	0
Alemania <sup>4</sup>					
Baden Württemberg	17	75	7		
Bavaria	8	87	4		
Hungría <sup>5</sup>	31	54	15		
Rumania <sup>6</sup>	42	24	24	12	22
Eslovaquia					
Régimen de oxígeno	0	22	33	16	29
Indicadores básicos físicos y químicos	0	0	17	27	56
Componentes químicos	16	26	11	26	21
Parámetros biológicos y microbiológicos	0	0	13	18	69
Eslovenia <sup>7</sup>	0	50	32	12	6

A menos que se indique de otro modo, la clasificación de la calidad del agua se basa en cinco clases.

<sup>1</sup> Sistema I & I-II, II & II-III, III & III-IV, IV para 1992; Fuente: IUCN, 1994

<sup>2</sup> Fuente: IUCN, 1994

<sup>3</sup> Fuente: Haskoning, 1994

<sup>4</sup> Sistema I & I-II, II & II-III, III & III-IV, IV; Fuente: IUCN, 1994

<sup>5</sup> Sistema I, II, III, cifras de 1991; Fuente: IUCN, 1994

<sup>6</sup> Fuente: IUCN, 1994

<sup>7</sup> Sistema I & I-II, II & II-III, III & III-IV, IV solo para la cuenca del Drava; Fuente: Haskoning, 1994

institucionales, tales como la descentralización de la responsabilidad del manejo y finanzas del abastecimiento de agua y aguas residuales a autoridades locales están creando oportunidades para crear mejoras substanciales en los servicios de agua y beneficios ambientales.

### IX.3 El Programa Ambiental para la Cuenca del Río Danubio

Reconociendo el creciente carácter regional y transfronterizo del manejo de recursos hídricos y los problemas ambientales relacionados, los países del Danubio (y los miembros interesados de la comunidad internacional) se reunieron en Sofía en septiembre de 1991 para considerar una iniciativa regional

a fin de apoyar y mejorar las actividades nacionales para el manejo de la cuenca del Danubio. Asimismo, los países acordaron desarrollar e implementar un programa de acciones prioritarias y estudios en previsión del eventual acuerdo de una nueva convención que proporcionaría un mecanismo efectivo para la cooperación regional. Los países también acordaron formar un Grupo de Trabajo para supervisar este programa y la Comisión de las Comunidades Europeas (CCE) acordó apoyar y coordinar el Grupo de Trabajo.

La comunidad internacional acordó ayudar a los países participantes a elaborar un programa de tres años de actividades de preinversión, recopilación de datos y estudios a fin de apoyar el desarrollo de un plan estratégico de acción. El Programa Ambiental para la Cuenca del Río Danubio (PACRD) incluye revisiones nacionales, estudios de fuentes puntuales y no puntuales de contaminación y recursos biológicos en toda la cuenca, fortalecimiento institucional y actividades para crear capacidad, y estudios de preinversión en cuencas seleccionadas de tributarios del río. Muchas actividades están en marcha, tales como el desarrollo de sistemas internacionales de monitoreo, recopilación y evaluación de datos, y sistemas de respuesta ante emergencias. El Banco Europeo para la Reconstrucción y Fomento (BERF), CEC-PHARE, los miembros de la Global Environmental Facility (GEF) (incluidos el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)), el Banco Mundial, varios donantes bilaterales (incluidos los gobiernos de Austria, Países Bajos y Estados Unidos) y la fundación privada Barbara Gauntlett proporcionan el financiamiento internacional para estas actividades.

Además, para asegurar la base legal de protección de los recursos hídricos, los países de la cuenca del río Danubio y la Unión Europea (UE) firmaron la *Convención sobre la Cooperación para la Protección y Uso Sostenible del Río Danubio* (La Convención de Protección del Río Danubio) el 29 de junio de 1994 en Sofía. La Convención tiene como finalidad lograr el manejo sostenible y equitativo del agua. Paralelamente, el desarrollo del plan estratégico de acción ha sido una tarea principal del programa ambiental para la cuenca del río Danubio. El plan de acción contribuye significativamente a los esfuerzos para mejorar el manejo del agua y el ambiente en la cuenca del Danubio, tal como se define en la Convención y apoya la implementación del Programa de Acción Ambiental para Europa Central y Oriental.

#### **IX.4 El plan estratégico de acción**

El plan de acción proporciona orientación y un marco para alcanzar las metas del manejo regional integral del agua y del ambiente ribereño para el período

1995-2005. También procura proporcionar un marco que favorezca la transición del manejo central a una estrategia descentralizada y equilibrada de reglamentación e incentivos basados en el mercado. El plan de acción elabora estrategias para superar los problemas ambientales relacionados con el agua en la cuenca del río Danubio. Establece objetivos de corto, mediano y largo plazo y define una serie de acciones para cumplirlos.

A pesar de la diversidad de problemas, intereses y prioridades que existen en la cuenca del río Danubio, los países comparten valores importantes y se han puesto de acuerdo en los principios en los que se basan las metas y acciones del plan. Están incluidos el principio de precaución, uso de las mejores técnicas disponibles (MTD), la mejor práctica ambiental (MPA) para el control de la contaminación, el control de la contaminación en la fuente, el principio el que contamina paga; y han establecido un compromiso de cooperación regional y de información compartida entre quienes implementan el plan de acción.

El plan de acción tiene cuatro metas de igual importancia:

- Reducir las repercusiones negativas de las actividades en la cuenca del río Danubio, en los ecosistemas ribereños y el mar Negro.
- Mantener y mejorar la disponibilidad y calidad del agua en la cuenca del río Danubio.
- Establecer el control de riesgos por derrames accidentales.
- Desarrollar la cooperación regional para el manejo del agua.

Los enfoques que se tomarán plantean una serie de orientaciones estratégicas que cubren sectores y políticas claves, incluidas la ampliación del alcantarillado y la capacidad municipal para el tratamiento de aguas residuales en etapas; minimización de descargas industriales; reducción de emisiones de la agricultura; conservación, restauración y manejo de zonas pantanosas y planicies inundadas de los tributarios y del principal curso de la cuenca del río Danubio; manejo integral del agua; políticas ambientales adecuadas; control de riesgos contra accidentes; e inversiones.

### **IX.5 Problemas y prioridades**

En la cuenca se identificaron cinco problemas prioritarios que afectan la calidad y uso del agua y de los ecosistemas. Estos fueron:

- La contaminación microbiológica.
- La contaminación por sustancias que incentivan el crecimiento de organismos heterotróficos y sustancias que agotan el oxígeno.
- Las altas cargas de nutrientes y eutroficación.
- La contaminación por sustancias peligrosas, incluido el petróleo.
- La competencia por el agua disponible.

**Cuadro IX.3** Relaciones entre los problemas claves del manejo del agua y sus principales usos en la cuenca del Danubio

Problema	Abastecimiento de agua potable	Pesquería	Industria	Irrigación	Recreación
Carga de nutrientes y eutroficación. Factor: nitrógeno y fósforo. Fuentes: aguas residuales municipales, industria y agricultura	Incremento del costo de tratamiento; problemas de aceptación por parte del consumidor; contaminación de aguas subterráneas por nitrato	Pérdida de especies sensibles	Incremento del costo de tratamiento y reducción en algunos usos, por ejemplo, para enfriamiento.		Degradación de la calidad ambiental y pérdida de oportunidades y beneficios
Sustancias peligrosas, incluido el petróleo. Fuentes: industria, agricultura, transporte.	La presencia de estos contaminantes en concentraciones significativas afectarían seriamente el agua potable, la pesca y los ecosistemas ribereños. Sin embargo, los datos y sistemas de monitoreo son inadecuados para establecer las concentraciones actuales en la mayor parte de la cuenca y determinar la prioridad general a fin de manejar estos contaminantes. En el nivel local, pueden existir serios problemas en algunos tributarios. Los metales y algunos microcontaminantes que son absorbidos por partículas finas pueden almacenarse en los sedimentos atrapados por las numerosas estructuras hidráulicas de la cuenca del Danubio.				
Contaminación microbiológica. Factor: bacteria, virus, etc. Fuentes: aguas residuales municipales, ganado, falta de saneamiento adecuado.	Producen aguas superficiales y subterráneas inadecuadas para el abastecimiento o aumenta el costo del tratamiento.		Aumento del costo de tratamiento en algunos tipos de procesos, particularmente en el procesamiento de alimentos.	Agua inadecuada para ciertos cultivos	Pérdida de oportunidades, incluida la eliminación de algunos usos, tales como la natación y otras actividades que implican contacto con el agua.
Crecimiento de organismos heterotróficos y reducción de oxígeno. Factor: Materia orgánica, amoníaco. Fuentes: aguas residuales municipales, industria, ganadería.	Aguas superficiales inadecuadas para el abastecimiento de agua; infiltración reducida de aguas subterráneas y baja calidad del agua.	Pérdida severa de hábitat cuando las concentraciones de O <sub>2</sub> caen por debajo del mínimo requerido; muerte de peces debido a concentraciones tóxicas de amoníaco.	Aumento del costo del tratamiento de agua.	El equipo moderno de irrigación puede colmatarse.	Pérdida de oportunidades y beneficios económicos.
Competencia por el agua disponible. Factor: planificación del agua, asignación y operación. Fuentes: autoridades sectoriales	Servicio reducido o intermitente	Pérdida de hábitats; interrupción de los patrones de migración y desove.	Servicio reducido o intermitente.	Reducción del abastecimiento de agua durante el período crítico de crecimiento de los cultivos.	Pérdida de oportunidades y beneficios económicos.

Fuente: Plan de Acción Estratégica para la Cuenca del Río Danubio, 1994



El cuadro IX.3 indica la relación entre estos cinco problemas de manejo del agua en la cuenca del río Danubio y los usos primarios del agua, es decir, para agua potable, pesca, industria, irrigación y recreación.

La contaminación microbiológica es probablemente el problema más importante de calidad del agua relacionado con la salud en la región. La conclusión generalizada, basada en los datos disponibles, es que el Danubio y sus tributarios se contaminan en gran medida por bacterias fecales y virus. Se recomienda que el agua del Danubio no se use como fuente de agua potable sin tratamiento, como filtración de arena, y se desalienta el bañarse en el río. Se cree que las estadísticas sanitarias actuales registran solo un número limitado de la incidencia real de enfermedades de origen hídrico. Algunas fuentes indican que hay varias epidemias cada año y que miles de personas en la cuenca sufren cada año de enfermedades transmitidas por el agua, incluida la disentería, hepatitis A, rotavirus y cólera.

La contaminación microbiológica es usualmente un problema local porque la mayoría de los agentes patógenos tienen un tiempo corto de sobrevivencia en el agua. Sin embargo, se han reportado situaciones con repercusiones regionales o transfronterizas como en el río Koros que fluye entre Rumania y Hungría.

Las sustancias peligrosas y tóxicas son de especial interés, en particular los plaguicidas, otros microcontaminantes orgánicos como BPC y los hidrocarburos poliaromáticos (HPA) y metales pesados. Hay una seria preocupación por los contaminantes acumulados en los sedimentos de reservorios y aguas abajo de las áreas industriales. Una encuesta de 1991 en 55 sitios, a lo largo del río Danubio, reveló que 23 de estos sitios se deben considerar como desechos peligrosos. Las fuentes principales de tal contaminación son la industria y la minería.

Las actividades de transporte parecen ser importantes fuentes de contaminación por petróleo y es la principal fuente de plomo para el Danubio y sus tributarios. El transporte del petróleo en tuberías también ha creado continuos derrames accidentales en los ríos de la cuenca. El más reciente ocurrió cuando un oleoducto en Ucrania contaminó el río Tisa y amenazó el abastecimiento de agua en Ucrania y Hungría.

Las descargas dispersas de la agricultura son fuentes importantes de microcontaminantes. En la cuenca se usan cerca de 300 a 500 agentes activos diferentes de pesticidas.

También existen graves preocupaciones por la salud debido a los altos niveles de nitrógeno encontrados en el agua potable y que pueden ocasionar metahemoglobinemia. Se han reportado altos niveles de nitrato en aguas

subterráneas provenientes de acuíferos en varias partes de la cuenca, en particular, en las áreas intensivamente cultivadas de Hungría, Rumania y Eslovaquia. En años recientes, el nivel de nitrato en el Danubio ha aumentado cuatro a cinco veces. Si se permite que esto continúe, la región afrontará un grave problema de salud.

Los materiales orgánicos descargados en una masa de agua aumentan el crecimiento de organismos heterotróficos que consumen el oxígeno disuelto disponible. Esto puede originar cambios en la biodiversidad natural, como se ha observado en algunos tributarios del Danubio; por ejemplo, en el río Vit en Bulgaria no pueden vivir los peces aguas abajo de la ciudad de Plevén, debido principalmente a las descargas de una fábrica de azúcar.

La competencia por el agua disponible es un grave problema en algunas regiones de la cuenca del Danubio, en particular en Hungría y los tributarios de Rumania y Bulgaria. Las numerosas desviaciones del agua, combinadas con una gran variación estacional en el flujo, a menudo producen escasez en el abastecimiento de agua. Se han construido numerosos reservorios en los tributarios, pero la asignación de los recursos hídricos disponibles entre los usuarios causa muchos conflictos y problemas en la operación de los reservorios. Los retos y problemas de la asignación del agua para múltiples usos han aumentado en los años recientes debido a una sequía de 10 años que sufrió la región baja del Danubio. Actualmente, la ciudad de Sofía se abastece del fondo de un reservorio casi vacío y sufre una grave escasez de agua. Además, la calidad del agua no cumple con las normas, pero no hay otra opción disponible.

Las prácticas y políticas de los diferentes sectores pueden causar problemas ambientales o limitar la acción eficaz. Algunos de los problemas de contaminación y disponibilidad del agua son resultado de actividades urbanas y rurales, de la industria, producción de energía, transporte y agricultura.

En todos los sectores, las acciones claves requeridas para producir un cambio deben provenir de las autoridades públicas, empresas públicas y privadas, ONG y público general (ciudadanos y consumidores). Las relaciones entre estos actores y los principales sectores y fuentes de contaminación en la cuenca del río Danubio se señalan en el cuadro IX.4.

## **IX.6 Orientaciones estratégicas**

El plan de acción proporciona estrategias de largo plazo y orientaciones para desarrollar medidas y programas detallados en cada sector, así como para el manejo de la infraestructura e instituciones. El impacto del plan será progresivo y su éxito se medirá en mejoras graduales.

**Cuadro IX.4** Acciones requeridas por los tres grupos involucrados en el uso y control de recursos hídricos de acuerdo con los sectores y fuentes principales de contaminación de la cuenca del río Danubio

Actores	Acciones requeridas en			
	Ciudades	Pueblos y aldeas rurales	Industria	Agricultura y ganadería
Autoridades públicas	Invertir en infraestructura. Establecer estándares de servicio de agua potable. Asegurar tarifas adecuadas. Optimizar la distribución del agua.	Manejar programas de protección de saneamiento y agua potable. Optimizar la distribución del agua.	Reglamentar los residuos peligrosos. Reglamentar las descargas de aguas residuales. Aplicar tarifas efectivas de agua y contaminación. Optimizar la distribución del agua.	Administrar programas de extensión y capacitación. Aplicar tarifas efectivas de agua. Optimizar la distribución del agua.
Empresas públicas y privadas	Operar plantas de tratamiento de aguas residuales. Pre-tratar los residuos industriales.	Controlar la filtración de la disposición de residuos sólidos en aguas subterráneas. Disponer los residuos peligrosos de manera segura.	Pre-tratar los residuos industriales. Reducir y tratar los residuos industriales.	Adoptar prácticas importadas para el uso de fertilizantes y agroquímicos. Manejar el estiércol de ganado.
Público en general y ONG	Pagar por el servicio. Conservar el agua. Adoptar estándares ambientales de consumo. Manejar residuos peligrosos domiciliarios. Apoyar los reglamentos efectivos.	Pagar para proteger las fuentes de agua potable. Adoptar estándares ambientales de consumo. Manejar residuos domiciliarios y de granjas. Apoyar los reglamentos efectivos.	Apoyar los objetivos de la calidad del agua. Apoyar los reglamentos efectivos.	Apoyar los objetivos de la calidad del agua. Manejar el estiércol de ganado. Promover el cultivo orgánico. Apoyar los reglamentos efectivos.

Fuente: Plan de acción estratégico para la cuenca del río Danubio, 1994.

Las metas del plan se lograrán a través de la acción sostenida e integrada a largo plazo. Aunque los países en transición han sufrido disminución de su producción industrial y cambios en el sector agrícola, lo que ha reducido las emisiones y escorrentía de nutrientes, el mejoramiento resultante en la calidad del agua y el ambiente puede tener un corto período de vida una vez que surja nuevamente la actividad económica en los países. A menos que haya un esfuerzo concertado para promover la modernización y reestructuración del sector industrial, basado en procesos de producción con tecnologías más limpias y un cambio de política hacia una agricultura más sostenible, el reciente mejoramiento en la cuenca media y baja del Danubio tendrá poca duración. El progreso en áreas como el tratamiento de aguas residuales municipales y control de emisiones industriales aparentemente ha sido mucho mayor en Austria y Alemania. Sin embargo, la calidad del Danubio y varios de sus tributarios en la cuenca superior indica que se debe hacer mucho más para lograr objetivos razonables de calidad del agua.

Un sistema eficaz de manejo del agua requiere una estrategia eficiente de monitoreo. Casi todos los países de la cuenca necesitan mejorar sus sistemas de monitoreo. Entretanto, los países han acordado armonizar los métodos de monitoreo y evaluación para desarrollar sistemas conjuntos de monitoreo, poner en práctica programas conjuntos y elaborar una base de datos interconectada del sistema de manejo del agua. El sistema internacional de monitoreo, desarrollado e iniciado en 1993 por el PACRD cuenta con 224 estaciones para el monitoreo meteorológico, hidrológico y de la calidad del agua y sedimentos. Lo aprendido durante la implementación del PACRD y el desarrollo del plan estratégico de acción muestran que los temas institucionales y políticos son fundamentales para su éxito. Hay tres participantes importantes en el proceso: las autoridades públicas, las empresas públicas y privadas; y el público general y las ONG. Las autoridades públicas tienen que desempeñar la crítica función de ser reguladores y facilitadores. La mayor contribución a su éxito puede provenir de un adecuado marco institucional y político, con leyes modernas, prácticas de manejo del agua y acuerdos administrativos. El marco político varía considerablemente en toda la cuenca. Las siguientes cinco áreas claves indican dónde la reforma institucional y política podría tener amplias repercusiones beneficiosas sobre el manejo del agua en la cuenca:

- Límites de emisión y normas de calidad del agua realistas y alcanzables. En las áreas de la cuenca de Europa central y oriental, las normas de calidad del agua en las que se basan los límites de descarga son, en algunos casos, demasiado estrictos para ser medidos o cumplidos. No obstante, son relativamente correctos desde un punto de vista científico. El resultado es

que a menudo estas normas se ignoran debido a las dificultades técnicas y financieras. El desarrollo de un sistema coherente de clasificación del agua, de objetivos de la calidad del agua adaptados a las necesidades locales, por ejemplo, los usos del agua y las normas de calidad del agua para una sección específica del río, proporcionarían una mejor base para el manejo y reglamentación del agua.

- **Implementación y ejecución de la ley.** La elección del enfoque para implementar los objetivos y normas de calidad del agua a menudo se representa como la elección entre el enfoque de “dominio y control” y el enfoque “basado en el mercado”. En el pasado, lo anterior ha dependido en gran medida de los países occidentales de la cuenca. Un enfoque combinado de normas de calidad del agua, límites de descargas para industrias individuales e instrumentos financieros puede ser eficaz para producir la mejora en el desempeño ambiental de una empresa industrial.
- **Incentivos y elementos disuasivos.** Casi todos los países de la cuenca tienen alguna forma de cobro o multas por las emisiones. El uso del agua y los cobros por contaminación pueden usarse como incentivos para que las plantas medianas o grandes de tratamiento de aguas residuales industriales y municipales mejoren su desempeño. Generalmente, estos cobros o multas han sido demasiado bajos como para causar un cambio en el comportamiento de las empresas.
- **Sistemas de información y monitoreo.** Se necesita información para elaborar planes integrales de manejo del agua, evaluar la calidad del agua, monitorear las descargas de aguas residuales, implementar y hacer cumplir las leyes y reglamentos e informar al público y encargados de tomar decisiones acerca del estado del ambiente y el desempeño de establecimientos específicos. La preparación del plan de acción se ha debilitado particularmente en las áreas claves debido a la falta de datos apropiados, consistentes y confiables. No existe una referencia adecuada contra la cual se pueda medir el progreso hacia los objetivos del plan de acción. Los sistemas actuales de monitoreo en casi todos los países de la cuenca no son capaces de apoyar de manera más eficaz los sistemas de manejo integral.
- **Planificación regional integrada o de cuenca del río.** La planificación central y la asignación de recursos eran una característica importante del manejo del agua y del ambiente en la mayoría de los países de Europa central y oriental. Esto ha sido reemplazado por un enfoque descentralizado sin el beneficio de contar con tiempo suficiente para desarrollar y fortalecer las instituciones en el nivel distrital y local a fin de que puedan realizar tal planificación. Sin embargo, esto no es solo un problema de crear capacidad

local porque la naturaleza misma de la planificación debe cambiar. El nuevo enfoque debe enfatizar la integración de todos los sectores y sus objetivos. Se debe basar en la aplicación del análisis de costo-beneficio o de menor costo y debe depender de una participación mucho mayor del público general y grupos interesados.

Las empresas públicas y privadas desempeñan una función importante en algunos de los problemas del manejo de los recursos hídricos. Las auditorías ambientales, minimización de residuos y manejo de la demanda pueden proporcionar la base para preparar programas graduales de bajo costo que mejoren los efectos ambientales de las instalaciones industriales. La minimización de residuos podría reforzarse con un programa de mejoramiento ambiental que incluya capacitación, cambios en la tecnología para evitar la generación de desechos y soluciones exitosas para reusar los desechos. El manejo de la demanda reducirá considerablemente el consumo de agua y permitirá el aumento de la eficiencia del uso de agua.

El público general y las ONG desempeñarán una función importante al aumentar la conciencia y participación del público en decisiones gubernamentales sobre el manejo de recursos y uso del suelo. Estos son vitales para mantener el compromiso político con respecto a las políticas adecuadas de agua. Una fuerte base de apoyo para el plan de acción dependerá del desarrollo de mecanismos para la participación eficaz del público en general y de grupos interesados en las políticas y las acciones que se realizarán en el plan de acción.

### **IX.7 Conclusiones**

Se requieren cuatro actividades claves para apoyar la acción propuesta en esta gran cuenca internacional que abarca países con diferentes condiciones económicas, políticas y sociales. Estas actividades apuntan hacia el manejo de los recursos hídricos y consisten en:

- El aumento de la cooperación regional e internacional.
- La aplicación de un enfoque integral de la cuenca del río.
- La movilización de recursos nacionales financieros y humanos.
- La obtención de apoyo de las organizaciones internacionales e instituciones financieras.

El proceso de manejo será complejo debido a la necesidad de integrar la formación de la capacidad, al mismo tiempo que se mejoran las operaciones, se capacita a los operadores y se obtiene e instala equipo nuevo. Además, la acción deberá continuar al menos durante 20 años.

El costo del programa tiene probabilidades de ser muy elevado. Este hecho por sí solo constituye un desafío para los políticos con poder de decisión para establecer las prioridades en cada país. Todavía falta mucho por hacer y el programa ha dado el impulso requerido para un buen comienzo. Se espera que los planes nacionales de acción faciliten la instalación de nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales y el desarrollo de políticas, leyes y mecanismos para hacer cumplir las leyes, así como la atención a la contaminación de fuentes dispersas para proteger el mar Negro, lo cual requiere suma urgencia.

### **IX.8 Referencias**

- Task Force 1994 *Strategic Action Plan for the Danube River Basin*, diciembre, 1994. The Task Force for the Programme.
- IUCN 1994 *Analysis and Synthesis of National Reviews*. IUCN Programa Europeo. Final report. The World Conservation Union, Gland.
- Haskoning 1994 *Danube Integrated Environmental Study*. Final report.





## **Estudio de caso X\***

### **REGIÓN DE MOSCÚ, RUSIA**

#### **X.1 Introducción**

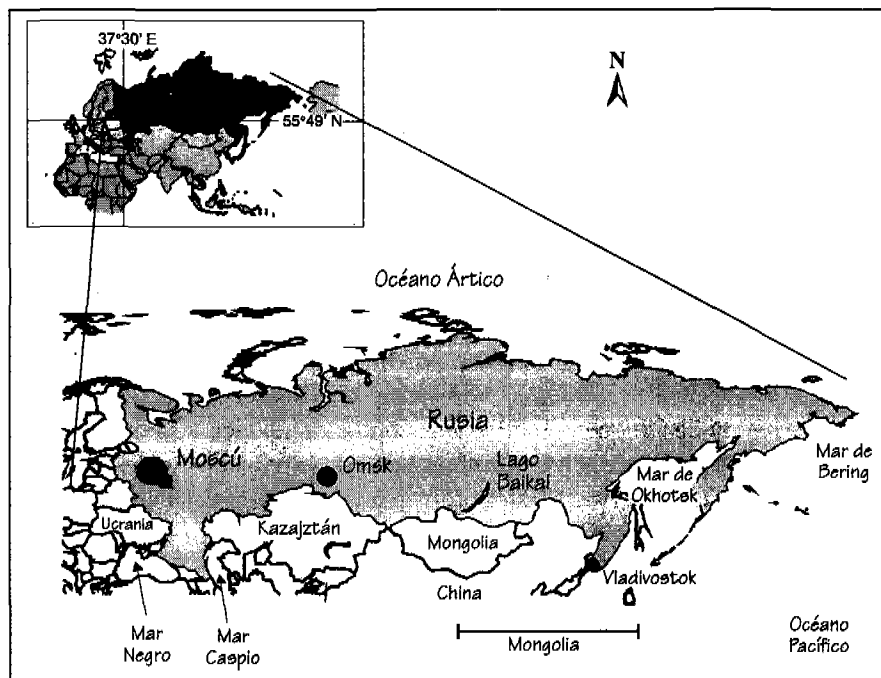
El informe estatal sobre el “Agua potable” de la Federación Rusa publicada en 1994 destacó, entre otras cosas, el continuo deterioro de la calidad del agua y fiabilidad del abastecimiento de agua potable de la región de Moscú (State Report, 1994). Casi todos los estudios emprendidos en la región en años recientes han indicado que la inadecuada condición técnica y sanitaria de las fuentes de agua podría poner en riesgo la salud de la población en esta vasta e importante área (Anon, 1992). Estos problemas potenciales del abastecimiento de agua potable en la región de Moscú son de gran interés para el Gobierno de la Federación Rusa, autoridades de la ciudad de Moscú, el estado de Moscú, Smolensk y Tver, medios de comunicación y organismos no gubernamentales (ONG). Sin embargo, se reconoció que la política y estrategia para mejorar el abastecimiento de agua de la región debe basarse en un enfoque amplio y ambientalmente adecuado.

La Conferencia Ministerial sobre Agua Potable y Saneamiento Ambiental para la “Implementación del Programa 21 de la CNUMAD” (celebrada en Noordwijk, Países Bajos, marzo de 1993) estableció principios orientadores para esquemas de abastecimiento de agua potable y proporcionó la base para la acción inmediata por parte de los gobiernos nacionales y organismos de apoyo (PNUD, 1994). Al formular el “Programa de Mejoramiento de la Calidad de las Fuentes de Abastecimiento de Agua Potable de Moscú”, que se completó en 1994, se realizaron algunos esfuerzos en la región de Moscú para aplicar tales principios a fin de lograr objetivos generales de calidad ambiental y desarrollo sostenible.

#### **X.2 Descripción de la región**

La región de Moscú (figura X.1) está ubicada en la parte occidental de la cuenca superior del río Volga y abarca las áreas de captación del río Volga con sus tributarios (desde la cabecera hasta la represa del reservorio Ivankovskoye) y

\* *Este estudio de caso fue preparado por V. A. Vladimirov*



**Figura X.1** Mapa de la región de Moscú

el río Moscú (desde la cabecera hasta la ciudad de Moscú). Administrativamente, el área comprende parte de los territorios de los estados de Moscú, Smolensk, Tver y la ciudad de Moscú y abarca cerca de 55.000 km<sup>2</sup>. La región tiene un clima continental moderado con una temperatura anual promedio de 3 a 4 °C y una precipitación anual promedio de 720 a 800 mm. La tasa de evaporación en el área es de 550-575 mm a<sup>-1</sup> y se estima que representa 70 a 80% de la precipitación total.

Geológicamente, el área de captación está compuesta de carbón mineral y lechos de piedra del pérmico y jurásico (piedras calizas, arenas y arcillas). Las capas superficiales son formaciones glaciales y holocénicas, es decir, margas de canto rodado y arenosas así como arenas y arcillas lacustres y fluvioglaciales. Los suelos son predominantemente de tipo soaico/podsólico y prevalecen las margas medianas y livianas de arena. En las depresiones del paisaje, se encuentran suelos pantanosos y de turbera. El paisaje está conformado principalmente por cerros de poca altura a 150-300 m sobre el nivel del mar. Las áreas de cerros pequeños (Valdai, Smolensk-Moscú) y cadenas de montañas (Gzhatsk-Mozhaisk, Klin-Dmitrov) están separadas por valles poco profundos

del río y planicies. La cubierta forestal en las cuencas varía de 66% del área en la cabecera del río Volga a 39% en el reservorio Ivankovskoye. El abedul nativo y los bosques de aspen son dominantes, pero los bosques de pinos cubren el área de convergencia de los ríos Volga, Tma y Tvertsa.

En las cuencas de los sistemas hídricos de Vazuzskaya y Moskvoretskaya hay 10 distritos administrativos, nueve ciudades y pueblos y 19 asentamientos. La población total es de 922.100 personas, incluidos 576.000 residentes urbanos y 346.100 rurales. En la cuenca del sistema hídrico Volzhskaya hay 17 distritos administrativos, 11 ciudades y pueblos y 22 asentamientos con una población total de 1.176.500 personas, de las cuales 885.900 son residentes urbanos y 290.600 son rurales. La densidad promedio de la población en esas cuencas es de 71 personas por km<sup>2</sup> pero en la zona rural es sólo de 27 personas por km<sup>2</sup>. En total, los sistemas hídricos de la región proporcionan agua potable a aproximadamente 14 millones de personas, incluidos los de la ciudad de Moscú.

La infraestructura económica de la región está bien desarrollada con diversos tipos de industria (metalurgia ferrosa y no ferrosa, maquinaria, electrónica, construcción, industria química y petroquímica, generación de energía, minería y textiles), agricultura (cultivos, ganado, procesamiento de productos agrícolas) y transporte (automotor, ferrocarriles, navegación interior, vías aéreas).

### **X.3 Sistemas hídricos**

El abastecimiento de agua potable de la ciudad de Moscú y alrededores se mantiene principalmente con agua superficial de los sistemas hídricos de Vazuzskaya, Moskvoretskaya y Volzhskaya, ubicados en los territorios de Smolensk, Moscú y Tver (figura X.2). Los sistemas hídricos comprenden ríos, lagos, reservorios, canales y construcciones hidráulicas. En el cuadro X.1 se enumeran los principales cuerpos de agua.

El sistema hídrico Vazuzskaya aumenta el abastecimiento de agua y permite el transvase al sistema hídrico de Moskvoretskaya y al río Volga. El sistema incorpora canales interrelacionados, plantas de bombeo y centrales hidroeléctricas. La provisión de agua confiable (95% de probabilidad durante el año) es de 19 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> para el sistema hídrico de Moskvoretskaya, 5 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> para el río Volga y 1 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> para el uso local. El sistema hídrico Moskvoretskaya comprende el río Moscú y sus tributarios con reservorios de almacenamiento y represas de desviación, y provee 51 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> de agua confiable (95% de probabilidad durante el año) y 46 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (97% de probabilidad durante el año). El sistema provee agua para Rublevskaya y plantas de agua en el lado occidental con una desviación total de 96,7 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>.

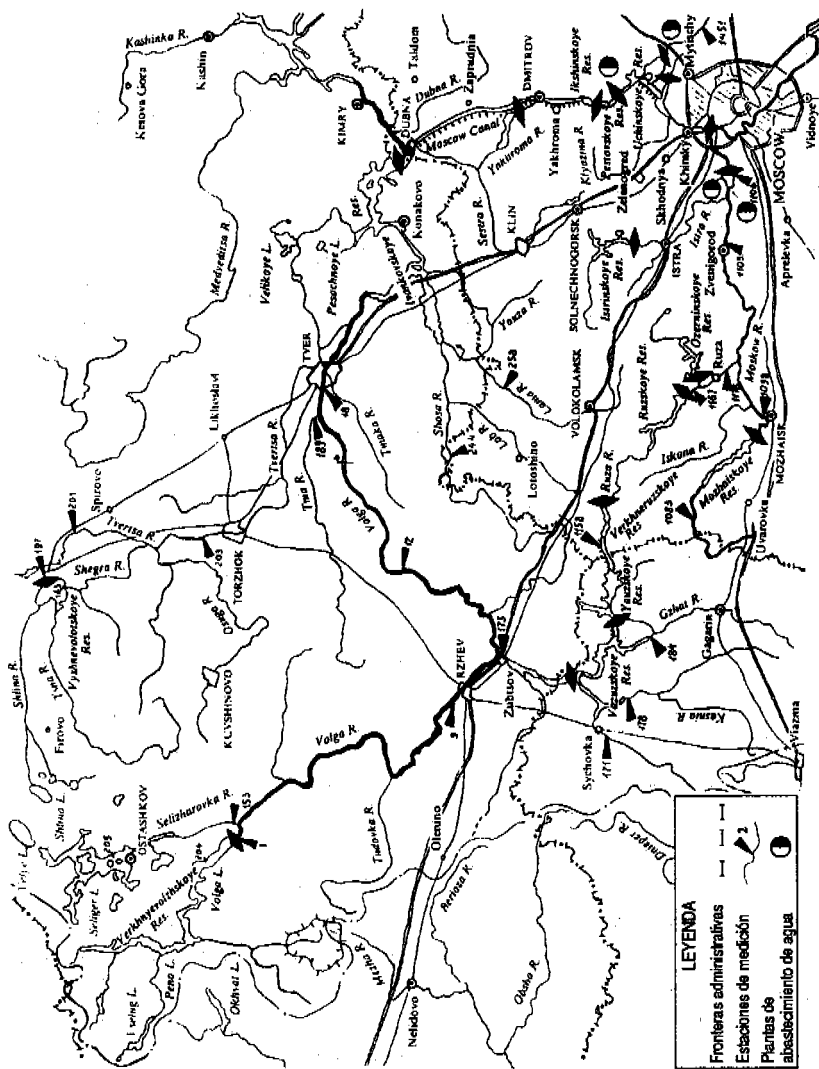


Figura X.2 Mapa de las cuencas de la región de Moscú que se usan para el abastecimiento de agua potable

**Cuadro X.1** Los principales cuerpos de agua de los sistemas hídricos de la región de Moscú

Sistema Vazuzskaya		Sistema Moskovoretskaya		Sistema Volzhskaya	
Cuerpo de agua	Ubicación (Estado, ciudad)	Cuerpo de agua	Ubicación (Estado, ciudad)	Cuerpo de agua	Ubicación (Estado, ciudad)
<i>Ríos</i>					
Vazuza	Estados de Smolensk/Tver	Ruza	Estado de Moscú	Volga	Estado de Tver
Osuga	Estado de Tver	Moscú	Estados Smolensk/Moscú	Donkhovka	Estados de Moscú/Tver
Kasnya	Estado de Smolensk	Lusyanka	Estado de Moscú	Doibitsa	Estado de Tver
Gzhat	Estado de Smolensk	Koloch	Estado de Moscú	Shosha	Estados de Tver/Moscú
Ruza	Estado de Smolensk	Ozerna	Estado de Moscú	Kotleviya	Estado de Tver
Yauza	Estado de Smolensk	Istra	Estado de Moscú	Lama	Estados de Moscú/Tver
				Iksha	Estado de Moscú
				Ucha	Estado de Moscú
				Klyazma	Estado de Moscú
				Tvertsa	Estado de Tver
				Shlina	Estado de Tver
<i>Lagos</i>					
				Dolgoye	Estado de Tver
				Vitbino	Estado de Tver
				Seliger	Estado de Tver
				Shilino	Estado de Tver
				Velikoye	Estado de Tver
				Pesochnoye	Estado de Tver
<i>Reservorios</i>					
Vazuzskoye	Estados de Smolensk/Tver	Ruzskoye	Estado de Moscú	Verkhnevolzhskoye	Estado de Tver
Yauzskoye	Estado de Smolensk	Mozhaiskoye	Estado de Moscú	Vyshnevolotskoye	Estado de Tver
Verkhneruzskoye	Estado de Moscú	Istrinskoye	Estado de Moscú	Irankovskoye	Estado de Tver
		Ozerninskoye	Estado de Moscú	Yakhromskoye	Estado de Moscú
				Pestovskoye	Estado de Moscú
				Ikshinskoye	Estado de Moscú
				Pyalovskoye	Estado de Moscú
				Klyazminskoye	Estado de Moscú
				Khimkinskoye	Estados de Moscú/Ciudad de Moscú
<i>Canales</i>					
Canal Yauza-Ruza	Estados de Smolensk/Moscú			Canal Moscú	Estados de Tver/Moscú
Canal Gzhat-Yauza	Estado de Smolensk				

El sistema hídrico del Volzhskaya incluye la cabecera del río Volga, lagos, reservorios y el Canal de Moscú con una serie de reservorios en tándem, plantas de bombeo, esclusas y otras estructuras. El sistema provee  $82 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  con 95% de probabilidad para el año y  $78 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  con 97% de probabilidad durante el año. La desviación total de los reservorios del Canal de Moscú hacia las plantas de abastecimiento de agua del norte y este es de  $36,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Las principales instalaciones del sistema hídrico fueron completadas en el período 1935-1967 y ahora requieren restauración técnica y remodelación.

Según el último inventario, en el área están ubicadas 92 plantas de *tratamiento de aguas residuales*, 17 de las cuales emplean tecnología mecánica, 4 físico/química y 71 biológica. A inicios de 1978, se construyeron plantas de tratamiento de aguas residuales biológicas en casi todas las ciudades y pueblos, pero su capacidad total combinada es sólo aproximadamente 75% de la requerida y la eficiencia del tratamiento no cumple con las normas existentes para fuentes de agua de la clase II (todas las fuentes de abastecimiento de agua potable están subdivididas en tres clases según su calidad). Las aguas residuales de la ciudad de Moscú son tratadas en las plantas de tratamiento biológico secundario de Kuryanovskaya y Luberetskaya y descargan efluentes tratados al río Moscú aguas abajo de la ciudad.

En el período de 1940 a 1984, el Consejo de Ministros de la Federación Rusa emitió numerosos dispositivos legales relacionados con los problemas de establecimiento de zonas de protección del agua y sanitaria, disminución de la contaminación por aguas residuales y mejora de las condiciones técnicas y sanitarias de los reservorios y sistemas de agua. Actualmente, las leyes de mayor aplicación para mejorar y mantener la calidad requerida del abastecimiento de agua potable son:

- Leyes existentes de la Federación Rusa, por ejemplo, “Para la protección del ambiente natural”, “Para el bienestar sanitario y epidemiológico de la población”, “Para la protección de los derechos de los consumidores” y “Para la administración local”.
- Proyecto de leyes, por ejemplo, “Código de agua de la Federación Rusa”.
- El código de terrenos de la Federación Rusa.

La operación y mantenimiento de los sistemas Vazuzskaya y Moskvoretzkaya y plantas de abastecimiento de agua las ejecutan las oficinas operativas agrupadas en la empresa municipal moscovita “Mosvodokanal”. El Canal de Moscú lo opera “Rechflot”. El manejo general de los usuarios del agua y el cumplimiento de las leyes relacionadas con el uso del agua en el área es responsabilidad de la Oficina de Manejo del Agua de la Cuenca Oka Moscú que depende del Comité para el Manejo del Agua. Los comités estatales para

la protección del ambiente del Ministerio de Protección del Medio Ambiente y Recursos Naturales y las oficinas locales del Comité Estatal para el Estudio Sanitario y Epidemiológico son responsables de hacer cumplir los reglamentos y normas relacionados con las descargas de aguas residuales, calidad del agua y otros temas de salud ambiental y humana. Las redes de monitoreo de cantidad y calidad de agua son operadas por el Estudio Federal sobre Hidrometeorología y Monitoreo Ambiental y por Mosvodokanal.

#### X.4 Evaluación de recursos hídricos

La red fluvial del área está bien desarrollada con una densidad de 0,12-0,35 km<sup>-2</sup>. El agua de nieve es la principal fuente de flujo del río. El promedio anual de escarnecía es de 6,5-9,0 l s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>, con 40 a 60% del flujo en primavera y 10 a 20% del flujo en verano. La red hidrológica consta de estaciones que hacen las observaciones hidrométricas e hidroquímicas regulares. También se realizan estudios de calidad del agua con datos de vigilancia y seguimiento. La evaluación de las cuencas que abastecen a la ciudad de Moscú la llevan a cabo las subregiones de manejo mediante puntos de control seleccionados (figura X.3).

El total de los recursos hídricos asignados a la ciudad de Moscú y desviados de fuentes de aguas superficiales es de 124 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (con 97% de probabilidad para el año), incluida la conducción de 73 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> de agua al sistema Mosvodokana, 45 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> liberados en los ríos Moscú, Yauza, Klyazma y Ucha, 3 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> en el sistema Cherkizovskaya y 3 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> en pérdidas en el canal de Moscú. De la cantidad total de agua desviada al sistema Mosvodokanal, se usa 35,1 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (55%) para necesidades domésticas, 22,5 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (17%) para fines industriales y 4,5 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> para usos diversos. En la industria, el agua se usa para fines domésticos y para beber (5 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>) y para necesidades tecnológicas (9,7 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>).

Aparte de desviaciones de agua para las plantas de abastecimiento de agua de la ciudad de Moscú, 40 a 51% de los recursos disponibles en las cuencas se liberan para usos ecológicos, de electricidad, navegación y otros, 24 a 32% para transvase a otras regiones, 2% para el consumo y pérdidas de agua y 1 a 2,6% para llenar los reservorios.

Actualmente, la extracción total del agua subterránea (la cuenca artesiana de Moscú) es de 5 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. Con la intención de mejorar la confiabilidad del abastecimiento de agua potable de la ciudad de Moscú, se estudia la posibilidad de usar aguas subterráneas en los siguientes puntos de extracción: en el norte (Klin/Dmitrov/Dubna), en occidente (Ruza/Zvenigorod), en el sur (Oka) y en el oriente (Shatura). Se ha estimado que existe un potencial total de aguas





subterráneas de  $41,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Como un primer paso, se recomendó comenzar a usar las aguas subterráneas del sur y norte que poseen  $8,5$  y  $9,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , respectivamente.

Se evalúa la calidad del agua mediante datos de muestreo para un conjunto definido de indicadores físicos y biológicos de acuerdo con las normas de calidad del agua de la Federación Rusa. Sin embargo, se observa que las evaluaciones hechas por diferentes organismos e instituciones a veces varían debido a la falta de coordinación en el muestreo y a los métodos aplicados. Las conclusiones del estudio sanitario y epidemiológico determinaron que el agua del sistema Vazuza pertenecía a la clase II.

Los análisis de las tendencias de calidad del agua compilados para el sistema Moskvoretskaya indicaron que durante los 14 años previos a 1992, el promedio anual de las concentraciones de metales pesados aumentó de dos a cinco veces y el de nitrato cinco veces. Cuando se compararon con las concentraciones máximas admisibles (CMA) también se apreciaron los siguientes aumentos en la planta Rudlevskaya: fenoles (ocho a 12 veces la CMA), productos oleaginosos (dos a cinco veces la MAC) y contaminación microbiana severa (100.000 coliformes). La fuente de agua muestra intensa eutroficación con olor y color permanente, especialmente en la primavera, lo que la excluye inclusive de la clase III.

El agua del sistema Volzhskaya normalmente no excede las CMA, pero se han detectado concentraciones elevadas de metales y pesticidas orgánicos fosforados durante inundaciones y estaciones de cultivo. Una evaluación integrada ubica al sistema Volzhskaya en la clase II. Según los datos obtenidos del sistema por Mosvodocanal y el estudio sanitario y epidemiológico, hay un indicador integral de toxicidad de sustancias peligrosas para la clase I y II que excede las normas prescritas para todas las plantas de tratamiento de agua y suministro.

## **X.5 Fuentes de contaminación**

Serias repercusiones antropogénicas en los cuerpos de agua y cuencas de la región implican concentraciones cada vez mayores de contaminantes en las fuentes de abastecimiento de agua potable. Las fuentes puntuales de contaminación en las cuencas de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Moscú provienen principalmente de descargas de aguas residuales industriales, municipales y agrícolas. Según los datos estatales sobre usos del agua, en 1992 se descargaron  $1.917,3 \times 10^6 \text{ m}^3$  de efluentes en cuerpos de agua superficiales del área, incluidos  $147,5 \times 10^6 \text{ m}^3$  de aguas residuales no tratadas o inadecuadamente tratadas. Las fuentes dispersas de contaminación se deben principalmente a:

**Cuadro X.2** Cargas totales de contaminación para variables seleccionadas que afectan los sistemas de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Moscú en 1992

Variable	Carga total de contaminación (t a <sup>-1</sup> )
DBO <sub>total</sub>	1.440.000
Cloruros	105.031
Cromo	90
Grasa/petróleo	1.950
Sulfuro de hidrógeno	87
Hierro	900
Potasio	4.850
Nitrógeno, amonio	16.012
Nitrógeno, nitrato	1.657
Nitrógeno, nitrito	2.501
Productos oleaginosos	4.452
Fósforo total	6.012
Sulfatos	90.698
Sólidos en suspensión	330.015
Sustancias sintéticas surfactantes	331
Cinc, níquel, cadmio, cobre	291

- La precipitación contaminante que cae en las cuencas.
  - La lixiviación y erosión de suelos.
  - Las escorrentías que contienen fertilizantes, pesticidas y herbicidas.
  - Las escorrentías, por ejemplo, de la construcción, vertederos, de la minería, basurales, almacenamiento de fertilizantes, depósitos de productos tóxicos y fugas de petróleo y gasolina.
  - Los nutrientes provenientes de drenajes de granjas ganaderas y avícolas.
- En el cuadro X.2, se presentan cargas contaminantes de diverso origen que afectan las principales variables de la calidad del agua.

### X.6 Principales problemas

Los problemas que afectan la confiabilidad de la calidad del abastecimiento de agua potable de la ciudad de Moscú y el área circundante son:

- Falta de cumplimiento de la legislación y reglamentos inadecuados en relación con el agua, incluidos los instrumentos económicos.
- Débil infraestructura institucional y organizacional que no permite la operación eficaz de los sistemas hídricos en relación con los temas de salud ambiental y humana.

- Inadecuadas condiciones técnicas y sanitarias de los sistemas hídricos.
- Falta de control sobre las actividades humanas en zonas protegidas de agua, riberas y zonas sanitarias.
- Falta de modernas plantas de tratamiento de aguas residuales para las industrias, sistemas municipales de drenaje pluvial y otras áreas problemáticas.
- Operación inadecuada de granjas ganaderas y avícolas y plantas de procesamiento agrícola, lo que afecta el ambiente de la cuenca.
- Prácticas agrícolas con aplicación generalizada de fertilizantes minerales y productos tóxicos.
- Red ineficiente de monitoreo y evaluación de la cantidad y calidad de agua.

### **X.7 El programa**

En octubre de 1993, el Gobierno de la ciudad de Moscú, la Administración de los Estados de Moscú, Smolensk y Tver, el Ministerio de Protección Ambiental y de Recursos Naturales y el Comité de Manejo del Agua concluyeron el Acuerdo Conjunto sobre el Uso y Conservación de los Recursos Hídricos en las Cuencas de Abastecimiento de Agua Potable de la Ciudad de Moscú en los Territorios de los Estados de Moscú, Smolensk y Tver. La cláusula 5 del Convenio establece que “... *un documento de planificación de largo plazo será el ‘Programa Federal de Mejoramiento de Calidad del Agua en las Fuentes de Abastecimiento de Agua Potable de la Ciudad de Moscú’, basado en los programas regionales propuestos por los estados de Moscú, Smolensk, Tver y la ciudad de Moscú*”. También se inició el Programa de Mejoramiento de Calidad del Agua en las Fuentes de Abastecimiento de Agua Potable de la ciudad de Moscú en conformidad con el Plan de Acción Ambiental del Gobierno de la Federación Rusa para 1994 y 1995, aprobado por el Informe del Gobierno No. 496 del 18 de mayo de 1994.

El Programa de Mejoramiento de la Calidad del Agua en las Fuentes de Abastecimiento de Agua Potable de la ciudad de Moscú fue preparado en 1994 por el Comité para el Manejo del Agua, el Gobierno de la ciudad de Moscú y las administraciones de Moscú, Smolensk y Tver sobre una base de colaboración como un subprograma del programa federal Conservación y Uso Racional de los Recursos Hídricos de la Ciudad de Moscú y Mejoramiento de su Abastecimiento de Agua hasta el 2010. La Oficina de Manejo del Agua de la Cuenca Moscú-Oka del Comité sobre el Manejo de Agua de la Federación Rusa será responsable del manejo general del programa. El gerente general, conjuntamente con los gerentes regionales de la ciudad de Moscú, asumen la responsabilidad por la implementación y coordinación del programa bajo la

supervisión del Consejo Experto organizado de conformidad con las cláusulas 8 y 10 del convenio antes mencionado.

### **X.7.1 Objetivos del programa y alcance de las actividades**

Los objetivos principales del Programa comprenden el desarrollo de medidas eficaces para:

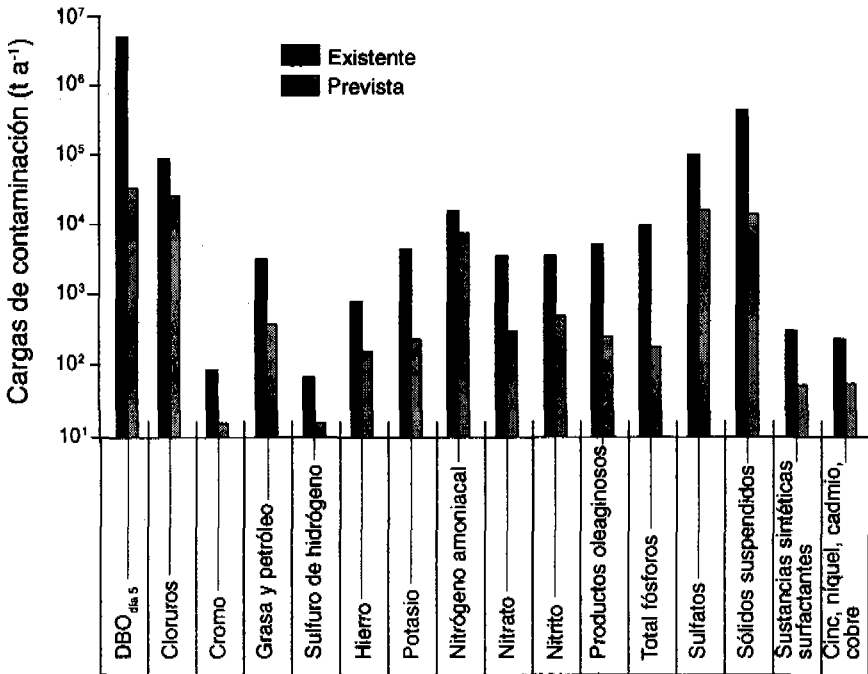
- Proteger las fuentes de agua potable contra la contaminación.
- Restablecer y manejar la calidad del agua con la intención de proveer agua potable segura a las poblaciones de los estados de Moscú, Smolensk y Tver.

Las actividades del programa se agrupan en las siguientes categorías:

- Medidas para proteger de la contaminación a las fuentes de agua potable de la ciudad de Moscú, mediante la planificación y establecimiento de zonas de protección del agua, incluida la reubicación y reconstrucción de las granjas ganaderas y avícolas, depósitos de fertilizantes minerales y productos tóxicos, y otras unidades agrícolas; la introducción de nuevas prácticas agrícolas para la aplicación racional de fertilizantes y pesticidas; y la construcción y rehabilitación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales.
- Medidas de protección del agua, como el cumplimiento de reglamentos por parte de las empresas en zonas protegidas del agua, riberas y zonas sanitarias.
- Control de la contaminación de las fuentes de agua potable debido a (a) aguas residuales industriales, agrícolas y municipales, y (b) alcantarillado pluvial de áreas urbanas y residenciales.
- Un sistema de monitoreo de calidad del agua: 10 sitios de monitoreo en el sistema Vazuzskaya, 19 en el Moskvoretskaya, 11 en el Volzhskaya, 10 estaciones adicionales de medición hidrométrica y un centro de calidad del agua.
- Un sistema automatizado para la conservación del agua: telemetría, redes de computadoras, bancos de datos, modelos de simulación y sistemas de apoyo para la toma de decisiones.

### **X.7.2 Implementación, costos y eficiencia esperada**

El costo total para implementar el programa se calculó en  $666,94 \times 10^9$  rublos (tasa de cambio de 1994), de los cuales  $375,25 \times 10^9$  rublos provenían del presupuesto federal y  $291,69 \times 10^9$  rublos de los presupuestos de los estados y municipalidad de Moscú. El resto provendría de empresas y fuentes no presupuestarias. En una evaluación de la eficiencia económica, el período de retorno de la inversión se calculó en cuatro años y medio.



**Figura X.4** Cargas de contaminación existentes y previstas luego de la implementación del Plan de Acción Inmediato en las cuencas de la Región de Moscú usadas para abastecimiento de agua potable

La implementación del programa se contempló para el período 1995-2000. Se incluyeron una serie de medidas prioritarias en un plan de acción inmediato que comprendía la reducción de cargas de contaminación provenientes de las plantas de aguas residuales municipales, plantas industriales y agrícolas y otras fuentes puntuales, y planificación de zonas protegidas del agua. El período de implementación para este plan era de 1995 a 1997.

Al evaluar la eficiencia de las actividades propuestas del programa se usaron dos escenarios de calidad del agua:

- Permanencia de las prácticas de uso del agua y de las tendencias de conservación tal como existen en la actualidad.
- Enfoque integrado para el manejo de la calidad del agua y cuencas.

Las proyecciones de calidad del agua compiladas para ambas opciones identificaron claramente que el segundo escenario podría proporcionar una base viable para el logro de los objetivos del programa en un plazo definitivo y reducción de la contaminación en 40 a 50%. Las cargas de contaminación existentes y previstas (meta) de todas las fuentes se ilustran en la figura X.4.

### **X.8 Cooperación Internacional**

Se está implementando el programa cooperativo Mejor Protección y Manejo del Agua Potable para la Región de Moscú conjuntamente con los Estados Unidos, bajo el auspicio de la Comisión Conjunta entre V. Chernomyrdin de la Federación Rusa y A. Gore de los Estados Unidos, establecida en diciembre de 1993. Este programa tiene dos proyectos piloto principales centrados en la protección y mejoramiento del abastecimiento de agua potable en la región de Moscú e incluye:

- El manejo de cuencas pequeñas del río, cuenca del río Moscú, distrito de Istra.
- Mejor cumplimiento de la legislación sobre aguas residuales, en los estados de Moscú, Tver y Smolensk.

El primer proyecto está orientado principalmente a la reducción de la contaminación por el uso de tierra agrícolas y rurales que están afectando las fuentes de agua potable del río Istra ubicado en el distrito de Istra, estado de Moscú. El proyecto introducirá y difundirá tecnología de bajo costo y prácticas de manejo para controlar fuentes de contaminación puntuales y dispersas, agrícolas y rurales, es decir, grandes granjas ganaderas y avícolas, escorrentías que contienen sedimentos de tierras cultivadas, pesticidas y fertilizantes y pequeños asentamientos e instalaciones recreativas construidos sin alcantarillado ni capacidad apropiada de tratamiento de desechos. El segundo proyecto se centra en el control de la contaminación de fuentes puntuales de ciertas instalaciones de las ciudades Dmitrov, Tver y Gagarin.

Los proyectos se financian a través de un convenio interinstitucional entre la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y se implementan desde Estados Unidos mediante las regiones EPA 5 y 7, la Universidad Estatal de Iowa, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, el Geological Survey de los Estados Unidos y la Agencia de Control de la Contaminación de Minnesota. Las contrapartes rusas incluyen el Ministerio de Protección Ambiental y Recursos Naturales, el Comité para el Manejo de Agua, el Estudio Federal para la Hidrometeorología y Monitoreo Ambiental, el Estudio Sanitario y Epidemiológico del Estado, el Ministerio de Agricultura y los Comités Regionales para el Manejo del Agua y Protección de la Naturaleza.

Las actividades principales del programa comenzaron en 1994 con acuerdos formulados para un período de tres años. De acuerdo con los objetivos del proyecto, en 1994 se firmó un Acuerdo de Cooperación entre la EPA, USAID y partes rusas involucradas en el manejo de cuencas pequeñas del río Istra. Para apoyar las actividades del programa, la EPA realizó algunos esfuerzos

adicionales a fin de proporcionar asistencia a los laboratorios de calidad del agua a través de la aplicación del Programa de Importación de Productos Básicos de la USAID, solicitado por el Ministerio de Protección Ambiental y Recursos Naturales de Rusia en agosto de 1994. La USEPA planifica la asistencia en el análisis microbiológico de agua potable.

Se ha puesto en marcha otras actividades relacionadas con la economía y política ambiental en la región de Moscú. El gobierno de los Estados Unidos está ayudando en la elaboración de políticas ambientales y de desarrollo sostenible en este período de transición del país hacia una economía de mercado. Los esfuerzos iniciales se centran en el establecimiento de prioridades ambientales basadas en:

- Incentivos económicos para las empresas privadas.
- El uso del análisis de eficiencia en función de los costos.
- Técnicas para la identificación de las opciones del más bajo costo unitario para reducir riesgos.

Posteriormente, se elaborarán y llevarán a cabo políticas y programas basados en este enfoque de establecimiento de prioridades. Entretanto, se deben realizar esfuerzos para lograr una mayor coordinación entre la asistencia técnica de los Estados Unidos y el Programa.

## X.9 Conclusión

El Programa de Mejoramiento de Calidad de las Fuentes de Abastecimiento de Agua Potable de la Ciudad de Moscú podría considerarse un esfuerzo de colaboración para crear un instrumento que integre el manejo ambiental y socioeconómico en una región importante de Rusia. El programa ha sido revisado por el Gobierno de la Federación Rusa y se encuentra en las primeras etapas de implementación.

## X.10 Referencias

- Anon. 1992 *Ekologicheskie Issledovaniya v Moskve i Moskovskoi Oblasti. Sostoyaniye vodoynkh sistem*. Otdelenie obshei biologii RAN, Institut vodnykh problem RAN, Tsentr Ekologicheskikh Proektov, MosvodokanaINIIproekt, (*Estudios Ecológicos en la Ciudad de Moscú y Estado de Moscú, Estado de los Sistemas de Agua*, Departamento de Biología General de RAS, Instituto de Problemas de Agua de RAS, Centro de Proyectos Ecológicos, MosvodocanaINIIproekt), Moscú.
- Informe del Estado 1994 *Voda pityevaya*, Ministerstvo okhrany okruzhayushei sredy i prirodnykh resursov Rossiiskoi Federatsii, Gosudarstvenny Komitet Sanitarno-Epidemiologicheskogo Nadzora Rossiiskoi Federatsii, Komitet

Rossiiskoi Federatsii po Vodnomu Khozyaistvu, Gosudarstvenny Komitet Rossiiskoi Federatsii po voprosam arkhitektury i stroitelstva, Komitet Rossiiskoi Federatsii po Geologii ispolzovaniyu nedr, Federalnaya sluzhba Rossii po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushei sredy (*Agua Potable*, Ministerio de Protección Ambiental y de Recursos Naturales de la Federación Rusa, Comité del Estado sobre el Estudio Sanitario y Epidemiológico de la Federación Rusa, Comité de la Federación Rusa para el Manejo de Agua, Comité del Estado de la Federación Rusa para la Arquitectura y Construcción, Comité de la Federación Rusa para la Geología y Uso de Recursos Subterráneo, Estudio Federal de Rusia sobre Hidrometeorología y Monitoreo Ambiental), Moscú.

PNUD 1994 *Water and Sanitation for All; A World Priority*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Nueva York.



## Estudio de caso XI\*

### CHIPRE

#### XI.1 Introducción

Chipre se encuentra ubicado en la parte nordeste del mar Mediterráneo, 33° al este de Greenwich y 35° al norte del Ecuador (figura XI.1) y es la tercera isla más grande del Mediterráneo con un área de 9.251 km<sup>2</sup>, de los cuales 1.733 km<sup>2</sup> están sembrados con árboles, 216.000 hectáreas se cultivan y 38.000 se riegan. La agricultura regada representa más de 50% del valor de la producción total de los cultivos.

En 1993, la población *de jure* de Chipre era de 722.000 con una tasa anual de crecimiento de 1,7%. El 46% de la población total es económicamente activa. El empleo en la agricultura está disminuyendo continuamente y en 1993 la proporción de la población que trabajaba en la agricultura se había reducido a 11,9%. El desempleo registrado en 1993 era de 2,6%. La esperanza de vida para los hombres es de 74,6 años y para las mujeres 79,1 (Departamento de Desarrollo de Estadísticas e Investigación, 1995).

El producto nacional bruto (PNB) per cápita en 1995 era de 6.107 libras chipriotas (US\$ 14.045) con una tasa de aumento de 5,6%. La figura XI.2 presenta la contribución de diferentes sectores a la producción total (Departamento de Desarrollo de Estadísticas e Investigación, 1995).

#### XI.2 Recursos hídricos

##### XI.2.1 Aguas superficiales

En Chipre, la disponibilidad del agua depende de la precipitación anual que varía de 340 mm en las planicies costeras a 1.000 mm en las montañas Troodos. La precipitación anual promedio en toda la isla es aproximadamente de 500 mm, equivalente a  $4.600 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Aproximadamente dos tercios de la precipitación se produce durante los meses de invierno, de diciembre a febrero. Se calcula que 80% de la precipitación se evapora en la atmósfera y del restante  $900 \times 10^6 \text{ m}^3$ , aproximadamente  $300 \times 10^6 \text{ m}^3$  enriquecen el acuífero y  $60 \times 10^6 \text{ m}^3$  se transforman en escorrentía superficial. Una parte de esta escorrentía se

\* Este estudio de caso fue preparado por I. Papadopolous

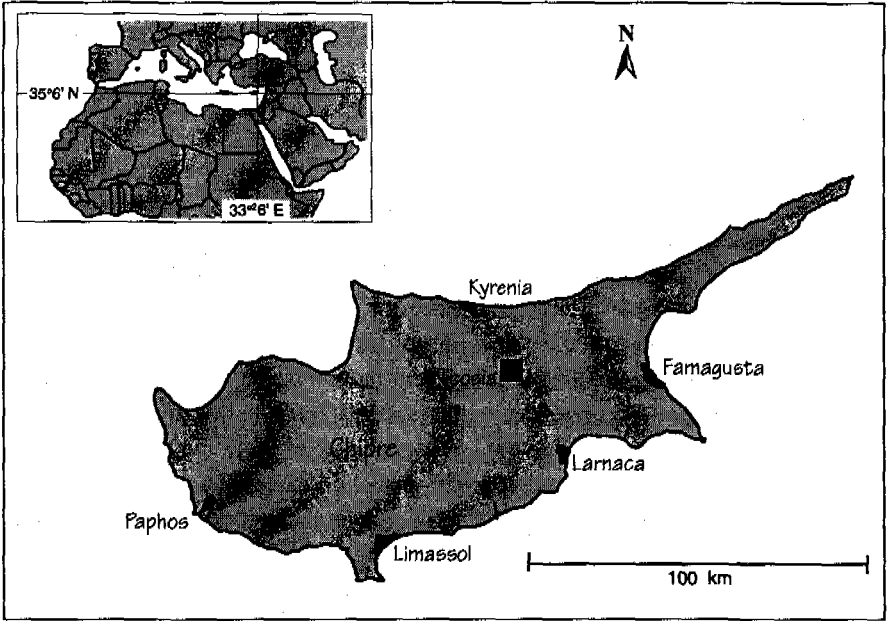


Figura XI.1 Mapa de ubicación de Chipre

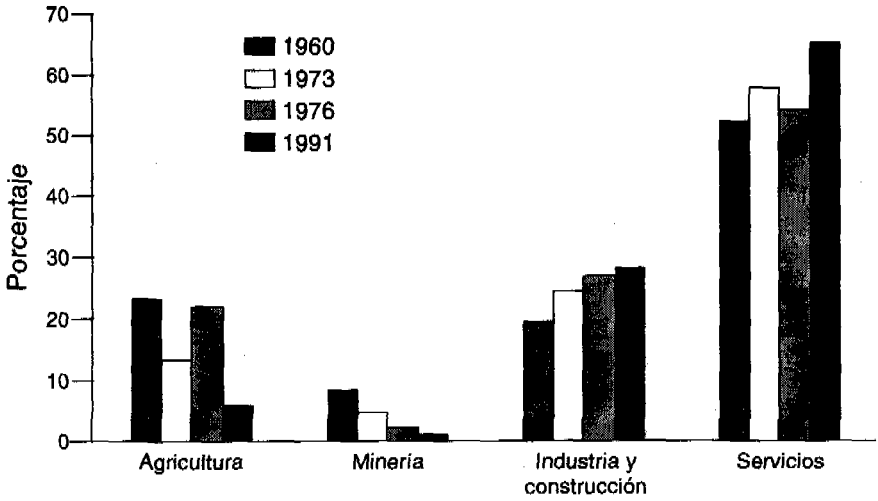
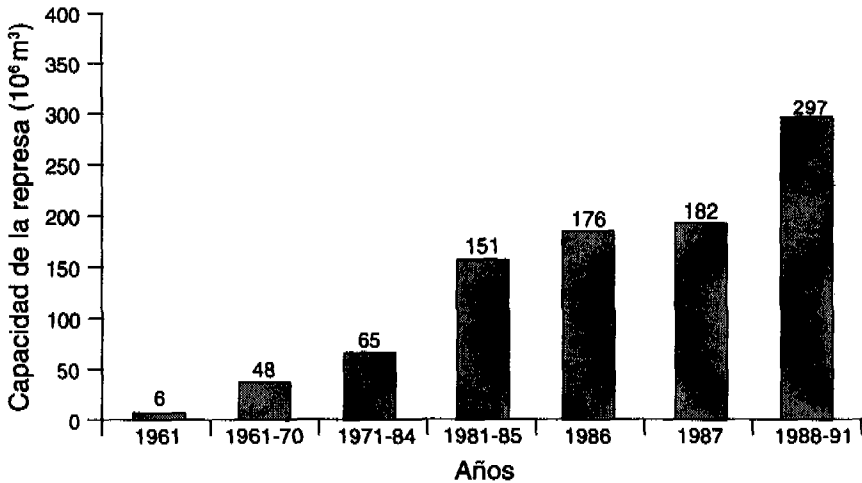


Figura XI.2 Contribución de diferentes sectores a la producción total de Chipre



**Figura XI.3** Aumento de la capacidad de las represas de Chipre entre 1961 y 1991 (Datos proporcionados por el Departamento de Desarrollo del Agua).

usa para el riego directo o se recolecta en represas y aproximadamente  $260 \times 10^6 \text{ m}^3$  va al mar (Departamento de Desarrollo del Agua). Se están realizando proyectos para desviar parte de esta escorrentía a las represas.

Las variaciones anuales de la precipitación y de las nevadas son muy grandes y conllevan a un déficit en el suministro de agua durante las precipitaciones bajas y a inundaciones durante las precipitaciones altas. Cuando la precipitación es de solo  $360 \text{ mm a}^{-1}$  o menos, se producen condiciones de sequía con mínima escorrentía y recarga de aguas subterráneas. Esto ocurre aproximadamente cada 16 años. Durante la temporada de sequía, el flujo del río se reduce drásticamente y afecta el abastecimiento disponible para fines domésticos e irrigación. En consecuencia, Chipre ha desarrollado un costoso programa de represas para  $297 \times 10^6 \text{ m}^3$  de agua (figura XI.3) que, en relación con el área unitaria de población, es uno de los más intensivos del mundo. La mayoría de las represas de almacenamiento forman parte del sistema de distribución del sur que conecta todos los recursos hídricos superficiales importantes del oeste al este de la isla de Chipre.

### **XI.2.2 Aguas subterráneas**

Las aguas subterráneas son una fuente muy importante para Chipre. El agua se infiltra directamente de la precipitación (no hay ninguna entrada del exterior de la isla) a los acuíferos confinados o no confinados y se puede extraer y usar

mediante el bombeo o algunas veces por gravedad en forma de manantiales. Recientemente, en el oeste de la ciudad de Limassol se identificó un acuífero (Akrotiri) apropiado para la recarga parcial con aguas residuales municipales tratadas de la ciudad. Se han tomado medidas preventivas legales y reglamentarias para proteger la calidad de las aguas subterráneas, el ambiente y la salud pública.

La conservación y uso de las aguas subterráneas se debe llevar a cabo paralelamente y de modo integrado con la conservación y uso de las aguas superficiales. Muchos acuíferos en Chipre han sido sobreexplotados y su producción ha disminuido; en muchos casos se ha deteriorado la calidad del agua y en las áreas costeras se ha producido intrusión salina.

Debido a su extenso período de almacenamiento, las aguas subterráneas son un recurso hídrico complementario ideal cuando hay poca precipitación y escorrentía y representan una reserva en casos de sequía. El Gobierno de Chipre ha adoptado esta política recientemente. Para nivelar la situación de Chipre con la de la Unión Europea (UE), se está terminando la formulación de reglamentos legales e institucionales para controlar las aguas subterráneas y su calidad.

Los principales acuíferos de Chipre son el Messaoria del oeste, el Messaoria del sudeste, Akrotiri y el área caliza de Kyrenia. Además, hay unos acuíferos costeros menores y algunos que dependen del río del valle. El agua que proviene de estos acuíferos se bombea a través de aproximadamente 10.000 pozos profundos y miles de pozos superficiales. La extracción total es aproximadamente de  $260 \times 10^6 \text{ m}^3$  que se usan para riego y fines domésticos e industriales. La producción sostenible de los acuíferos es aproximadamente  $370 \times 10^6 \text{ m}^3$ , con sobrebombeo en algunas áreas y en otras, pérdidas en el mar. El problema del sobrebombeo surgió debido a la falta de reglamentación para la perforación de pozos y extracción y en ciertas áreas, como Famagusta, Morphou, Limassol y Larnaca, la intrusión de agua salada se ha convertido en un grave problema. En algunas áreas, las aguas subterráneas salinas no son apropiadas ni siquiera para los cultivos más tolerantes a la sal. Muchos manantiales se han secado por el sobrebombeo.

### **XI.3 Medidas para conservar y recargar las aguas subterráneas**

En Chipre se han aplicado varias de las diferentes medidas que existen para conservar y recargar las aguas subterráneas pero algunas no han tenido éxito debido al manejo inadecuado.

### **XI.3.1 Medidas de conservación y de control**

Los acuíferos se pueden declarar como áreas de conservación en donde es requisito cumplir las siguientes modalidades legales para el manejo apropiado de los recursos:

- Reglamentación del bombeo e introducción de medidores de agua y sistemas eficaces de conducción y aplicación del agua.
- Cobro de tarifas por metro cúbico de agua de acuerdo con el tipo de cultivo y cantidad extraída.
- Reglamentación de la perforación de pozos, distancia entre éstos y su profundidad.
- Control de la calidad del agua del acuífero.

Para controlar la calidad del agua, la ley impone medidas de protección preventivas y prohíbe ciertas actividades (69/91). El marco de la ley determina cuáles son las sustancias o productos químicos considerados tóxicos o peligrosos, así como la contaminación por nitratos y otras fuentes (industriales y municipales). En el caso de áreas que recargan aguas subterráneas para el consumo humano, se proponen medidas de protección. Estas áreas sensibles se dividen en tres zonas en las que se imponen diferentes restricciones. El objetivo de la ley ha sido proteger las aguas subterráneas y se han logrado resultados positivos.

### **XI.3.2 Recarga de aguas subterráneas**

En Chipre, donde se dispone de condiciones favorables, la recarga de las aguas subterráneas con agua de los ríos se ha utilizado eficientemente para recargar acuíferos agotados. A raíz de esto, en Chipre se han llevado a cabo varios proyectos de recarga que incluyen:

- Represas de recarga, como la de Morphou, Famagusta y Kyrenia.
- Áreas de percolación aguas abajo de las represas de recarga, como en el valle de Serrachis en Morphou.
- Un canal de recarga aguas abajo de las represas de recarga y del lago en Paralimni.
- Una galería de infiltración como la que atraviesa el acuífero Famagusta.
- Recarga con aguas residuales municipales tratadas.

La recarga de aguas subterráneas con aguas residuales tratadas no usadas para el riego directo es un nuevo concepto en Chipre. Siguiendo el “enfoque de Chipre”, según el cual no se debe permitir que ninguna agua llegue al mar, se ha decidido que todas las aguas residuales tratadas adecuadamente se deben usar para el riego o para la recarga de aguas subterráneas. Además, también se ha reconocido que para proteger el ambiente marino de la contaminación y

principalmente de la eutroficación, no se debe descargar al mar las aguas residuales tratadas. El gobierno de Chipre ha dado especial importancia a esta recomendación, ya que la economía del país depende en gran medida del turismo.

Conforme con esta decisión, ningún efluente de la ciudad de Limassol se puede disponer en el mar. Una parte de las aguas residuales recuperadas que no se usan para el riego directo se destinan a la recarga del acuífero de Akrotiri, considerado el tercer acuífero más importante de Chipre. Posteriormente, esta agua se podría usar para el riego del área. Este concepto del uso de aguas residuales se aceptó y adoptó en Limassol en 1996. Según este proyecto, una parte del efluente tratado (aproximadamente  $20 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$  al finalizar el proyecto) se usará para el riego directo y otra parte será conducida al acuífero para recargar las cuencas de infiltración construidas.

El agua será extraída de los pozos ubicados debajo de la gradiente de las cuencas y transferida a los sistemas de distribución de riego. Las cuencas de recarga se pueden usar durante todo el año para obtener agua recuperada pero solo se debe recuperar mediante el bombeo, según lo requieran los cultivos. Se han establecido variables adicionales de calidad del agua para el efluente tratado que se usa para recargar las aguas subterráneas, con énfasis en la remoción de nitrógeno. Por lo tanto, la planta de tratamiento ha sido diseñada para proporcionar la nitrificación y desnitrificación a fin de controlar el nivel de nitrógeno en el agua recuperada. El cuadro XI.1 presenta las características proyectadas del agua recuperada de la planta de tratamiento. Por lo general, la calidad proyectada del agua debe ser igual a la calidad de las aguas subterráneas del área y se espera que sea adecuada para el riego y recarga acuífera previstos.

#### **XI.4 Uso directo de las aguas residuales tratadas para el riego**

En Chipre, los recursos hídricos son limitados y con el rápido desarrollo del abastecimiento urbano y rural, los recursos hídricos convencionales se han agotado en gran medida. En consecuencia, la recuperación y uso de las aguas residuales se ha convertido en una opción realista para proporcionar fuentes confiables de agua a fin de afrontar la escasez y cubrir las necesidades de agua, así como para cumplir los reglamentos de disposición de aguas residuales concebidos para proteger el ambiente y la salud pública. Sin embargo, el uso de aguas residuales podría implicar graves efectos al ambiente y a la salud. Por consiguiente, en 1984 se emprendió un programa multidisciplinario de investigación para estudiar los aspectos agronómicos, ambientales y de salud asociados con el uso de las aguas residuales tratadas para el riego. El Instituto de Investigación Agrícola ha estudiado ampliamente la mayoría de las variables

**Cuadro XI.1** Características proyectadas del agua residual recuperada de Limassol

Variable	Concentración	Variable	Concentración
DBO <sub>5</sub>	2-5 mg l <sup>-1</sup>	SST	2-5 mg l <sup>-1</sup>
NH <sub>3</sub> -N	0,5-2 mg l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> -N	10-15 mg l <sup>-1</sup>
N total	10-17 mg l <sup>-1</sup>	Fósforo	5-10 mg l <sup>-1</sup>
Coliformes totales <sup>1</sup>	< 2 por 100 ml	Sodio	140-170 mg l <sup>-1</sup>
Calcio	31-38 mg l <sup>-1</sup>	Potasio	1-4 mg l <sup>-1</sup>
Magnesio	34-55 mg l <sup>-1</sup>	Cloruro	34-55 mg l <sup>-1</sup>
Bicarbonato	239-282 mg l <sup>-1</sup>	Sulfato	58-64 mg l <sup>-1</sup>
SDT	300-350 mg l <sup>-1</sup>		

DBO Demanda bioquímica de oxígeno

SST Sólidos suspendidos totales

SDT Sólidos disueltos totales

<sup>1</sup> Número más probable

Fuente: CHM, HILL 1992

químicas y fisicoquímicas asociadas con las aguas residuales y ha obtenido resultados útiles para el uso racional y ambientalmente seguro de estas aguas (Papadopoulos, 1995). Recientemente se ha dado prioridad a la investigación sobre alimentación de animales y a los aspectos de la salud humana. Los resultados indican que con el nivel de tratamiento requerido en Chipre, la tecnología de riego disponible y el código de práctica sugerido, los riesgos para la salud y el ambiente están dentro de niveles aceptables (Jenkins y otros, 1994; Papadopoulos y otros, 1994).

#### XI.4.1 Consideraciones reglamentarias

Para controlar el tratamiento y uso de las aguas residuales y a la vez proteger el ambiente y la salud pública en Chipre, se han desarrollado guías muy estrictas en relación con la calidad y uso de las aguas residuales tratadas (cuadro XI.2) (Kypris, 1989). Teniendo en cuenta la situación específica de Chipre, estas guías son más estrictas que las propuestas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) e incluyen además un código de práctica concebido para asegurar la protección de la salud pública y el ambiente y se debe considerar como parte de éstas (recuadro XI. 1).

Es importante recalcar que cuando se formularon las guías, el Comité Técnico reconoció expresamente que las condiciones que afectaban el riesgo aceptable para el reúso del agua recuperada podrían cambiar, que el conocimiento sobre el riesgo real se podría identificar mejor y que las tecnologías de tratamiento también se podrían mejorar en el futuro. Por consiguiente, el Comité Técnico considera que las guías y el código de práctica

permiten modificaciones adicionales a partir de los últimos conocimientos y experiencias adquiridas sobre el uso real actual y de la investigación.

### **XI.5 Contaminación de los recursos hídricos**

En Chipre, la contaminación potencial de los recursos hídricos está relacionada con el sobrebombeo de las aguas subterráneas, la intrusión salina a los acuíferos, el uso de las aguas residuales y la agricultura intensiva.

Como las actividades industriales son limitadas, las principales fuentes de contaminación son las plantas de aguas residuales urbanas y el uso de los efluentes. Por este motivo se han formulado y aplicado legalmente las guías y un código de práctica para proteger la salud humana y el ambiente (cuadro XI.2 y recuadro XI.1).

Recientemente, ha habido un considerable aumento en la aplicación de fertilizantes y plaguicidas para mejorar la producción agrícola. En Chipre, debido a la cantidad limitada de tierra agrícola y el costo elevado de la mano de obra y del agua, el aumento de la producción mediante la aplicación de fertilizantes y plaguicidas ha adquirido mucha importancia, pero también ha dado lugar a la contaminación de las aguas subterráneas, especialmente por nitratos en áreas de agricultura intensiva. El Ministerio de Agricultura ha tomado medidas para minimizar la aplicación de fertilizantes y plaguicidas mediante un código de práctica en relación con los fertilizantes y otros productos químicos, similar al código de práctica para el uso de aguas residuales. Se recomienda a los agricultores aplicar los fertilizantes y sustancias químicas adecuadas con un método apropiado, en la mejor época del año y lejos de los ríos y pozos abiertos.

### **XI.6 Conclusiones y recomendaciones**

De acuerdo con los datos experimentales y la aplicación de las aguas residuales para el riego en Chipre, se pueden proponer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Las aguas residuales, adecuadamente tratadas, usadas y administradas, se podrían considerar un recurso hídrico adicional, innovador y confiable para su aplicación específica en la agricultura.
- Con el uso de todas las aguas residuales tratadas para el riego directo o riego seguido de la recarga de aguas subterráneas, el terreno regado en Chipre se ampliará en 6%. De igual manera, se podría aprovechar la cantidad equivalente de agua dulce para otras finalidades.
- El tratamiento y uso de aguas residuales para el riego, dentro del nivel aceptable de riesgo para el ambiente y la salud pública es, para las



**Cuadro XI.2** Guías para la calidad de las aguas residuales utilizadas para el riego en Chipre

Área de riego	DBO (mg l <sup>-1</sup> )		SS (mg l <sup>-1</sup> )		Coliformes fecales		Gusano intestinal (No. por litro)	Tratamiento requerido
	80% límite <sup>1</sup>	Máx. permitido	80% límite <sup>1</sup>	Máx. permitido	80% límite <sup>1</sup>	Máx permitido		
Áreas de recreación de libre acceso	10	15	10	15	50	100	Ninguno	Secundario, terciario y desinfección
Cultivos para consumo humano; áreas de recreación de acceso	20	30	30	45	200	1.000	Ninguno	Secundario, almacenamiento > 1 semana y desinfección o tratamiento terciario y desinfección
	na	na	na	na	200	1.000	Ninguno	Estabilización mediante lagunas de maduración con un período de retención total > 30 días o tratamiento secundario y almacenamiento > 30 días
Cultivos de alimentos	20	30	30	45	1.000	5.000	Ninguno	Tratamiento secundario y almacenamiento > 1 semana o tratamiento terciario y desinfección
	na	na	na	na	1.000		Ninguno	Estabilización mediante lagunas de maduración con un período total de retención > 30 días o tratamiento secundario y almacenamiento > 30 días
Cultivos industriales	50	70	na	na	3.000	10.000	na	Tratamiento secundario y desinfección
	na	na	na	na	3.000	10.000	na	Estabilización mediante lagunas de maduración con un período total de retención > 30 días o tratamiento secundario y almacenamiento > 30 días

DBO Demanda bioquímica de oxígeno  
 SS Sólidos suspendidos  
 na No aplicable

<sup>1</sup> Estos valores no deben sobrepasar 80% de las muestras por mes

No se permite el riego de vegetales ni el riego de plantas ornamentales para propósitos comerciales.  
 En los efluentes de aguas residuales no se permiten las sustancias comprobadamente tóxicas para humanos y animales que se acumulan en las partes comestibles de los cultivos.

**Recuadro XI.1** Código de práctica para el uso de efluentes domésticos tratados en el riego en Chipre

1. La planta de tratamiento y desinfección de aguas residuales se debe revisar y mantener continuamente con una operación satisfactoria y eficaz si el efluente tratado se destina al riego.
2. Se debe contratar operadores capacitados para controlar la planta de tratamiento y desinfección, previa aprobación de la autoridad pertinente de la competencia de estas personas para llevar a cabo las operaciones requeridas, a fin de asegurar el cumplimiento de las condiciones de la cláusula 1.
3. La planta de tratamiento y de desinfección se debe revisar todos los días y se debe conservar el registro de todas las operaciones realizadas.
4. Todas las salidas, grifos y válvulas del sistema de riego se deben asegurar para evitar su uso por personas no autorizadas. Todas estas salidas deben estar coloreadas y etiquetadas claramente para advertir al público que el agua no es potable.
5. No se permite ninguna conexión cruzada con cañerías o canales que transporten agua potable. Todas las tuberías que transportan aguas residuales se deben marcar con una banda roja para distinguirlas del abastecimiento de agua potable. Cuando inevitablemente las tuberías de aguas residuales y las de agua potable deben estar cerca, las de aguas residuales se deben enterrar al menos 0,5 m debajo de las de agua potable.
6. Los métodos de riego permitidos y las condiciones de aplicación varían según las plantaciones de la siguiente manera:
  - a. Césped de parques y jardines ornamentales en áreas de recreación de acceso libre:
    - Métodos superficiales de riego.
    - Riego por goteo.
    - Aspersores de chorro ascendente, de ángulo bajo, de baja presión y con alta tasa de precipitación. La aspersión debe, de preferencia, practicarse en la noche y cuando las personas no estén alrededor de las áreas de recreación.
  - b. Césped de parques y jardines ornamentales en áreas de recreación de acceso restringido, cultivos industriales y de alimentos:
    - Métodos de riego subsuperficial.
    - Riego por goteo.
    - Métodos de riego superficial
    - Se permite el riego por aspersión con una zona de amortiguación de aproximadamente 300 m.  
Para los cultivos de forraje, se recomienda interrumpir el riego al menos una semana antes de la cosecha. No se debe permitir pastar ningún animal que suministre leche en los pastizales regados con aguas residuales.
  - c. Viñedos
    - Riego por goteo.
    - Mini-aspersores y aspersores (el riego se debe interrumpir dos semanas antes de la cosecha).

Continúa

**Recuadro XI.1** Continuación

- d. Frutales de consumo crudo y sin pelar:
  - Riego por goteo.
  - Riego con manguera.
  - Riego por burbujas.
 No se debe recoger frutas del suelo.
- e. Frutales cuyos productos se consumen después de pelar, nueces o similares.
  - Riego por goteo.
  - Mini-aspersores (interrumpir el riego una semana antes de la cosecha).
 Ninguna fruta se debe recoger del suelo, excepto las nueces. También se podrían considerar otros métodos de riego.
- 7. Para cumplir las normas requeridas, el tratamiento terciario es esencial si el efluente tratado se destina al riego de árboles frutales y áreas de recreación de acceso no restringido. Los siguientes métodos de tratamiento terciario son aceptables:
  - Sedimentación con almacenamiento sin agitación por más de 30 días en cuencas abiertas.
  - Coagulación más floculación seguida de filtración rápida de arena.
  - Cualquier otro método que pueda asegurar la remoción total de los huevos de helmintos y reducir los coliformes fecales a niveles aceptables.
- 8. Se deben aplicar métodos apropiados de desinfección cuando los efluentes de las aguas residuales se van a utilizar para el riego. En el caso de la cloración, el nivel residual libre o total del cloro en el efluente debe ser igual o más de 0,5 y 2 mg l<sup>-1</sup>, respectivamente en el punto de uso.
- 9. En la planta de tratamiento se debe disponer de las facilidades apropiadas para monitorear las variables esenciales de calidad del agua.

condiciones de Chipre, la mejor opción para una agricultura sostenible de largo plazo con una base ambientalmente segura.

- La recuperación y uso de las aguas residuales pueden contribuir a la protección del ambiente, pero el tratamiento y uso inadecuados también pueden perjudicar el ambiente y la salud de los seres humanos. Por consiguiente, es esencial formular normas y un código de práctica para el tratamiento y uso de las aguas residuales.
- Para lograr que las normas y el código de práctica sean eficaces, éstos deberán tener carácter de obligatoriedad legal.

**XI.7 Referencias**

Department of Statistics and Research Development 1995 *Statistical Abstract 1993*. Ministry of Finance, Nicosia.

- CHM HILL 1992 *Limassol Sewage Effluent and Sludge Reuse Study*. Final Report. CHM HILL, Nicosia.
- Jenkins, C.R., Papadopoulos, I. y Stylianou, Y. 1994 Pathogens and wastewater use for irrigation in Cyprus. En: *Land and Waters Resources Management in Mediterranean Region*, Volumen IV. Proceedings of a conference held in Bari, Italy, 4-8 setiembre 1994. CIHEAM, 979-989.
- Kypris, D. 1989 Considerations for the quality standards for the reuse of treated effluent. En: *Wastewater Reclamation and Reuse*. Proceedings of a conference held in Cairo, Egipto, 11-16 diciembre 1988, United Nations Food and Agriculture Organization, Roma.
- Papadopoulos, I. 1995 Non conventional water resources: Present situation and perspective use for irrigation. En: *International Seminar on Economic Aspects of Water Management in the Mediterranean Area*. Proceedings of a seminar held in Marrakech, Marruecos, 17-19 May, 1995. CIHEAM, 54-76.
- Papadopoulos, I., Economides, S., Stylianou, Y., Georgiades, E. y Koumas, A. 1994 Use of treated wastewater for irrigation of sudax for animal feeding. En *Land and Water Resources Management in Mediterranean Region, Volume IV*. Proceedings of a conference held in Bari, Italia, 4-8 septiembre 1994. CIHEAM, 991-8.
- Water Development Department 1989 *Fifty Years of Water Development, 1939-1989, en Chipre*. Water Development Department, Nicosia.

## **Estudio de caso XII\***

### **REINO DE JORDANIA**

#### **XII.1 Introducción**

Este estudio de caso se centra en el manejo y control de las aguas residuales y fuentes de contaminación del agua en el Reino Hashemite de Jordania a fin de aumentar la disponibilidad de aguas de calidad apropiada sobre una base sostenible. Si bien se considera a toda Jordania, se ha dado especial énfasis a la región Amman-Zarqa debido a su alto nivel de población y actividad económica. Las bajas precipitaciones y creciente demanda en el suministro de agua han obligado a Jordania a considerar todos los métodos posibles de conservación y reúso del agua.

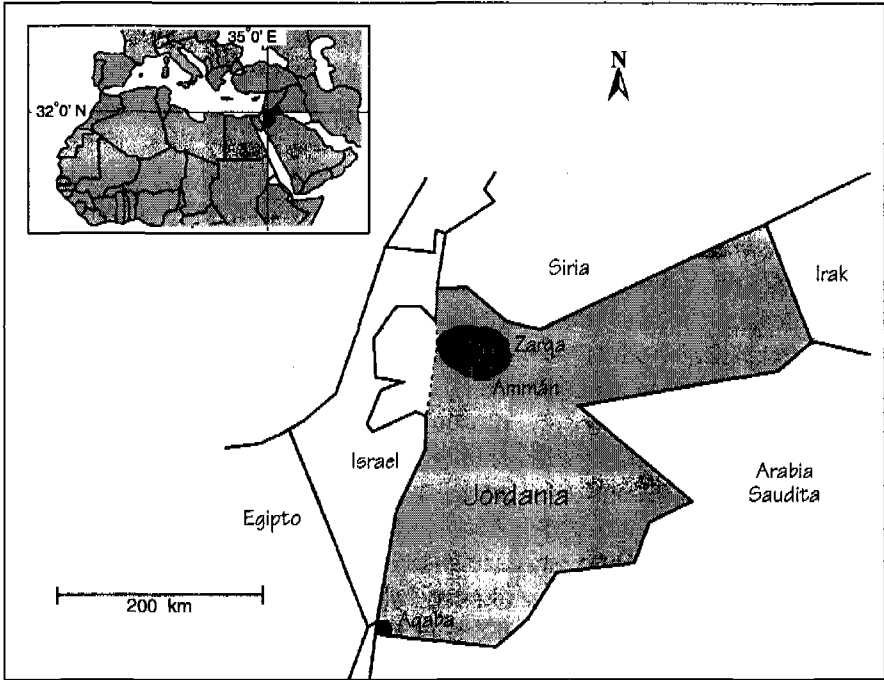
Este estudio de caso presenta un análisis de los problemas de contaminación del agua en Jordania e identifica algunas soluciones. La información básica y los datos que se presentan fueron recopilados por el autor, con la ayuda de otros, durante una consultoría para la Agencia de Desarrollo Internacional de los Estados Unidos (USAID) realizada en Jordania en 1992.

#### **XII.2 Información general sobre Jordania y el Gran Amman**

Jordania es un país, como tantos del Medio Oriente (figura XII.1), que enfrenta un crecimiento de población y desarrollo, así como limitaciones por sus recursos hídricos. La figura XII.2 muestra la distribución anual de la precipitación normal en isoyetas en Jordania. Los problemas más graves de agua se producen en las áreas densamente pobladas de Jordania, incluidas Amman y Zarqa (véase las figuras XII.1 y XII.2). La figura XII.3 contiene la precipitación media mensual y anual de la estación de precipitación de Amman. Por lo general, la precipitación se produce de octubre a abril, con más de 75% de diciembre a marzo.

Según un informe de planificación del Gran Amman publicado en 1990, la población total de Jordania era de 3.112.000, de la cual 2.177.000 (70%) era urbana (10% en campamentos de refugiados y áreas informales) y 935.000

\* *Este estudio de caso fue preparado por Herbert C. Preul*

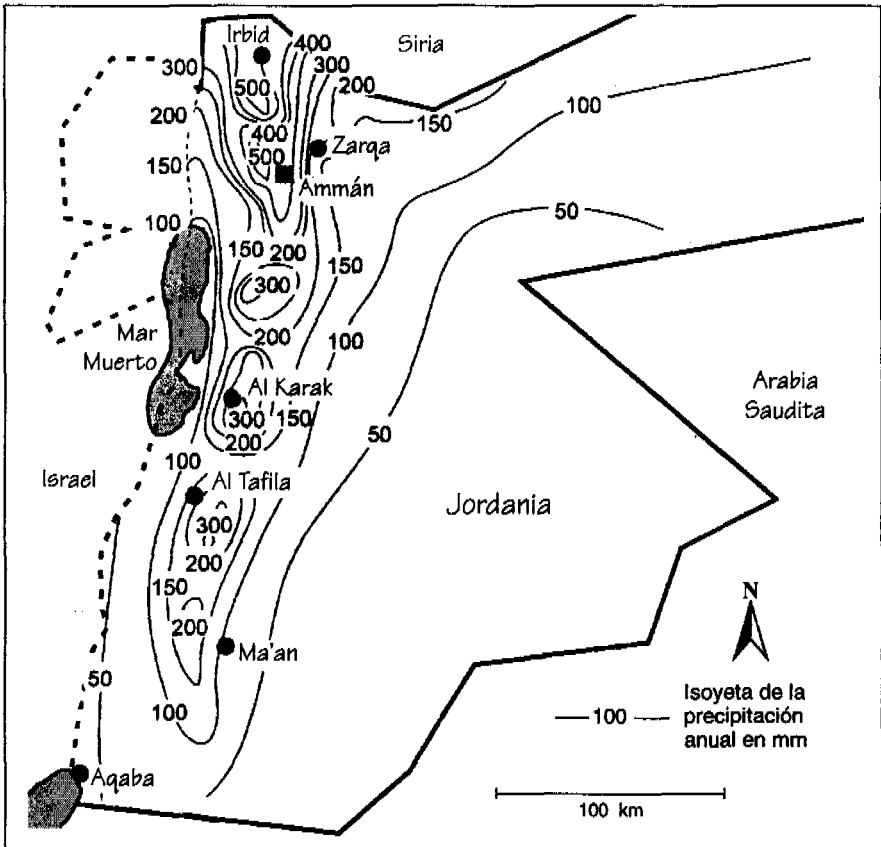


**Figura XII.1** Mapa de ubicación de Jordania; en el área de Amman y Zarqa se producen los casos más críticos de escasez de agua

(30%) rural. Dada la creciente población urbana, la población total que se calcula para el año 2005 es de 4.139.000, de la cual 3.158.000 sería urbana y 981.000 rural.

En 1985, la población del Gran Amman era de 900.990. Ese año se calcularon 144.708 familias, de las cuales 141.000 ocupaban viviendas y 16.000 construcciones estaban desocupadas. Los edificios de pocos pisos representaban 60%; los de uno o dos pisos, 30%; y 10% eran viviendas de un solo piso. La población proyectada para el año 2005 es de 2.000.000.

La figura XII.4 muestra las proyecciones de la oferta y demanda de agua en Jordania entre 1990 y 2015, tal como se determinó en un estudio de manejo del agua de la USAID (USAID/Jordania, 1992). La escasez proyectada representa un enorme déficit. En el estudio se concluyó que un solo método de manejo del abastecimiento no podría resolver esta escasez y que la mejor solución sería una combinación de alternativas de manejo. En este estudio de caso se discuten algunas de las opciones de control de aguas residuales consideradas.

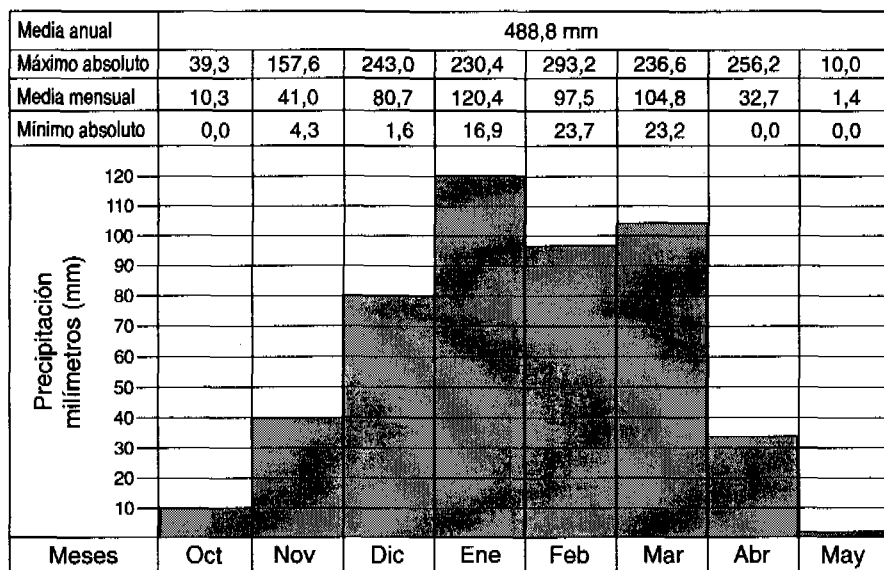


**Figura XII.2** Distribución anual de la precipitación normal en isoyetas (promedio de largo plazo) para Jordania

### XII.3 Control de la contaminación del agua y aguas residuales

Las principales descargas de aguas residuales provienen de las plantas municipales de tratamiento y operaciones industriales y comerciales. Los principales contribuyentes se concentran en la cuenca del río Zarqa, incluida la región Amman-Zarqa. En Jordania operan 14 plantas principales de tratamiento de aguas residuales (PTAR). La planta de mayor capacidad es la de As-Samra que sirve a Amman y Zarqa con un flujo de aproximadamente  $100.000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ . Otras plantas existentes y propuestas incluyen una variedad de procesos de tratamiento, pero el método más usado son las lagunas de estabilización.

Estación de precipitación: AL 0023

Amman/J. Amman (3<sup>er</sup> Circ.)

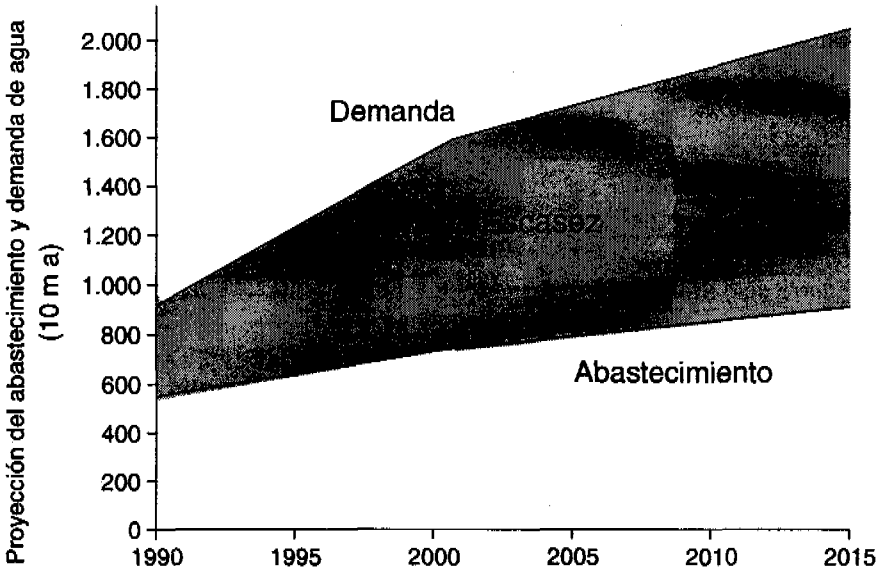
**Figura XII.3** Media mensual y anual de la estación de precipitación de Amman durante el período 1965/1966-1984/1985 (Datos del *Informe sobre el Estudio de los Recursos Hídricos de la Cuenca de Amman-Zarqa*, noviembre de 1989, Proyecto de Investigación de los Recursos Hídricos de Jordania del Norte)

En la región de Amman-Zarqa existen más de 100 industrias que utilizan agua (para algún proceso y producen aguas residuales, tales como la industria química, de pulpa y papel y procesamiento de alimentos y bebidas), así como muchas otras operaciones industriales y tiendas comerciales que descargan pequeñas cantidades de aguas residuales. De las 108 industrias que usan agua, 55 están conectadas al alcantarillado de Amman-Zarqa y 53 descargan en cuerpos de aguas superficiales (usualmente depresiones de terrenos, llamados uadis).

#### **XII.4 Principales problemas y necesidades del manejo de aguas residuales**

Los principales problemas del manejo de aguas residuales se concentran en la región de Amman-Zarqa. El problema mayor de esta cuenca es el manejo y tratamiento de las aguas residuales del sistema Ain Ghazal/As-Samra, pues a pesar de las mejoras efectuadas, la sobrecarga de los efluentes excede los límites prescritos. Cuando se completó en 1985, el sistema de lagunas de As-Samra era adecuado para el tratamiento previsto. Sin embargo, desde entonces, tanto





**Figura XII.4** Proyección del abastecimiento y demanda de agua para Jordania desde 1990 hasta 2015 (USAID/Jordania, 1992).

las cargas hidráulicas como orgánicas que se vierten en este sistema han aumentado considerablemente por las siguientes razones:

- Gran aumento de la población.
- La PTAR de Ain Ghazal dejó de operar y su carga se transfirió a As-Samra.
- Mayores cargas de aguas residuales y desviaciones al As-Samra.
- Mayor vertido de tanques sépticos (aguas residuales bombeadas de tanques sépticos y vertidas en el afluente de la laguna para tratamiento posterior).

Las primeras lagunas de tratamiento de aguas residuales se diseñaron para tratar aproximadamente  $68.000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  pero el flujo actual es de aproximadamente  $100.000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  o más. En 1991, el flujo promedio anual de las lagunas de As-Samra era de  $97.471 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ . La demanda química de oxígeno (DQO) del afluente era de  $1.574 \text{ mg l}^{-1}$  y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de  $703 \text{ mg l}^{-1}$ . El efluente tenía  $180 \text{ mg l}^{-1}$  de sólidos suspendidos y una DBO de  $104 \text{ mg l}^{-1}$  (equivalente a una remoción de 85%). Por lo general, el efluente tiene un alto contenido de nutrientes (amoníaco, nitrógeno y fósforo) y de bacterias coliformes (totales y fecales). Por consiguiente, aguas abajo de Wadi Zarqa, la calidad del río Zarqa y del reservorio King Talal se ha ido deteriorando continuamente. Los estudios realizados por Engineering-Science,

Inc. (1992) demostraron que en un año, de 1989 a 1990, los nutrientes del Wadi Zarqa alcanzaron  $4 \text{ mg l}^{-1}$  de nitrógeno y  $0,3 \text{ mg l}^{-1}$  de fósforo.

Todas las PTAR, incluidas las plantas municipales e industriales, necesitan instalaciones de reserva y contención para emergencias a fin de tratar los derrames y descargas ocasionados por fallas en el equipo. También se necesita con urgencia un sistema similar para la bomba sifón de Ain-Ghaza/As-Samra que produjo desbordes a un uadi vecino durante las tormentas de 1992. Otra amenaza es la ruptura o fallo posible en los 39 km de longitud y 1.200 mm de diámetro del sifón que conduce las aguas a las lagunas de las PTAR.

Es urgente controlar las aguas residuales y lodos tóxicos y peligrosos. Las fuentes de aguas residuales tóxicas y peligrosas incluyen los efluentes de las PTAR e industrias descargados en alcantarillas, corrientes receptoras y escorrentías pluviales ocasionadas por desbordes. Este es un problema de gran preocupación en la cuenca del río Zarqa, donde la contaminación de la cadena alimentaria excede los límites aceptables. Los estudios de Hanaineh-Abdeinour y otros (1985) sobre la contaminación hidroquímica de la cuenca del Amman-Zarqa durante 1979-1981 mostraron un "aumento evidente de elementos traza". En esa época, el estudio clasificó las aguas del Amman-Zarqa como "de ligera a fuertemente contaminadas". La contaminación fuerte era causada principalmente por Cd,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ , Cl, K y Na. También se observó aumento de varios elementos traza, incluidos Fe, Pb, Mn, Zn, Cu y Cr.

Así mismo, se identificó el incremento significativo de elementos normalmente asociados con descargas industriales: el Cl aumentó 6,5 veces; el  $\text{NO}_3$  2,2 veces; el  $\text{SO}_4$  5,0 veces y los STD 2,2 veces. Estos resultados, si bien no representan un inventario completo de los elementos presentes en posibles residuos industriales tóxicos y peligrosos, muestran un patrón emergente que es motivo de preocupación. Se asume que estas concentraciones han aumentado después del estudio. Para el manejo y disposición de estos residuos, se requiere una planta de tratamiento de residuos tóxicos y peligrosos.

El pretratamiento inadecuado de las aguas residuales en las mismas industrias es un problema frecuente. A pesar de que muchas industrias tienen instalaciones de tratamiento en el lugar, por lo general son inadecuadas, tal como lo indican las descargas a las PTAR del As-Samra. Los datos muestran que las concentraciones de DQO y sólidos suspendidos totales (SST) en los afluentes son sumamente altas en las 14 plantas principales de Jordania, debido a la descarga de residuos industriales. Por lo general, las aguas residuales domésticas de Jordania tienen valores de DBO que oscilan entre 600 y  $700 \text{ mg l}^{-1}$  pero las descargas industriales pueden aumentar drásticamente estos valores, como en el caso de la planta Irbid en donde el afluente tiene una DBO de

aproximadamente  $1.140 \text{ mg l}^{-1}$ . Los datos disponibles señalan que las 14 principales PTAR reciben descargas industriales y nueve de éstas tienen eficiencias razonables de tratamiento, con una remoción de 90% o más de DBO. Sin embargo, las descargas todavía exceden los límites deseados. Los efluentes deben tener menos de  $30 \text{ mg l}^{-1}$  de DBO,  $30 \text{ mg l}^{-1}$  de SST y  $60\text{-}100 \text{ mg l}^{-1}$  de DQO. Varias plantas logran estos resultados pero no es el caso de la mayoría, principalmente de las lagunas de estabilización de As-Samra con su carga actual.

Las instrucciones del gobierno para descargar aguas residuales industriales y comerciales en el alcantarillado público, publicadas en el periódico oficial del Reino Hashemita de Jordania el 17 de septiembre de 1988, edición No. 3573, prescriben los siguientes límites:  $800 \text{ mg l}^{-1}$  de DBO;  $1.100 \text{ mg l}^{-1}$  de SST;  $2.100 \text{ mg l}^{-1}$  de DQO;  $50 \text{ mg l}^{-1}$  de P y  $50 \text{ mg l}^{-1}$  de grasa y petróleo (GP). A pesar de no ser límites ni reglamentos tan estrictos, una encuesta sobre las concentraciones de las PTAR indicó que varias industrias no los estaban cumpliendo. Para que los efluentes de las PTAR se encuentren dentro del cumplimiento deseado, todas las industrias deben tener un nivel mucho más alto de pretratamiento en el lugar, complementado con un monitoreo constante.

Es necesario contar con medidas de minimización de residuos. A pesar de que ciertas organizaciones privadas, como la Cámara de Industrias, promueven las actividades industriales y operaciones comerciales, todavía no hay un esfuerzo organizado para minimizar la descarga de residuos.

Se requiere un método más directo y eficaz de asesoría técnica para las industrias en relación con los requisitos de las PTAR. En la mayoría de los casos, los gerentes y operadores de las PTAR desean proveer instalaciones adecuadas de tratamiento pero no están seguros de los requerimientos actuales del tratamiento. De igual manera, se debe fomentar que las industrias vecinas satisfagan sus necesidades conjuntamente en una PTAR común para lograr mayor eficiencia.

El monitoreo y cumplimiento requieren la adopción de un enfoque más eficaz y sensible. Actualmente, a las industrias se les informa sobre el incumplimiento de las descargas de sus PTAR, pero para rectificar el problema necesitan tener más información técnica. Se requiere una "conexión" más eficaz entre el monitoreo y el cumplimiento.

Se necesitan programas integrales de manejo de la calidad del agua que cubran toda la cuenca y un organismo de protección ambiental para que cubra los diferentes ambientes y hacer el seguimiento de los efectos causados por las emisiones ambientales, no solo en el agua sino también en el aire, residuos sólidos, suelo y sedimentos. El cuadro XII.1 presenta, como ejemplo, las

**Cuadro XII.1** Concentraciones promedio de elementos tóxicos en los sedimentos del reservorio King Talal, 1987-1989

Variable	1987	1988	1989
Hierro (mg kg <sup>-1</sup> )	17.392	19.094	25.110
Aluminio (mg kg <sup>-1</sup> )	12.275	17.869	22.077
Arsénico (mg kg <sup>-1</sup> )	2,80	1,53	4,36
Cadmio (mg kg <sup>-1</sup> )	11,80	6,66	8,78
Cromo (mg kg <sup>-1</sup> )	36,0	36,0	42,3
Plomo (mg kg <sup>-1</sup> )	35,0	41,0	44,0
Manganeso (mg kg <sup>-1</sup> )	362	413	442
Cinc (mg kg <sup>-1</sup> )	90	97	108

Fuente: Gideon, 1991

tendencias entre 1987 y 1989 de los valores promedios para elementos tóxicos seleccionados de los sedimentos del reservorio King Talal. Los resultados fueron presentados por Gideon (1991) a partir de datos recopilados de los informes anuales sobre sedimentos suspendidos del reservorio.

En el mismo estudio, los pozos seleccionados en el área de captación de Amman-Zarqa en 1990 mostraron una fuerte contaminación por SDT, Na, Cl y NO<sub>3</sub>. A pesar de que las descargas de agua contaminada son en gran medida responsables de la contaminación de estos recursos, se debe investigar de manera coordinada las emisiones en otros medios (por ejemplo, en el aire).

Es necesario desarrollar con urgencia programas de capacitación para crear conciencia sobre el control de la contaminación del agua, así como para la operación y mantenimiento de las PTAR. A pesar de que muchos profesionales del gobierno que trabajan en el control de la contaminación del agua y en la operación y mantenimiento de las PTAR tienen notables antecedentes académicos, es necesario aplicar un enfoque más práctico a los problemas del campo. Por ejemplo, los ingenieros egresados pueden estar capacitados en los aspectos básicos del manejo de aguas residuales, pero muchas veces les falta experiencia práctica, lo cual es importante especialmente cuando los recursos financieros son extremadamente limitados. Los seminarios y simposios son excelentes para llamar la atención sobre determinados problemas. Además, se requiere capacitación continua mediante talleres para el personal operativo, tanto del gobierno como de la industria.

## XII.5 Soluciones alternativas de manejo

En esta sección se presentan alternativas de manejo para solucionar los problemas discutidos anteriormente y se consideran las necesidades en el orden asignado anteriormente. También se observa la conservación del agua y los efectos sostenibles de la calidad.

Se estima que en el sistema de tratamiento de aguas residuales de Ain-Ghazal/As-Samra se está realizando una ampliación y mejoramiento para mitigar los graves problemas de esta área. Esta ampliación debe cumplir todos los requisitos actuales y futuros del efluente hasta el año 2015. Como el sistema de lagunas de estabilización de As-Samra se ampliará y mejorará, aumentarán las pérdidas por evaporación. Estas pérdidas se podrían compensar parcialmente si se cubren las lagunas anaerobias con láminas de espuma de estireno u otro material flotante. Estas lagunas no necesitan estar abiertas a la atmósfera. En un área de 18 hectáreas de lagunas anaerobias, con una tasa de evaporación de aproximadamente  $2,0 \text{ m a}^{-1}$ , al cubrir las lagunas se ahorraría aproximadamente  $360.000 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ . No se recomienda cubrir las demás lagunas, es decir las lagunas aeradas, facultativas y de maduración, porque interferiría con los procesos de tratamiento y porque los costos de tales métodos no probados no serían seguros. Los fondos de las lagunas se pueden sellar para eliminar las pérdidas por infiltración equivalentes a aproximadamente 5% del afluente de la laguna. Las pérdidas por infiltración para un flujo de  $100.000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1} \text{ a}^{-1}$  con una pérdida de 5% sería de  $1,8 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ . Esta pérdida de agua se puede recuperar con un método de bajo costo como el sellado del fondo.

Otra opción que se debe investigar es el posible desarrollo de una pequeña estación hidroeléctrica con el flujo y la carga del efluente de la laguna. Un lugar apropiado podría ser aguas abajo del río Zarqa donde se puede encontrar cargas que varían entre 50 a 100 m. Con un flujo de  $100.000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  se podría obtener la siguiente producción de energía:

- Para una carga de 50 m: aproximadamente 600 caballos de fuerza o 400-500 kW.
- Para una carga de 100 m: aproximadamente 1.200 caballos de fuerza o 800-1.000 kW.

A pesar de no generar mucha energía, también se beneficiaría la calidad del agua ubicada aguas abajo. De hecho, el efecto más importante del mejoramiento del sistema de tratamiento de As-Samra se manifestará en la mejor la calidad del agua en una variedad de recursos hídricos ubicados aguas abajo.

Se requiere contar con instalaciones de emergencia y contención en todas las PTAR y plantas industriales para contener los derrames y descargas accidentales. Actualmente, el sistema de bomba sifón de Ain-Ghazal es el de

mayor preocupación. Los beneficios de estas instalaciones incluyen evitar la degradación de la calidad del agua de ríos y arroyos. Estos beneficios se podrían cuantificar con técnicas de análisis de riesgos.

También es necesario controlar la disposición de lodos de las PTAR y de materiales industriales tóxicos y peligrosos. Por lo general, los lodos de las PTAR no son peligrosos y por consiguiente se pueden usar como un mejorador del suelo en algunas áreas restringidas. Aunque tienen un cierto valor como fertilizante, no se justifica un proceso adicional para comercializarlos a fin de recuperar costos. Las lagunas de estabilización producen muy poco lodo, lo cual es una de sus principales ventajas. Las lagunas anaerobias de As-Samra requieren remoción de lodos sólo después de varios años de operación y las cantidades de lodo que producen son relativamente pequeñas. Las demás lagunas, las que emplean procesos facultativos y de maduración, no necesitan remoción de lodos si se operan adecuadamente.

La disposición de lodos industriales, incluidos los materiales tóxicos y peligrosos, es un problema mucho más difícil que requiere métodos especiales de manejo y disposición. Actualmente, se planifica una planta de tratamiento de residuos peligrosos para el complejo industrial de Amman-Zarqa a través de la Unidad de Residuos Industriales del Banco Mundial. Esto permitirá que las industrias utilicen un servicio central y evitará la disposición indiscriminada de residuos y las diversas descargas en el alcantarillado y arroyos. A medida que progresa el desarrollo industrial, las demás gobernaciones pueden necesitar instalaciones similares.

En la medida de lo posible, todas las industrias deben estar obligadas a conectarse al alcantarillado y aplicar un pretratamiento en el lugar mediante el cual se controlará el cumplimiento de las normas sobre efluentes. Como una medida económica, algunas industrias vecinas podrían juntar sus descargas para tratarlas en una planta común. Un sistema de tarifas para la descarga de residuos industriales, basado en la cantidad y calidad, también fomentaría el pretratamiento en el lugar y el cumplimiento debido a los costos que implicarían las violaciones. Sin embargo, este enfoque se debe combinar con un mecanismo eficaz de monitoreo y vigilancia.

Al establecer un sistema de tarifas basado en la cantidad y calidad, se espera que las industrias reduzcan el uso del agua y la disposición de los residuos, principalmente debido al posible costo asociado con el incumplimiento. Al combinar este sistema con un programa de minimización de residuos industriales, se espera reducir 50% de la demanda de agua industrial en un plazo de ocho años. También se podría esperar un considerable mejoramiento

en el control de la calidad del agua. Además, la recaudación de tarifas financiaría mejor el monitoreo y la vigilancia del cumplimiento.

La minimización de los residuos industriales se refiere a la aplicación de alternativas de bajo costo y riesgo para reducir y reusar los residuos. Se puede aplicar varios tipos de ahorro de costos, tanto para la conservación del agua como de otros materiales valiosos. Un típico programa de minimización de residuos industriales debe incluir las siguientes iniciativas de manejo: auditoría de residuos, mejor mantenimiento, materiales sustitutos y reciclaje y reúso de los residuos.

En las industrias que utilizan agua, el ahorro del agua puede ser considerable en los programas bien administrados, con ahorros hasta de 70% o más en ciertas industrias en un período de ocho años (Center for Hazardous Materials Research, 1991). A pesar de ser difícil de cuantificar, se puede esperar que el mejoramiento de la calidad del agua de los efluentes industriales sea aún mayor que en la conservación del agua, principalmente para las descargas tóxicas. Muchos de los productos químicos industriales presentes en los residuos se pueden recuperar y reusar, por ejemplo, el cromo de los residuos de las curtiembres, lo que trae beneficios en la recuperación de costos para la industria. También se podrían obtener beneficios por la reducción de aguas residuales si se establece el sistema de tarifas para la descarga de residuos industriales.

Los gerentes industriales han manifestado necesitar más asesoría sobre los requisitos de sus PTAR de modo que puedan cumplir los reglamentos de descarga. Un enfoque alternativo para este problema sería disponer de ayuda técnica directa a través de organismos privados que ofrezcan asesoría industrial en estrecha coordinación con los ministerios responsables del monitoreo y vigilancia del cumplimiento. Esta asesoría técnica estaría relacionada con el monitoreo de los resultados obtenidos por el ministerio correspondiente. Aunque es imposible de cuantificar, la mejor asesoría técnica aumentaría considerablemente los beneficios.

El monitoreo constante y eficaz es fundamental para el cumplimiento de las normas del efluente. Actualmente, el sistema identifica las PTAR e industrias que cumplen estas normas sólo esporádicamente y muchas veces los problemas no se corrigen. Por consiguiente, para ser más eficaz en la corrección de los problemas, se ha sugerido que las notificaciones de incumplimiento deben complementarse con orientación técnica inmediata del ministerio involucrado o de un organismo privado de asesoría industrial, con un plazo para realizar las correcciones y lograr el cumplimiento. A pesar de que estas medidas prometen mejorar la calidad del agua, los beneficios no se pueden medir directamente.

Se requiere que las autoridades de la cuenca del río desarrollen programas integrales para el manejo de la calidad del agua. Existe una gran variedad de emisiones ambientales, principalmente en las áreas industriales como en la cuenca del río Zarqa, por consiguiente, se ha sugerido que el manejo y monitoreo de la calidad del agua se coordine para investigar la contaminación de los distintos recursos hídricos y medios. Lo cual incluiría a las aguas superficiales, embalses, abastecimientos de agua, agua potable, agua para riego, aguas subterráneas, pozos, contaminación de suelos, uso del riego, aplicación de plaguicidas, contaminación de escorrentías urbanas, fuentes no puntuales de contaminación, contaminación del aire y disposición de residuos sólidos. Este programa, que abarca toda la cuenca, se podría realizar mejor mediante las autoridades de la cuenca del río o a través de un organismo de protección ambiental que traspasaría los límites ministeriales y permitiría integrar los esfuerzos de varios ministerios. A través de este enfoque, se podría investigar y corregir los problemas de una manera más efectiva. Estas nuevas autoridades o el organismo de protección ambiental deberían tener ciertos poderes para hacer cumplir las leyes.

Las autoridades de la cuenca del río han tenido éxito en el control de la contaminación del agua en diversos países desarrollados; algunos ejemplos son el Ruhr Verbands en Alemania y la River Commission de los Estados Unidos. Los beneficios esperados incluyen el mejoramiento de la calidad del agua y los esfuerzos más efectivos y mejor coordinados para hacer cumplir la ley.

Se ha recomendado con urgencia algunos programas de capacitación que podrían ser la clave de la mayoría de los problemas mencionados anteriormente. La necesidad más inmediata es capacitar a los ingenieros y científicos del gobierno y a los gerentes y operadores de las PTAR municipales e industriales. Además, un programa de capacitación más amplio debería incluir personal adicional del gobierno para el manejo del control de los recursos hídricos, industriales del sector privado, consultores seleccionados y directores de empresas de servicios industriales. Los temas que se podrían incluir en el programa de capacitación, de acuerdo con el personal que se va a capacitar y sus necesidades, serían:

- Control básico de la contaminación del agua.
- Contaminación de fuentes puntuales.
- Contaminación de fuentes no puntuales.
- Prevención de la contaminación y minimización de residuos.
- Medición y monitoreo de la contaminación.
- Conservación del agua en la industria.
- Auditoría del control de la contaminación y estudios de factibilidad.



- Requisitos para el diseño y equipo de las PTAR.
- Operación y mantenimiento de las PTAR.
- Requisitos de equipo, financiación de costos y proyectos.

Para los programas de capacitación propuestos, se debe construir dos instalaciones de demostración como parte de estos programas. Estas serían una típica planta industrial con una PTAR y una PTAR municipal.

El objetivo general del concepto más amplio del programa de capacitación es desarrollar una conciencia ambiental que formaría la base para establecer altas prioridades en el control de la conservación y calidad del agua de todo el país. Aunque los beneficios de estos programas de capacitación no se pueden cuantificar directamente, serán inmediatos y de gran alcance.

### **XII.6 Recomendaciones y resultados posibles**

En Jordania, las principales descargas de aguas residuales provienen de las PTAR municipales e industriales; las plantas más grandes están ubicadas en la región Amman-Zarqa. Los efluentes que provienen del sistema de lagunas de estabilización de As-Samra y de más de 100 industrias que usan agua de esta región constituyen la mayor parte del total disponible de aguas residuales que requieren estrategias de conservación y gestión de la calidad del agua. Las recomendaciones prioritarias más inmediatas para lograr beneficios en la conservación y calidad del agua son:

- Un mejor sistema de tratamiento para Ain Ghazal/As-Samra.
- Implementación de un sistema de tarifas para la descarga de residuos industriales.
- Implementación de un programa de minimización de residuos industriales.
- Programas de capacitación para el control de la contaminación del agua y operación y mantenimiento de las PTAR.
- Establecimiento de una pequeña central eléctrica que utilice el efluente del sistema As-Samra.

Los efectos de la conservación y calidad del agua a más largo plazo se obtendrán mediante las siguientes acciones:

- Manejo de la cantidad y calidad del agua en toda la cuenca a través de las autoridades de la cuenca del río o de un organismo de protección ambiental.
- Monitoreo y cumplimiento eficaz de la calidad del agua.
- Asesoría técnica para los contaminadores industriales.
- Una planta central de manejo y tratamiento de residuos tóxicos y peligrosos.
- Instalaciones de emergencia para el manejo y contención en todas las PTAR e industrias contaminadoras.

Las recomendaciones anteriores permitirán ahorros significativos en la conservación del agua, pero los mayores efectos se esperan en el mejoramiento de la calidad del agua. Aunque es difícil cuantificar los beneficios de este mejoramiento, sus efectos se pueden cuantificar en función del agua de reúso disponible para distintas finalidades. Por lo tanto, el mejoramiento de la calidad del agua tendrá beneficios de gran alcance para el uso general del agua en toda Jordania.

## XII.7 Referencias

- Center for Hazardous Materials Research 1991 *Industrial Wastes Minimization Manual for Small Quantity Generators*. University of Pittsburgh. Applied Research Center, Pittsburgh.
- Engineering-Science Inc. 1992 *Effects of Nutrient Removal at the As-Samra Waste Stabilization Ponds on the Quality of King Talal Reservoir*. Engineering-Science Inc., Pasadena, California.
- Gideon, Raja 1991 *The Potential Impact of Industrial Wastes on Water Resources in Amman-Zarqa Basin*. Proceedings of the Second Environmental Pollution Symposium, 1990, Friederich Ebert Stiftung Goethe-Institut, Amman Water Research and Study Center. University of Jordan, Amman.
- Hanaineh-Abdeinour, L., Fayyad, M., y Tutingi, M. 1985 *Hydrochemical Pollution of the Amman-Zarqa Basin*. Dirasat Vol. XII No. 7. University of Jordan, Amman.
- USAID/Jordan 1992 *A Water Management Study for Jordan*. Project in Development and the Environment, Technical Report No. 4, USAID/Jordan Project No. 398-0365. Chemonics International Consulting Division Inc., Washington D.C.

## Estudio de caso XIII\*

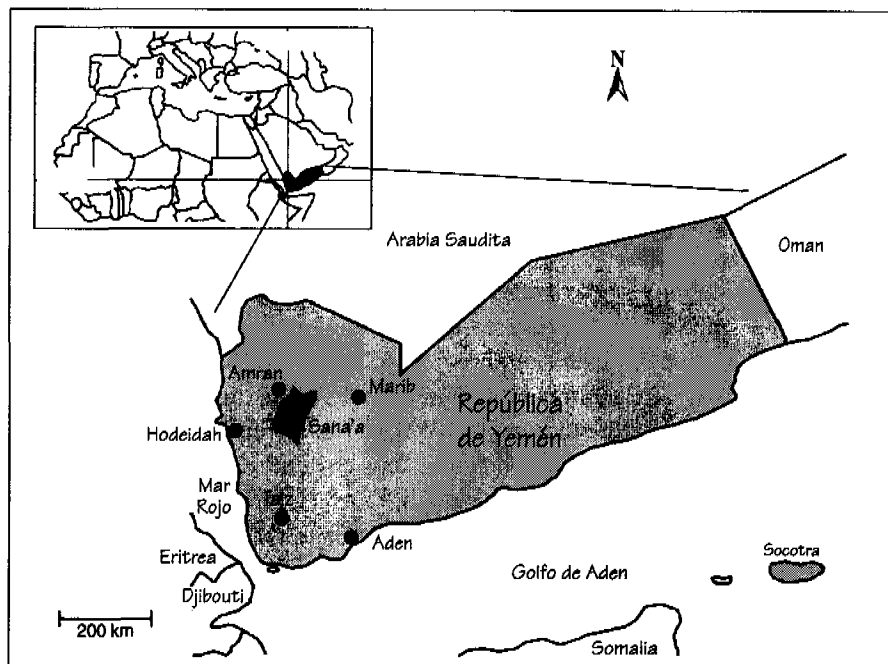
### SANA'A, YEMEN

#### XIII. 1 Introducción

La República de Yemen (Arabia feliz) está ubicada en la parte sur y sudeste de la península arábiga y cubre un área de 555.000 km<sup>2</sup> (figura XIII.1). El país está rodeado al oeste y al sur por el mar Rojo y el mar Árabe. Por el este y el norte limita con el Sultanato de Omán y el Reino de Arabia Saudita, respectivamente. Además de la ciudad de Sana'a, la capital, el país tiene 17 gobernaciones, 11 de las cuales están ubicadas en el norte (territorio conocido antes de 1990 como Yemen del Norte) y seis en el sur (conocido antes de 1990 como Yemen del Sur). Según el High Water Council (HWC, 1992a), en 1990 había una población total de 12,4 millones y en 1992, de 14 millones. Se estima que 80% viven en los altiplanos centrales y del sur que reciben la mayor parte de la errática y limitada precipitación. Se prevé que la población del país aumentará a 23,4 millones en el año 2010. La creciente demanda de agua en los últimos años y la limitada disponibilidad de recursos hídricos superficiales han aumentado la presión sobre las aguas subterráneas existentes, en su mayoría no renovables.

Según el *Informe sobre el Desarrollo Mundial* (Banco Mundial, 1993), el producto nacional bruto per cápita (PNB) de Yemen en 1991 era US\$ 520. Los principales sectores que desempeñan funciones importantes en la economía del país son la agricultura, la industria, los servicios y la minería. En 1990, el HWC (1992b) estimó que la participación de esos sectores en el producto interno bruto (PIB) era de 20,6%; 12,9%; 58,1% y 8,4%, respectivamente. Aunque la agricultura no representa la mayor contribución a la economía nacional, emplea aproximadamente 60% de la población activa. En 1990 se calculó que el total del área cultivada era de  $1,12 \times 10^6$  hectáreas con 61% regadas con lluvia, 28% con aguas subterráneas, 2% con manantiales permanentes y el restante 9% mediante riego por inundación. En 1992, la agricultura con riego consumió aproximadamente 90% de la demanda total de agua y representó 50% del valor de la producción agrícola. Mientras que en 1990 las exportaciones totales

\* *Este estudio de casos fue preparado por Mohamed Al-Hamdi*



**Figura XIII.1** Mapa de Yemén y la cuenca de Sana'a

ascendieron a  $YR 8,3 \times 10^9$  (con el cambio oficial de  $\$1 = YR 12$  en 1995 y en el mercado paralelo  $\$1 = YR 100$  en enero de 1995), siendo el petróleo crudo y los productos agrícolas los más importantes (87 y 10%, respectivamente), el comercio agrícola registró un déficit de 88%. En 1988, la inflación era aproximadamente de 16%, pero como resultado de la crisis del Golfo y el retorno de más de un millón de trabajadores de los estados del Golfo, que anteriormente proporcionaban divisas, la inflación aumentó 50% entre 1990 y 1991.

Para implementar sus programas de desarrollo, Yemen depende principalmente del préstamo externo. Hasta 1990 la deuda total era de  $\$7,1 \times 10^9$ , lo que representaba cerca de 85% del PIB; 12% de esta deuda proviene de fuentes comerciales de corto plazo, 16% de fuentes multilaterales de largo plazo y el restante 72% de fuentes bilaterales.

### **XIII.1.1 Estructura del sector de agua**

Las dos principales instituciones responsables del agua en Yemen son el Ministerio de Electricidad y Agua (MEA) y el Ministerio de Agricultura y

Recursos Hídricos (MARH). El MEA se responsabiliza del abastecimiento de agua y la recolección y tratamiento de aguas residuales en centros urbanos, además del abastecimiento rural de agua. Tres organizaciones trabajan directamente con el MEA: la Autoridad Nacional de Agua y Alcantarillado (ANAA), la Dirección General de Abastecimiento Rural de Agua (DGARA) y el High Water Council (HWC). La ANAA es un organismo económicamente autónomo responsable del abastecimiento de agua y la recolección y tratamiento de aguas residuales en zonas urbanas. Desde su establecimiento en 1973, su jurisdicción se ha ampliado a 12 ciudades, además de Sana'a. El ministro del MEA preside la junta directiva que controla la Autoridad. La DGARA se encarga del abastecimiento rural de agua y la función principal de su junta directiva ha sido el desarrollo de proyectos de abastecimiento de agua de pequeña escala (generalmente financiados por donantes externos) que se entregan a los consejos locales para su operación y mantenimiento. Hasta ahora no se ha prestado mucha atención al saneamiento rural y las instalaciones de disposición en el lugar constituyen la práctica más usual en las comunidades rurales. El HWC se estableció bajo la misma legislación del MEA en 1981 y su función es coordinar las actividades de todos los organismos pertinentes del sector agua. La principal tarea del Consejo era formular planes y estrategias nacionales de agua y preparar la correspondiente legislación nacional. El Consejo estaba conformado por viceministros de los ministerios involucrados, presidido por el ministro de electricidad y agua. Como el personal no era suficiente, en 1986 se reformuló el Consejo para incluir a los ministros relevantes, presidido por el Primer Ministro. En 1986, también se estableció la Secretaría Técnica del HWC para ayudar al Consejo en el desempeño de sus funciones. Hasta ahora no se ha aprobado ninguna ley para apoyar la formulación del Consejo como un organismo independiente, por lo que está encarando dificultades para cumplir sus obligaciones y responsabilidades.

Después de la reunificación de Yemen del Norte y del Sur en mayo de 1990, del anterior Ministerio de Agricultura y Pesquería del Norte y el Ministerio de Agricultura y Reforma Agraria del Sur, se formó el MARH. Estos ministerios estaban a cargo del desarrollo de los recursos hídricos para fines agrícolas. Sin embargo, desde mayo de 1990 se asignó al MAWH la responsabilidad de administrar los recursos hídricos nacionales, es decir, se ha convertido en gerente y usuario principal del agua al mismo tiempo.

### **XIII.1.2 Marco legal**

Actualmente, no existe una legislación nacional para el agua. Antes de mayo de 1990, el HWC había preparado un proyecto de legislación nacional del

agua y debido a la gravedad del agotamiento de las aguas subterráneas, el HWC también redactó una reglamentación para la extracción de aguas subterráneas y una propuesta de ley para crear la Autoridad Nacional del Agua. En el proyecto de ley, la Autoridad Nacional del Agua recibió la responsabilidad de asignar los recursos hídricos disponibles, especificar las prioridades del uso del agua y controlar el consumo anual para asegurar la sostenibilidad del desarrollo económico y social. Debido a la modificación de las responsabilidades en el manejo de los recursos hídricos después de mayo de 1990, el MARH preparó, independientemente, una segunda legislación nacional del agua en 1992 con una ley para establecer la Autoridad Nacional de Agua y Riego.

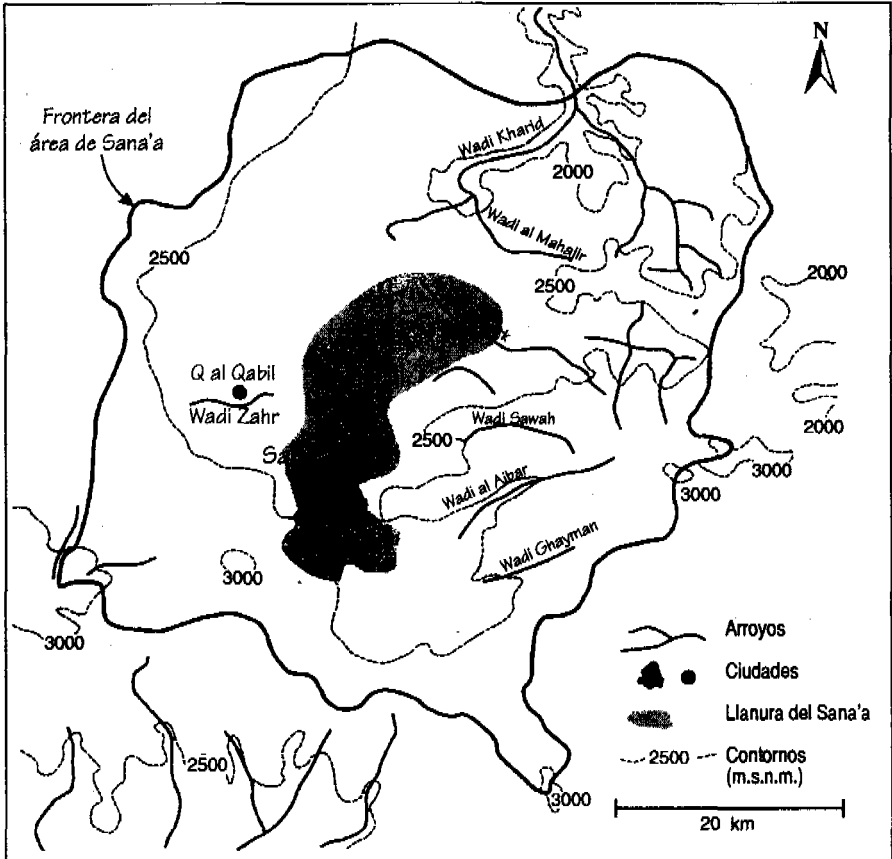
Sin embargo, ninguna de estas leyes fue aprobada, consecuentemente, la ausencia de legislación ha conllevado a la falta de coordinación en el uso del agua, lo que se refleja en la continua disminución de los niveles de aguas subterráneas en toda la nación. En resumen, la gravedad de la situación resalta la necesidad inmediata de una legislación del agua y el establecimiento de un organismo nacional para administrar los escasos recursos hídricos de Yemen.

### **XIII.2 Aspectos del agua**

La cuenca del Sana'a está ubicada en los altiplanos centrales (figura XIII.2) y cubre aproximadamente 3.200 km<sup>2</sup>, con una variación de menos de 2.000 m a más de 3.200 m sobre el nivel del mar. El clima de la cuenca se caracteriza por precipitación baja y errática con un promedio de 250 mm a<sup>-1</sup>. Sana'a, la capital de Yemen, está ubicada en la planicie de Sana'a (figura XIII.2) en una elevación de aproximadamente 2.200 m sobre el nivel del mar. Según el primer censo nacional de 1975, la población de la ciudad era de 134.588 habitantes y en 1986 había aumentado más del triple a 424.450. Aunque la tasa nacional de crecimiento era aproximadamente de 3%, la población de la ciudad creció en una tasa anual de 11% y se proyectó que se mantendría en esa proporción. Este rápido crecimiento se atribuyó principalmente a las mejores condiciones económicas que estimularon la migración interna de las zonas rurales. Actualmente, se estima que la población de la ciudad es más de 1 millón y se prevé que para el año 2010 aumentará a más de 3,4 millones.

#### **XIII.2.1 Recursos hídricos**

La principal fuente de agua en la región son las aguas subterráneas de tres capas acuíferas: los depósitos aluviales, las unidades volcánicas y la arenisca de Tawilah. De estos tres acuíferos, el Tawilah es el más productivo y su agua es la de mejor calidad. Se calcula que la capacidad del Tawilah es de 2.230 x



**Figura XIII.2** Mapa con las principales características de la cuenca del Sana'a

$10^6 \text{ m}^3$  (almacenamiento total) y sólo se puede extraer 50%. Además de la baja recarga como resultado de la poca precipitación en el pasado, la mayor extracción (principalmente para la agricultura) ha dado lugar a una considerable disminución del nivel de las aguas subterráneas ( $3$  a  $4 \text{ m a}^{-1}$ ). Es importante saber que a pesar de que en 1995 la demanda total de agua en el área de la cuenca del Sana'a era de  $220 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ , los cálculos para la recarga del acuífero Tawilah oscilaban sólo entre  $27 \times 10^6$  y  $63 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ . Esta gran diferencia entre el consumo y la recarga se compensa con el agua de almacenamiento de largo plazo, denominado como minería de aguas subterráneas. Evidentemente, el patrón de uso del agua en Sana'a no es sostenible y de continuar, conllevará al agotamiento de este valioso y escaso recurso.

### XIII.2.2 Uso del agua

En la región, las aguas subterráneas se usan para satisfacer las necesidades de agua de los diferentes sectores, como el riego agrícola, el uso municipal y el uso industrial.

Antes de la revolución de Yemen en 1962, la agricultura en la cuenca del Sana'a dependía de las prácticas agrícolas sin agua y del riego por inundación. La introducción de pozos perforados en los años setenta y la identificación del Tawilah como un acuífero sumamente productivo, llevó a los agricultores a usar las aguas subterráneas para el riego. Dada la importancia del Tawilah, el gobierno trató de reglamentar el uso del agua agrícola en el área y aprobó una ley en 1973 que identificaba como zona de protección las áreas de los pozos de la ANAA y prohibía la perforación de nuevos pozos y la construcción de fosos sépticos sin previa autorización. Actualmente, la agricultura en la cuenca consume aproximadamente  $175 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ , lo que representa 80% de la demanda total de agua en esa área. Además, se estima que los cultivos de qat (árbol cuyas hojas se mastican como estimulante en Yemen) y de uvas (cultivo comercial) consumen aproximadamente 40 y 25%, respectivamente de la demanda de agua agrícola en la región. Las principales razones que conllevan al uso excesivo de aguas subterráneas para el riego se pueden resumir de la siguiente manera:

- Confusión sobre los derechos del agua, lo que conduce a una extracción no reglamentada.
- Subsidios para los combustibles y bajos impuestos para la importación de equipo agrícola.
- Altas utilidades de los cultivos comerciales.
- Prácticas deficientes de riego.

Se estima que la población actual de la cuenca del Sana'a es aproximadamente de 2,34 millones, de los cuales 1,4 viven en áreas urbanas. Aunque la tasa de consumo per cápita varía, se calcula que en 1995 la demanda municipal total de agua era de  $36,9 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ , de los cuales aproximadamente  $29 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$  se consumió en áreas urbanas. También se previó que la demanda anual total de agua municipal aumentaría a  $138 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$  para el año 2010 (HWC, 1992c). En 1990 se estimó una demanda de agua industrial de  $4,7 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$  y se proyectó que para 1995 aumentaría a  $6,2 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ . Van der Gun y otros (1987) informaron que el Gobierno de la República Árabe de Yemen (conocida como Yemen del Norte antes de la reunificación de 1990) tomó medidas para evitar el establecimiento de industrias de gran consumo de agua en el área de Sana'a, lo cual podría explicar la baja tasa de aumento del uso de agua en comparación con los demás sectores.



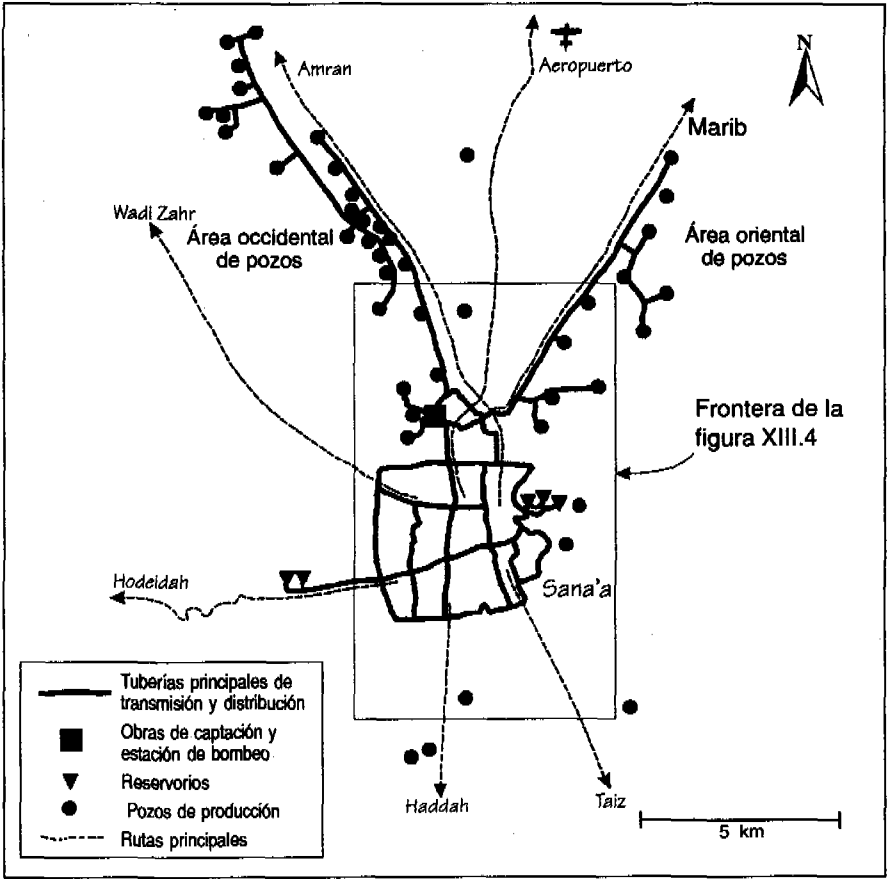
### XIII.2.3 Fuentes de contaminación de las aguas subterráneas

En la cuenca del Sana'a, la falta de reglamentación para la disposición directa subterránea de aguas residuales municipales e industriales provenientes de instalaciones sanitarias in situ (fosos sépticos) representa un riesgo potencial de contaminación para las aguas subterráneas. La ancha zona no saturada, resultante de los niveles profundos de aguas subterráneas (100 a 170 m bajo el nivel del suelo) sugiere que la contaminación de estas aguas subterráneas es imposible. Sin embargo, la compleja estructura geológica y la presencia de grietas en las rocas podrían reducir el tiempo de recorrido de los contaminantes a través de esta capa. Como en Yemen el uso de plaguicidas y fertilizantes químicos en la agricultura todavía se encuentra en un nivel relativamente bajo, actualmente la contaminación de las aguas subterráneas por esta fuente no es una preocupación principal.

### XIII.2.4 El agua y aguas residuales de la ciudad de Sana'a

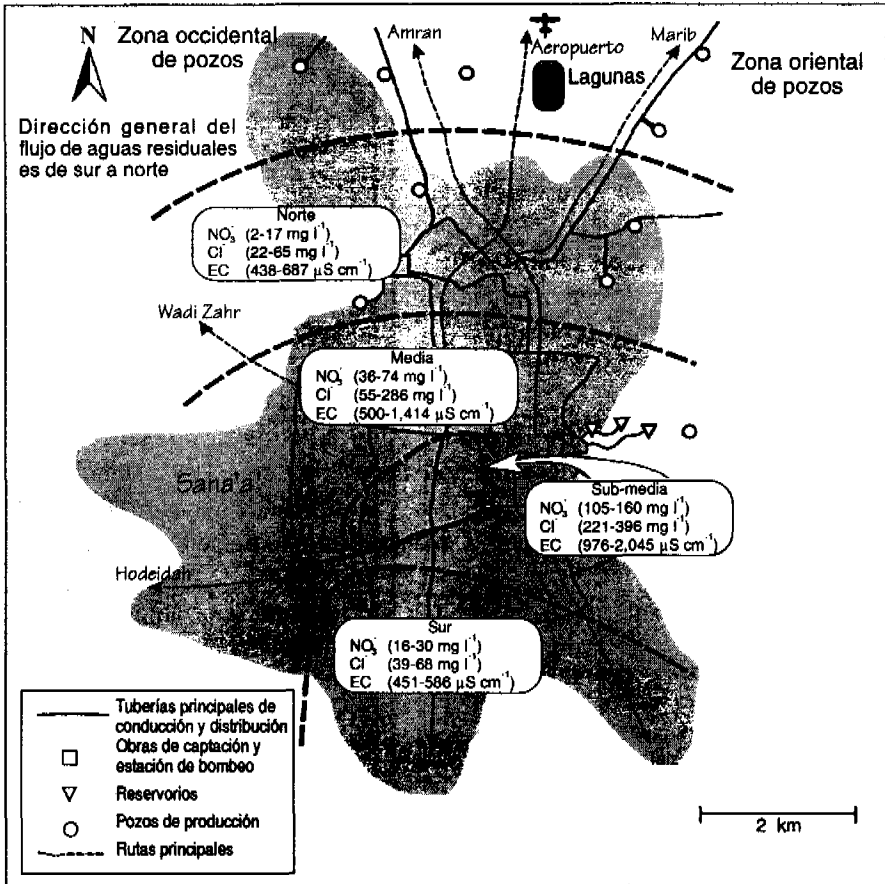
En la ciudad de Sana'a, el abastecimiento municipal de agua incluye el abastecimiento tanto público como privado. En 1993, se produjo aproximadamente  $17,8 \times 10^6 \text{ m}^3$  para 43% de la población con un consumo per cápita de aproximadamente  $120 \text{ l d}^{-1}$ , incluido 35% que no se contabilizó. Las aguas subterráneas de los pozos de la ANAA (figura XIII.3) son de buena calidad y cumplen las guías de agua potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Sin embargo, en la red de distribución por lo general se aplica la cloración como medida de seguridad. Se estimó que en 1993, el abastecimiento privado de agua, que depende de pozos no monitoreados de la ciudad y algunos del Tawilah, habían producido  $6,7 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Aunque se supone que el abastecimiento privado de agua cubre 57% de la población de la ciudad, se prevé que el alto precio del agua reducirá el consumo per cápita aproximadamente a  $35 \text{ l d}^{-1}$ .

Hasta 1993, solo 12% ( $10.000$  a  $12.000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ) de la ciudad estaba conectado al sistema de alcantarillado que conduce las aguas residuales a las lagunas de estabilización de Rowdda, al norte de Sana'a, para el tratamiento (véase la figura XIII.4). El resto de la ciudad ( $35.000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ) dependía de fosos sépticos con infiltración como mecanismo principal para la disposición de aguas residuales. Al-Eryani y otros (1991) concluyeron que las aguas residuales domésticas habían ocasionado algunos cambios en la calidad de las aguas subterráneas del área densamente poblada de la ciudad y alrededor de las lagunas de estabilización de Rowdda. Al-Shaik (1993) resumió una investigación de la calidad del agua de algunos pozos a través de la trayectoria del efluente de las lagunas de estabilización al norte de Rowdda. El estudio identificó un área



**Figura XIII.3** Mapa del área de Sana'a con la ubicación de las estaciones de bombeo, reservorios y pozos de la ANAA (Al-Hamdi, 1994)

contaminada y recomendó monitorear continuamente el área investigada así como los pozos de la ANAA. Al-Hamdi (1994) investigó la calidad de las aguas subterráneas de la ciudad de Sana'a y clasificó tres zonas de calidad: norte, centro y sur (figura XIII.4). Las aguas subterráneas en la zona central contenían más nitrato y cloruro que las otras, de lo cual se podía inferir que la disposición de aguas residuales en esta zona tuvo un efecto negativo sobre la calidad de las aguas subterráneas. Además, se identificó una subárea contaminada (subcentral) en la zona central que se caracterizó por presentar concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  con variaciones entre 100-160  $\text{mg l}^{-1}$ , concentraciones



**Figura XIII.4** Mapa que señala la variación de la calidad del agua en la ciudad de Sana'a. La dirección del agua es de sur a norte (Al-Hamdi, 1994)

de  $\text{Cl}^-$  entre 220-400  $\text{mg l}^{-1}$  y conductividad eléctrica entre 975-2.045  $\text{mS cm}^{-1}$ . Se estimó que la contaminación se podría atribuir a la disposición de aguas residuales y que la zona contaminada se expandiría hacia el norte por la dirección del flujo de las aguas subterráneas. Se pensó que no había ningún riesgo inmediato en el área de pozos de la ANAA, pero más de 50% de la población depende de pozos privados no monitoreados dispersos en el perímetro de la ciudad.

El uso de fosos sépticos en las zonas del este y del oeste de la ciudad (Nokom y Allakama) ha ocasionado el rebose de aguas residuales a la superficie del

terreno debido a que la tasa de infiltración del suelo local es muy baja. Además de los riesgos potenciales para la salud, como resultado de la exposición humana directa, Al-Hamdi (1994) indicó que la despresurización intermitente de la red de distribución de agua potable podría provocar una succión de aguas residuales en la red.

Los resultados de las muestras de agua subterránea tomadas cerca de áreas industriales, principalmente de las grandes fábricas ubicadas en las afueras de la ciudad, permitieron concluir a Al-Eryani y otros (1991) que los efluentes industriales del área de Sana'a no representaban una amenaza inmediata para la calidad de las aguas subterráneas; sin embargo, no se ofreció ninguna información detallada sobre los métodos de disposición de los residuos ni las características de los efluentes industriales. Además de las grandes fábricas ubicadas en las afueras de la ciudad, hay muchos talleres pequeños, establecimientos de cambio de aceite y de lavado de carros. Los resultados que presentó Al-Hamdi indican que la disposición directa de aguas residuales de estas actividades podría conllevar a una grave contaminación de las aguas subterráneas.

De la discusión anterior, se infiere que actualmente se están agotando las aguas subterráneas y que la disposición extensiva de aguas residuales representa una amenaza para su calidad. Como no se han establecido los derechos de los agricultores sobre el agua, éstos consideran que las aguas residuales son de propiedad común y que por lo tanto tienen el derecho de satisfacer sus necesidades domésticas y agrícolas de agua. La competencia por la extracción de aguas subterráneas podría aumentar la tasa de agotamiento del acuífero y disminuir la agricultura con riego en el área. Para disminuir posibles conflictos futuros sobre los recursos hídricos que podrían surgir entre los agricultores y la ciudad, se debe aplicar un plan de manejo aceptable para ambas partes. Dentro de este marco, la conservación del agua y el reúso de aguas residuales para el riego podrían ser dos aspectos claves. En la agricultura con riego, el sector que utiliza más aguas subterráneas, la conservación del agua implica muchos aspectos, incluida la economía agrícola, las políticas gubernamentales y las condiciones legales nacionales. Estos aspectos están más allá del alcance de este estudio de caso. Sin embargo, el reúso de aguas residuales está estrechamente vinculado con el manejo de las aguas subterráneas y el control de la contaminación, por lo cual a continuación se discute este aspecto.

Los cálculos actuales muestran que la ciudad de Sana'a genera  $18 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$  de las aguas residuales, de las cuales 20 a 25% se recolectan mediante el alcantarillado. El HWC (1992c) ha estimado que en 1995 las necesidades agrícolas de agua en la cuenca eran aproximadamente  $175 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$  y que

160 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> representaban el riego con aguas subterráneas para cultivos comerciales. Estos cálculos indican que si se reúsan las aguas residuales de la ciudad para el riego de áreas hidrológicas adecuadamente seleccionadas, es decir, en el área de pozos de la ANAA, se podría reducir aproximadamente 12% del agua para fines agrícolas. Este reúso podría proporcionar a la ciudad un sustancial abastecimiento adicional de agua y, a la vez, reduciría la amenaza potencial de la contaminación de las aguas subterráneas. Se podría convencer a los agricultores para que reúsen las aguas residuales, ya que resultaría más barato que usar aguas subterráneas (el gobierno y los consumidores tendrían que cubrir los costos de recolección y tratamiento) y confiable (debido principalmente a la continua disminución de los niveles de aguas subterráneas y el riesgo de agotamiento total del acuífero). Este reúso se debe restringir mediante acuerdos legales a partir de los cuales las aguas residuales (propiedad de la ciudad) se intercambien por derechos no definidos sobre las aguas subterráneas. Los agricultores incluidos en estos acuerdos recibirían aguas residuales tratadas, además de posibles privilegios como la atención adicional de los organismos gubernamentales pertinentes, programas para la toma de conciencia del riego con aguas residuales y algunos incentivos financieros (como préstamos y subsidios) para recompensar la suspensión del uso de aguas subterráneas para el riego. La creciente escasez de aguas subterráneas en el área podría hacer que estos acuerdos sean atractivos para los agricultores, principalmente cuando lo más probable es que la agricultura (sostenible) de largo plazo en el área sea regada con aguas residuales.

En lo que se refiere al control de la contaminación, el reúso de las aguas residuales podría cumplir simultáneamente tres objetivos:

- Eliminaría los efectos adversos sobre la salud resultantes de las aguas subterráneas contaminadas que se usan para bebida, de la exposición directa al rebose de aguas residuales y de la contaminación directa de la red de distribución de agua potable.
- El sector privado podría seguir abasteciendo agua potable segura a una parte de la población.
- La creciente recarga de aguas subterráneas, como resultado de la disminución del riego con aguas subterráneas, permitiría que el abastecimiento público de agua reglamentado y monitoreado de la ANAA tenga una mayor cobertura.

Sin embargo, la falta de un organismo coordinador y la división actual de responsabilidades sobre los recursos hídricos son los principales obstáculos que impiden implementar estas opciones de manejo.

### **XIII.2.5 Aspectos críticos del agua**

Como se indicó anteriormente, Yemen en general y principalmente Sana'a, están atravesando una situación crítica de escasez de agua debido a la falta de reglamentación y coordinación de su uso. Además, hay riesgo potencial de contaminación de las aguas subterráneas como resultado de la ausencia de reglamentación en la disposición de las aguas residuales. La contaminación de las aguas subterráneas podría ocasionar graves problemas de salud, ya que más de 50% de la población satisface sus necesidades de agua con pozos privados. Además de los efectos adversos sobre la salud, el tratamiento de las aguas residuales contaminadas es muy costoso.

### **XIII.3 Intervenciones planificadas**

Cuando el gobierno de Yemen comprendió que la escasez de agua en Sana'a era crítica, a fines de los años ochenta inició, con la ayuda del gobierno holandés, un proyecto a fin de ubicar fuentes alternativas de agua para la ciudad, es decir adoptó un enfoque orientado hacia la oferta. El gobierno también reconoció la necesidad de establecer una legislación del agua y un organismo nacional para administrar, reglamentar y coordinar el uso de los recursos hídricos de manera que se pueda garantizar un desarrollo sostenible.

Con respecto al riesgo de la contaminación de las aguas subterráneas en el área de Sana'a, la ANAA ha reconocido que la disposición directa de las aguas residuales y la sobrecarga de las lagunas de estabilización son las principales causas de los cambios en la calidad de las aguas subterráneas de algunas zonas. Por consiguiente, se considera que la clave para proteger el acuífero Tawilah de una mayor degradación de su calidad, es realizar la recolección y tratamiento adecuados de las aguas residuales. Si se amplía el sistema de alcantarillado para cubrir toda la ciudad y se tratan las aguas residuales de manera que se puedan reusar en la agricultura, se protegerá la calidad de las aguas subterráneas y se reducirá en alguna medida la demanda agrícola de agua. Recientemente, se adquirió un área para la instalación de una nueva planta de tratamiento de lodos activados, pero todavía no se han asignado los fondos para su construcción. En respuesta a continuos reclamos públicos, la ANAA pretende, en un programa de emergencia, conectar las zonas del este y del oeste de la ciudad (Nokom y Allakama) al sistema de alcantarillado para evitar el rebose de aguas residuales y reducir la amenaza de contaminación de las aguas en la red de distribución.

### **XIII.4 Lecciones aprendidas y conclusiones**

En un esfuerzo por administrar el actual uso no sostenible de las aguas subterráneas en el área de Sana'a, el gobierno ha adoptado un enfoque orientado

hacia la oferta con un proyecto para evaluar las diferentes fuentes de agua. Al mismo tiempo, el gobierno ha fracasado en el manejo de la demanda como una opción viable para la gestión de los recursos hídricos. Importar el agua de otras regiones a Sana'a, dada la escasez del agua en toda la nación, sería muy costoso y podría implicar una fuerte resistencia por parte de los proveedores locales. Para implementar el manejo de la demanda en Yemen es necesario comprender a fondo los derechos del agua. Si el gobierno desea establecer prioridades para el uso del agua y controlar la nueva asignación de los recursos hídricos, primero deberá estipular esos derechos.

La ley de 1973 es ineficaz para proteger el área de pozos de la ANAA del agotamiento y deterioro de la calidad del agua por las siguientes razones:

- Bajo índice de zonas protegidas en relación con el área total de la cuenca.
- La dificultad de monitorear y hacer cumplir los reglamentos.
- La falta de otra alternativa para la disposición de aguas residuales, por lo cual siempre se concedían licencias para fosos sépticos.

La calidad de las aguas subterráneas en la parte central de la ciudad de Sana'a y alrededor de las lagunas de estabilización se ha deteriorado debido a la ausencia de reglamentación para la disposición directa de las aguas residuales. A pesar de requerir acción inmediata, el principal obstáculo parece ser la falta de disponibilidad de recursos financieros para ampliar el sistema de alcantarillado y construir instalaciones adecuadas de tratamiento. Hasta la fecha, en Yemen no se han tomado en cuenta los incentivos económicos ni financieros para el manejo y control de la contaminación del agua.

En este estudio de caso, se han resaltado cinco aspectos importantes:

- La falta de reglamentación para la disposición de aguas residuales municipales e industriales podría causar graves cambios en la calidad de las aguas subterráneas y podría dar lugar a efectos adversos sobre la salud y elevados costos de tratamiento. El reúso de aguas residuales puede ser una alternativa atractiva y eficaz para las regiones con escasos recursos hídricos como Sana'a, ya que reduce el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas y al mismo tiempo representa una fuente de agua con un alto contenido de nutrientes para el riego. Sin embargo, el éxito de un programa de reúso de aguas residuales depende de varias condiciones:
  - Se debe ampliar el sistema de alcantarillado para poder cubrir toda la ciudad (muy costoso).
  - Las aguas residuales recuperadas para el riego deben estar libres de sustancias tóxicas provenientes de las descargas industriales y la calidad agrónoma y sanitaria del agua debe ser apropiada para el riego.

- Los agricultores deben aceptar el uso de las aguas residuales recuperadas para el riego (el riego de cultivos comerciales con aguas residuales podría reducir el precio de mercado de estos cultivos).
- La situación institucional del sector de agua de Yemen, que no cuenta con una coordinación adecuada para el uso de los escasos recursos hídricos ni para el manejo eficaz del control de la contaminación, puede ser un factor principal que conlleve a la falta de sostenibilidad de estos recursos.
- Un elemento importante en el manejo de los recursos hídricos es un enfoque basado en la demanda. Adoptar un enfoque basado en la demanda es fundamental especialmente en las zonas semiáridas, en donde los recursos hídricos son limitados a pesar del constante aumento de la demanda, debido a las crecientes poblaciones que necesitan agua y alimentos.
- Es esencial considerar los incentivos económicos y financieros para controlar el manejo y la contaminación del agua. La fijación de precios podría jugar un papel importante en la reducción de la demanda y prevención de la contaminación.
- En los planes y estrategias nacionales para el desarrollo económico y social, se debe incluir el uso sostenible de los escasos recursos hídricos.

### XIII.5 Referencias

- Al-Eryani, M., Ba-issa, A. y Al-Shuibi, Y. 1991 *Groundwater Pollution in the Sana'a Basin: a Preliminary Appraisal*. Environmental Protection Council, Sana'a, Republic of Yemen.
- Al-Hamdi, M. 1994 *Groundwater Pollution due to Municipal Wastewater Disposal*. M.Sc thesis, IHE, Delft, The Netherlands.
- Al-Shaik, H. 1993 *Report on the Extent of Groundwater Pollution due to the Effluent of the Sana'a Stabilization Ponds at Rowdda*. National Water and Sewerage Authority, Sana'a, The Republic of Yemen.
- Van der Gun, G., Trietsch, R. y Uneken, H. 1987 *Sources for Sana'a Water Supply*. Unpublished mission report, Sana'a, The Republic of Yemen.
- HWC 1992<sup>a</sup> *National Water Legislation and Institution Issues*. Final report, Volume II, UNDP/DESD project YEM/88/001. The Technical Secretariat of the High Water Council, Sana'a, Republic of Yemen.
- HWC 1992<sup>b</sup> *Water Resources Management and Economic Development*. Final report, Volume I, UNDP/DESP project YEM/88/001. The Technical Secretariat of the High Water Council, Sana'a, Republic of Yemen.
- HWC 1992<sup>c</sup> *Water Resources Management Options in Sana'a Basin*. Final report, volume IX, UNDP/DESD project YEM/88/001. The Technical Secretariat of the High Water Council, Sana'a, Republic of Yemen.



World Bank 1993 *World Development Report 1993, Investing in Health*. Oxford University Press, New York.



## Apéndice

### PARTICIPANTES DEL GRUPO DE TRABAJO

- M. Adriaanse, Information and Developments, Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment (RIZA), Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Países Bajos
- G. Alabaster, Centro de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (HÁBITAT), Nairobi, Kenia
- M. Al-Hamdi, Sana'a University, Faculty of Engineering, Sana'a, Yemen
- W. Ankersmit, Technical Advice Department, Ministry of Foreign Affairs/DGIS, La Haya, Países Bajos
- G.J.F.R. Alaerts, Professor of Sanitary Engineering and Vice Rector, International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering (IHE), Delft, Países Bajos
- L. Anukam, Federal Environmental Protection Agency (FEPA), Abuja, Nigeria
- C. Bartone, Senior Environmental Specialist, Urban Development Division, Banco Mundial, Washington, D.C., Estados Unidos
- J. Bartram, Manager, Water and Wastes, Centro Europeo para el Ambiente y la Salud, Organización Mundial de la Salud, Roma, Italia
- J. Bernstein, Environment Specialist, Banco Mundial, Washington, D.C., Estados Unidos
- S.A.P. Brown, Wates, Meiring & Barnard, Sudáfrica
- P. Chave, Head of Pollution Control, National Rivers Authority, Bristol, Reino Unido
- R.T. Cruz, Assistant Project Director, River Rehabilitation Secretariat, Pasig River Rehabilitation Program, Department of Environment and Natural Resources, Carl Bro International a/s, Metro Manila, Filipinas
- R. Enderlein, Environment & Human Settlement Division, Comisión Económica para Europa, Ginebra, Suiza
- U. Enderlein, Urban Environmental Health, Division of Operational Support in Environmental Health, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza
- R. Helmer, Chief, Urban Environmental Health, Division of Operational Support in Environmental Health, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza
- R.M. Hermann, Head, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Sanitaria, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil
- I. Hespanhol, Urban Environmental Health, Division of Operational Support in Environmental Health, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza
- A. Kandiah, Senior Officer, Water Resources Development and Management Services, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia

- H. Larsen, Water Quality Institute (VKI), Danish Academy of Technical Sciences, Horsholm, Dinamarca
- B. Locke, Deputy-Executive Secretary, Consejo Colaborador de Abastecimiento de Agua y Saneamiento, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza
- P. Marchandise, Organización Mundial de la Salud/Oficina del Proyecto de Nancy, Centro Europeo para el Ambiente y la Salud, Vandoeuvre-les-Nancy, Francia
- A. Milburn, Executive Director and Managing Editor, International Association on Water Quality (IAWQ), Londres, Reino Unido
- I. Natchkov, Ministry of Environment, Sofia, Bulgaria
- P.J. Newman, WRc plc., Medmenham, Reino Unido
- I. Papadopoulos, Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture, Natural Resources and Environment, Nicosia, Chipre
- R. Pors, DGIS/Environment Programme, La Haya, Países Bajos
- H.C. Preul, International Water Resources Association (IWRA), University of Cincinnati, Department of Civil and Environmental Engineering, Cincinnati, Estados Unidos
- J. Rasmussen, Deputy Director, Water Quality Institute, Danish Academy of Technical Sciences, Horsholm, Dinamarca
- V.A. Rezepov, Deputy Director, Centre for International Projects (CIP), Moscú, Federación Rusa
- D.W. Rodda, Team Leader, Danube Programme Coordination Unit, Vienna International Centre, Viena, Austria
- H. Romero-Álvarez, Instituto Mexicano de Tecnología de Agua, Consejo Nacional de Agua, Ciudad de México, México
- J. Schwartz, Chief Environmental Adviser, River Rehabilitation Secretariat, Pasig River Rehabilitation Programme, Carl Bro International a/s, Metro Manila, Filipinas
- Y. Sharma, Additional Director, National River Conservation Directorate, Ministry of Environment and Forests, Nueva Delhi, India
- E. Skarbovic, Water and Lithosphere Unit, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Nairobi, Kenia
- J. Smet, International Reference Center, La Haya, Países Bajos
- G.E. Stout, Executive Director, International Water Resources Association, IWRA, University of Illinois, Urbana, Estados Unidos
- L. Ulmgren, Director, International Department, Estocolmo, Suecia
- V. Vladimirov, c/o Center for International Projects (CIP), Moscú, Federación Rusa
- R. Wirasinha, Executive Secretary, Consejo Colaborador de Abastecimiento de Agua y Saneamiento, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza
- T.F. Zabel, Senior Consultant, Environment, WRc plc., Medmenham, Reino Unido
- C. Zhang, Banco Mundial, Washington, D.C., Estados Unidos.

## Índice

- Acuíferos, Jordania 519-520
- Administración
  - capacidad 304
  - componentes claves 265
  - de aguas residuales 45-47, 52-59
  - de cuencas 264
  - de la contaminación del agua 3-8
  - de recursos hídricos 232, 392-393
  - herramientas e instrumentos 303-317
  - integral 262, 313-314
  - intervenciones 299-300, 405-412
  - nivel apropiado 6
  - procedimientos 305
  - requisitos 242
  - sistemas de apoyo 279-280
  - sostenible en Corea del Sur 251-252,  
*véase* Gestión, Manejo
- Administración del control de la contaminación 231-256
- Administración y planificación de la captación 28, 161-162
- Agenda 21, *véase* Programa 21
- Agricultura y uso de aguas residuales,  
*véase* Uso de aguas residuales
- Agua de lluvia 65-66
- Agua para el ganado 20-21
- Agua potable
  - abastecimiento en la región de Moscú 475
  - criterios para el abastecimiento de 18-19
  - directiva de la UE 19
  - guías OMS 18
  - tratamiento del 18-19
- Agua recreativa 21-22
- Aguas residuales
  - composición de aguas residuales domésticas 50
  - conducción 64-68
  - contaminantes en 49-50
  - costos de tratamiento 224
  - de origen doméstico e industrial 47
  - descarga de efluentes industriales al alcantarillado 65
  - producción y flujo 48,  
*véase también* Manejo de aguas residuales
- Aguas residuales domésticas
  - costos de construcción para el manejo de 68-70
  - opciones de saneamiento 53-55
  - opciones en el lugar 70-74
  - para riego 497-498
- Aguas residuales industriales,  
*véase* Efluentes industriales
- Aguas subterráneas
  - cobros 186
  - contaminación 73, 522
  - en Chipre 491-492
  - en Yemen 518-520
  - explotación 523-524
  - protección 164-166, 397
  - recarga 493-494
- Alcantarillado
  - esquemas de financiamiento 211-213
  - separado y combinado 65-68, 160
- Alcantarillas en condominios 210-211
- Alcantarillas 66-67, 160
- Alemania
  - agencias de cuencas de ríos 215
  - cobro por efluentes 181-182
  - cumplimiento de la ley 151
  - esquemas institucionales 245-246
  - objetivos de la calidad del agua 27
  - reglamentación de fuentes no puntuales 159
- Alga verde-azul 154-157
- AMOEBA 38
- Amoniaco
  - criterios para 17
  - represa Witbank 410-411
- Análisis de problemas 295-297
- Análisis gráficos 274
- Análisis, métodos avanzados 285

## 534 Control de la contaminación del agua

Apoyo para la toma de decisiones, *véase*

Sistema de apoyo para la toma de decisiones

Argentina, incentivos para el cumplimiento 193

Asentamientos marginales 365-368, 380-381

Aspectos ambientales 206-207

Aspectos legales

instrumentos 131-168

uso de aguas residuales 98-104

Aspectos organizacionales 231-236  
criterios 235-243

Aspectos prioritarios 236-238

Auditoría ambiental 153-154

Australia

auditoría ambiental 153

control de fuentes puntuales 142

reglamentación de fuentes no puntuales 162

Autonomía 242

Autoridades de Agua 244

Autorizaciones, *véase* Licencias

Bacterias, remoción de 111-116

*véase también* Coliformes

Balance de masa 310

Bases de datos 271-272, *véase también*

Inventarios

Bélgica

cumplimiento de la

reglamentación 151

esquemas institucionales 247

Biocriterios 24

Biofiltros (pantanos

construidos) 77, 81, 224

Biomarcadores 24-25

Brasil

autoridad de cuencas de ríos 216

cobro a los usuarios 179

cobro por efluentes 180

cuenca del alto Tietê 415

financiamiento del alcantarillado en condominios 210-211

gestión de recursos hídricos 415-424

manejo de efluentes industriales 419-420

mapa 416

participación de la comunidad 217-218

protección de aguas subterráneas 166

Calidad del agua

análisis de problemas 295-299

aspectos de 261, 542

cantidad 294

clases 275, 461

criterios, *véase* Criterios de calidad del agua

en la cuenca del Danubio 461

esquemas de clasificación 30-35

guías, *véase* Guías, Normas

índices 275, 447

modelos 276-278, 310-311

objetivos, *véase* Objetivos

requerimientos 11-42

Canadá

cobro a los usuarios 187

control de fuentes puntuales 144

criterios de calidad del agua 20-21

objetivos de la calidad del agua 27

protección de aguas subterráneas 166

reglamentación de fuentes no

puntuales 163

Capa biológica, tratamiento de 84-85

Capacitación 254, 508

Cargas contaminantes 310

China

fondos ambientales 185

reglamentos y organizaciones 342-343

río Huangpu (Shanghai) 337-361

Chipre 489-499

capacidad de la represa 491

conservación de aguas

subterráneas 491-492

descripción 489

escorrentía pluvial 489-491

mapa 490

producción económica 490

recarga de aguas subterráneas 492-494

recursos de aguas

subterráneas 491-492

recursos hídricos 489-491

uso de aguas residuales 494-495

- Clasificación CEE de calidad del agua  
para la vida acuática 34-35
- Cobro por extracción de aguas  
subterráneas 186
- Cobros por descarga  
Jordania 510  
Shanghai 345
- Cobros, *véase* Instrumentos económicos
- Colaboración 264
- Colaboración institucional 264
- Cólera 205
- Coliformes 112-115, 430-431,  
*véase también* Bacterias
- Colombia, cobro a los usuarios 187
- Comisión de París 136
- Comisión Económica para Europa [de las  
Naciones Unidas], *véase* CEPE
- Comisión Nacional del Agua (CNA),  
México 105-106
- Comité Europeo de Normalización 152
- Computadores 271-272
- Concentración ambiental predecible  
(CAP) 140
- Concentración de efecto no observable  
(CENO) 146
- Concentración predecible de no efecto  
(CPNE) 140
- Conferencia del Mar del Norte 136
- Consejo Mundial de la Industria para el  
Ambiente (CMLA) 150
- Consentimientos, *véase* Licencias
- Conservación del agua 225
- Conservación del agua 225, 492-493
- Contaminación  
cobros 66, 172-173, 177, 184, 345  
cuenca Lerma-Chapala, México 443  
de aguas subterráneas 73, 523-525  
en Chipre 495, 498-499  
estimación de la carga 309  
fuentes múltiples 263  
fuentes no puntuales 153-164, 282  
fuentes puntuales 142-153, 281-282  
fuentes urbanas 158-161  
inventario de descargas 137  
juntas de control 246, 326-327  
manejo 294-295  
minimización 410-412  
Nigeria 488-489  
prevención 59-64, 410-412  
región de Moscú 481-482  
río Huangpu 342  
transfronteriza 166-168
- Contaminación orgánica 346-348
- Contaminación por fuentes agrícolas  
en la cuenca del Danubio 465  
fuentes y reglamentos 154-158
- Contaminación por fuentes no  
puntuales 154-158  
administración/planificación de  
cuencas 161-162  
control de nutrientes 155-157, 160-161  
fuentes agrícolas 154-158  
fuentes urbanas 158-161  
identificación 153-154  
piscicultura 155  
reglamentación 162-164
- Contaminación transfronteriza 7-8,  
166-168
- Contaminantes 11-12
- Control  
al final del proceso industrial 143-145  
basado en la calidad del agua 263-264  
basado en la toxicidad 146  
de escorrentía en las calles 158-159  
emisiones basadas en el 263  
en China 343  
procesos de 143, 146-148
- Control de la contaminación  
aspectos administrativos 321-257  
cuenca Lerma-Chapala 445-449  
China 343-348  
de la industria minera en  
Nigeria 395-398  
estrategias 302-303, 316-317, 348-357  
fondos 346  
objetivos 299-303  
obstáculos para el 301-302  
planes de acción 317-321  
São Paulo 421-424
- Control integral de la  
contaminación 146-147

## 536 Control de la contaminación del agua

- Convención sobre la Cooperación para la Protección y Uso Sostenible del Río Danubio 462
- Convención sobre la Protección y Uso de Aguas Transfronterizas y Lagos Internacionales 138, 166-168, 264
- Cooperación internacional 7-8, 462, 486-487
- Cooperación sectorial 6-7
- Corea
  - cobros por efluentes 182
  - fondos ambientales 185
  - subsidios 190
- Corea del Sur, 251
- Costos
  - de la tecnología de aguas residuales 68-70
  - distribución del pago 209
  - recuperación 250
  - tratamiento de aguas residuales 223-224
- Costos del abastecimiento de agua 206
- Criterios 12-26
  - biocriterios 24
  - definición de 14
  - desarrollo de 15-18
  - ejemplos de países 13
  - para el agua potable 18-19
  - para el ganado 21
  - para el riego 19-20
  - para el uso recreacional 21-22
  - para la pesca 25
  - para la protección de la vida acuática 23-24
  - recomendaciones para la elaboración 40-42
  - uso recreacional 21-22, *véase también* Calidad del agua
- Criterios FAO para el agua de riego 20
- Cuenca del Danubio 455-471
  - actividades económicas 456, 460-461
  - actividades internacionales 462
  - asignación de recursos hídricos 466
  - clases de calidad del agua 461
  - contaminación 460
  - datos de población 459
  - descripción 455-456
  - estrategias de gestión 466-470
  - impactos de la política 468
  - mapa 456
  - mapa de la captación 457
  - plan de acción 462-463
  - problemas de calidad del agua 463-466
  - programa ambiental 461-462
  - usos del agua 467
- Cuenca Lerma-Chapala, México 437-453
  - acuíferos 440
  - clasificación de la calidad del agua 442
  - control de los usuarios 450
  - descripción 437-440
  - distritos de irrigación 450-451
  - erosión del suelo 451
  - escorrentía 439
  - fuentes de contaminación 443
  - lluvia 439
  - mapa 439
  - monitoreo 449-450
  - Plan Maestro del Agua 445
  - programa de ordenamiento 443-451
  - servicios de agua 441
  - sistemas de información 449
  - tratamiento de aguas residuales 446-449
- Cuencas de ríos
  - administración 444-445
  - autoridades/instituciones 214-215, 512
  - Francia 180, 244-245
  - Nigeria 387
  - planificación 469
- Cultivos
  - políticas restrictivas 116-118
  - riego con aguas residuales 116-118
- Cumplimiento
  - aspectos financieros 213-214
  - evaluación del 151-153
  - monitoreo 38-40, 151-153
- Cumplimiento de la ley 150-152, 192-193, 234, 469-470
- Danubio, *véase* Cuenca del Danubio, Río Danubio



## Datos

- adquisición 271-272
- flujo 269-270
- manejo 272-273
- recopilación 259
- tipos 269-270

DBO, *véase* Demanda bioquímica de oxígeno

Declaración del Mar del Norte 136, 158

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)  
criterio para la 16  
río Pasig 369-375Demanda de saneamiento por la  
comunidad 207-208

Demanda del cliente 235

Desarrollo de la capacidad 253-254

Descentralización 238-239

Desinfección 113

Diarrea, *véase* Enfermedades diarreicas

## Dinamarca

- cumplimiento 150-151
- objetivos de calidad 275

Directiva de Comercialización y Uso 134

Directiva de Prevención y Control Integral  
de la Contaminación (PCIC) 146-148

Directiva de Sustancias

Peligrosas 134-135

Directiva Urbana de Tratamiento de Aguas

Residuales (UE) 147-148, 161

Directivas de la Unión Europea

- 259/93/CEE 168
- 67/548/CEE 134
- 75/440/CEE 19, 140
- 76/160/CEE 22, 139
- 76/464/CEE 134, 140
- 76/769/CEE 134
- 77/795/CEE 140
- 78/659/CEE 16
- 793/93/CEE 134
- 80/778/CEE 18
- 82/501/CEE 135
- 84/631/CEE 168
- 86/280/CEE 38, 140
- 91/271/CEE 161
- 91/325/CEE 134
- 91/414/CEE 158

91/676/CEE 156

Disposición de lodos 510

Disposición sanitaria, *véase* Disposición  
de aguas residuales

Documento sobre políticas 2-3

Drenaje 160

## Ecosistemas

esquemas de clasificación del  
agua 34-36, 37-38Educación 254, 373-374, *véase también*  
Capacitación

## Efluentes

cobros 177-186

control, *véase* Manejo de aguas residuales  
impuesto a los 217

normas 145, 232, 395-396

Efluentes industriales 65, 372, 395,  
506-507, *véase también* Control de la  
contaminación

Eichhornia 298

Enfermedades diarreicas 202-204, 432

Enfoque de participación 7, *véase también*  
Participación de la comunidad

Erosión del suelo 450

Escorrentía en las calles 158-159

Esquemas de clasificación, *véase* Calidad  
del agua

Esquemas institucionales 104-105

Esquemas voluntarios 150

Estadística 274-275

Estados Unidos de América

cobro a los usuarios 187

control de fuentes puntuales 145

cumplimiento de las normas 213-214

licencias negociables 188

objetivos de la calidad del agua 27

subsidios 189

Estándares de calidad ambiental, *véase*  
NCA

Estrategias de saneamiento 53, 70-86

esquemas de financiamiento 211-213

esquemas de préstamos 212-213

participación de la comunidad 217

planificación y políticas 222-225

viviendas urbanas 202-204

- Estrategias para el control de la contaminación 302-304
- Europa central y oriental 222
- Eutroficación 155, 161, 409
- Evaluación de riesgos ambientales 135-136
- Evaluación del efecto 311
- Evaluación del impacto ambiental (EIA) 311-314
  
- Fertilizantes 156-157
  - aspectos financieros 207-221
  - costo y beneficios 207, 217
  - participación de la comunidad 217-219
  - saneamiento y alcantarillado 211-213
  - sector privado 220
- Filipinas
  - asentamientos marginales 366-368, 380-381
  - descripción 363-364
  - mapa 364
  - río Pasig 363-383
  - subsidios 190-191
- Filtros percoladores 85-85
- Financiamiento del sector privado 220
- Flexibilidad en la reglamentación 240-242
- Fondos ambientales 185
- Formaciones geológicas en Nigeria 388-389
- Fósforo 157
- Francia
  - agencias de cuencas de ríos 215
  - cobros por efluentes 180
  - esquemas institucionales 244
  - subsidios 190
- Fuentes dispersas, *véase* Contaminación por fuentes no puntuales
- Fuentes puntuales
  - control de 139-140
  - normas para 137-142
  - reglamentación de 142-153
  
- Ganges, río (India), *véase* Río Ganges
- Gestión de la captación 28, 161-162
- Gestión, *véase* Administración, Manejo
  
- Ghana, plan de saneamiento para Kumasi 221-222
- Grandes Lagos 38
- Guías
  - para el control de la contaminación agrícola 154-155
  - para el uso de aguas residuales 101-104, 112, 495-498
  - para operaciones forestales 155
  - para la calidad del agua 306-307
  - para la descarga de aguas residuales 85,
  - véase también* Normas
  
- Helmintos 111-116, 430-431
- Hong Kong, reglamentación de fuentes no puntuales 164
- Huangpu, río, *véase* Río Huangpu, China
  
- India
  - clasificación de la calidad del agua 32
  - esquemas institucionales 247-251
  - inventarios de descargas contaminantes 137
  - participación de la comunidad 218
  - Plan Nacional de Acción de Ríos 249
  - riego con aguas residuales en Nagpur 95,
  - véase también* Plan de Acción del Ganges, Río Ganges
- Indicadores 273
- Indicadores ambientales 273
- Índice Saprobic 277
- Índices de calidad del agua 275-276
- Indonesia
  - fondos ambientales 185
  - subsidios 190
- Información
  - estadística 274-275
  - gráfica 274
  - necesidades de 265-268
  - recopilación y diseminación 269-273
  - sistemas de 259-287, 440, 449, 469
- Informes sobre la situación ambiental 272-273
- Informes/reportes 272-273

- Iniciativa Pública para el Reporte Ambiental (IPRA) 150
- Instituciones 233-235
- Instrumentos de reglamentación 5-6, 131-168, 316, *véase también*, Normas, Reglamentos
- Instrumentos económicos 5-6, 171-198, 307-308
- aplicación de 176-192, 308
- cobros 173, 176-179, 186, 194, 345
- cobros a los usuarios 179-184
- cobros por el producto 186
- eficiencia en función de los costos 194
- en países en desarrollo 196-197
- factibilidad 194
- incentivos 173-174, 192
- licencias negociables 173, 186-187
- precios 172-173, 176-177, 308
- resistencia a 187
- selección de 192-196
- sistema de reembolso del depósito 173, 192
- subsídios 173, 189-192
- ventajas y desventajas 174
- Intervención 299-301
- Inundaciones 368
- Inventario de Descarga Tóxica, Estados Unidos 133
- Inventario Europeo de Sustancias Químicas Comerciales (IESQC) 134
- Inventarios 132-137, 327
- Irrigación, *véase* Riego
- Jacinto de agua 298
- Japón, control de fuentes puntuales 145
- Jordania 501-514
- conservación del agua 511
- control de residuos peligrosos 506
- descarga de aguas residuales 503-504
- descripción 501-503
- distribución de la población 501-502
- lluvia 501, 503-504
- manejo de la cuenca del río 512
- mapa 502
- minimización de residuos 510
- oferta y demanda de agua 502, 505
- problemas de gestión y necesidades 504-508
- programas de capacitación 508, 512
- recomendaciones prioritarias 513-514
- reservorio King Talal 505-506
- sistema de tarifas 510
- soluciones administrativas 509-513
- tratamiento de aguas residuales 504-506
- Juntas de Pólderes (Países Bajos) 246
- Laboratorios 392
- Lago Chapala 442, 445-451
- Lago Ontario 37-38
- Lago Tai 339
- Lagunas de estabilización 83-84, 112-113, 224, 433, 505, 509-510
- Lagunas de tratamiento 83-84, 112-113, 505, 509-510
- Legislación 300
- Letrinas 70-71
- Leyes, *véase* Instrumentos de reglamentación, Legislación, Reglamentos
- Licencias 142-143
- Licencias negociables 173, 188
- Lista de Sustancias Prioritarias, Canadá 133
- Lista negra 134
- Manejo de aguas residuales
- aguas residuales domésticas 53-55
- costos y beneficios 208-217
- en Brasil 419-421
- en Jordania 504-513
- en São Paulo 419-424
- financiamiento 201-227
- objetivos del tratamiento 52-53
- operación y mantenimiento 68-70
- situaciones urbanas 204-205, *véase también* Aguas residuales, Efluentes
- Manejo, *véase* Administración
- Mar del Norte, declaración del, *véase* Declaración del Mar del Norte
- Materia suspendida 25-26

- Mejor opción ambiental práctica (MOAP) 57, 140-141, 147-148
- Mejor práctica ambiental 4, 57
- Mejor tecnología disponible (MTD) 57, 141-142, 147-148, 307
- Metahemoglobinemia 155, 465
- Metales en la represa Witbank 410-411
- Metales pesados 346, *véase también* Metales
- México
  - cobros por efluentes 177, 184, 217
  - cuenca Lerma-Chapala 437-453
  - descripción 425, 437
  - financiamiento privado 220
  - incentivos para el cumplimiento 192
  - mapa 426, 438
  - política de precios 176-177
  - Valle del Mezquital 425-435
- Minimización de residuos 59-63, 149, 470
- Misión de las organizaciones 236-238
- MOAP, *véase* Mejor opción ambiental práctica
- Modelos 274-280, 310-311
- Modelos matemáticos 143, 160
- Monitoreo
  - advertencia temprana 286
  - automatizado 285-287
  - automonitoreo 145-146, 281
  - biológico 285
  - cuenca del Danubio 455
  - cuenca Lerma-Chapala 449-450
  - diseño de redes 280-283, 309-310
  - estaciones 281-282
  - flujo 284-285, 310
  - frecuencia y variables 283-284
  - fuentes no puntuales 282
  - fuentes puntuales 281, 284-285
  - Jordania 501
  - medios de comunicación 262, 282-283
  - Nigeria 391-392
  - objetivos 265-266, 280-281
  - para necesidades de información 265
  - río Ganges 334
  - río Pasig 374-375
  - sistemas 309-310
  - tecnología 283-287
  - uso de aguas residuales 109
- Monitoreo automático 285-287
- Monitoreo biológico 285
- Monitoreo de la advertencia temprana 286
- Monitoreo del flujo 284
- Moscú, ciudad
  - abastecimiento de agua 475-479, 482-483
  - administración de recursos hídricos 483-485
  - cooperación internacional 486-487
- Moscú, región 473-487
  - abastecimiento de agua 473, 479-480
  - administración de recursos hídricos 478-479, 483-485
  - calidad del agua 481
  - cooperación internacional 486-487
  - cuenca de agua 476
  - cuerpos de agua 477
  - descripción 473-475
  - esquemas administrativos 475
  - evaluación de recursos hídricos 479-481
  - fuentes de contaminación 481-482, 485
  - geología 474
  - mapa 474
  - problemas con el agua potable 482-483
  - sistemas de agua 475-479
  - tratamiento de aguas residuales 478
  - uso industrial 479
- MTD, *véase* Mejor tecnología disponible
- MTDSCE 57, 142, 147
- Muestreo
  - frecuencia y variables 282-283
  - partículas 285
  - métodos 285
- NCA 135, 139-141, 143, 146-148
- Nigeria 13, 385-398
  - administración de recursos hídricos 392-393
  - contaminación del agua 488-489
  - control de la contaminación industrial 395-398
  - divisiones administrativas 387

- ejemplos de criterios
  - nacionales 16, 20-21
  - formaciones geológicas 388
  - laboratorio nacional de referencia 392
  - mapa 486
  - mapa de la cuenca hidrológica 387
  - normas para efluentes
    - industriales 395-398
    - política ambiental nacional 389-391, 393-394
    - programas de monitoreo 391-392
    - recursos hídricos 485-487
- Nitrato 155-157
  - directiva de la UE 156
- Nitrógeno 156-157
- Niveles de evaluación ambiental (NEA) 140-141
- Norfolk Broads, Reino Unido 157
- Normas 4, 14, 103, 137-142, 213-214, 306-307, 468-469
  - efluentes 143, 232, 395-398
  - emisión de 141-142, 404
  - relacionadas con la industria 141, *véase también* Instrumentos de reglamentación, Reglamentos
- Normas de calidad ambiental, *véase* NCA
- Noruega, control de granjas piscícolas 155
- Nutrientes
  - control 155-157, 160-161
  - remoción 160
- O&M, *véase* Operación y mantenimiento
- Objetivos
  - aguas transfronterizas 31, 36-37
  - cumplimiento del monitoreo 38-40
  - de la calidad del agua 26-40
  - de largo plazo 301
  - definición 14
  - en Dinamarca 276
  - enfoque del ecosistema 31-38, 138
  - esquema de clasificación 31-35
  - establecimiento de 14-15, 27-30, 138-139, 299-303
  - monitoreo 265-266
  - necesidades de información 265-268
  - planificación 347
  - recomendaciones para su elaboración 40-41
  - rehabilitación del río Pasig 370-371
  - río Rin 36-37
- Olifants, río, *véase* Río Olifants
- Operación y mantenimiento 68-69, 237-238, 248-250, 332-333
- Oranji, *véase* Proyecto Piloto Oranji
- Orden y control 171
- Ordenanzas 305
- Organismos 233-235
  - en China 342-344
- Organismos como indicadores 38
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, *véase* FAO
- Organización Internacional de Normalización (ISO) 152
- Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) 136, 140, 171
- Oxígeno disuelto (OD) 375
- Países Bajos
  - cumplimiento de la reglamentación 151
  - cobros por efluentes 177, 182, 216
  - cobros por aguas subterráneas 186
  - esquemas institucionales 246
- Países en desarrollo 203-205, 300
- Papua Nueva Guinea 13
- Parlamento del Agua (Alemania) 245
- Participación de la comunidad 217-219
- Partículas 25-26, 285, *véase también* Sedimentos
- Pasig, río, *véase* Río Pasig, Programa de Rehabilitación del Río Pasig
- Patógenos, remoción por tratamiento 110-116
- Permisos, *véase* Licencias negociables
- Personal 374
- Perú, cólera 205
- Pesca 25
- Pesticidas 157-158
- Piscicultura 155

## 542 Control de la contaminación del agua

- Plan de Acción del Ganges 249, 326-334
  - ambiente urbano 330-331
  - esquemas para residuos domésticos 329-330
  - estrategia 329
  - investigación 331
  - objetivos 328-329
  - opciones tecnológicas 332
  - operación y mantenimiento 332-333
  - participación del público 331-332
  - problemas en la implementación 333-334
  - tratamiento de residuos industriales 330
- Plan Nacional de Acción de Ríos 249
- Planes de acción
  - componentes 317-319
  - cuenca del Danubio 462-463
  - implementación 319-321
  - Plan de Acción del Ganges 249, 326-328
- Planificación
  - de objetivos en el río Haungpu 347
  - para el saneamiento sostenible 222-225
  - para el uso de aguas residuales 97-101
- Planificación y administración de la captación 28, 161-162
- Política
  - en Nigeria 389-392
  - enunciados 3
  - formulación 303
  - marco 1-3
  - necesidades de información 266-271
  - para el control de la contaminación del agua 234
  - para el desarrollo sostenible 222-225
  - para el uso de aguas residuales 97-101
  - para la restricción de cultivos 117-118
- Polonia, fondos ambientales 185
- Prácticas agrícolas 4
- Precio 172-173, 176-177, 450
- Preservación del agua, *véase* Conservación del agua
- Pretratamiento 507, 510
- Prevención de la contaminación 3-4, 59-64
- Principio el que contamina paga 4-5, 171, 308
- Principio preventivo 4, 14
- Priorización 298-299, 313
- Programa 21 3, 293-294, 296, 435, 473
- Programa de Agua y Saneamiento (PNUD/Banco Mundial) 223
- Programa de Rehabilitación del Río Pasig 370-380
  - actividades 371-375
  - desarrollo de la infraestructura 373
  - estructura organizacional 376-378
  - información y educación 373
  - lecciones aprendidas 380-381
  - logros 378-379
  - manejo de residuos sólidos 373
  - monitoreo de la calidad del agua 374-375
  - objetivos 370-371
  - personal 374
  - reducción de la contaminación industrial 372
  - tratamiento de aguas residuales 372
- Propósito de las organizaciones 236-238
- Proyecto Piloto Oranji 207, 217-218
- Proyecto PROSANEAR, Brasil 218
- Público, *véase* Sector público
- RAFA 79-80, 224
- Reactores anaerobios de flujo ascendente, *véase* RAFA
- Recuperación de aguas residuales 495
- Recursos hídricos 231
  - administración 260-264, 295, 478-479
  - administración en Nigeria 292-293
  - en Chipre 489-492
  - en Nigeria 385-386
  - en Yemen 519-520
  - evaluación 296, 479-481
  - manejo integral 313-314
- Reembolso del depósito, *véase* Sistema de reembolso del depósito
- Registro Internacional de Productos Químicos Potencialmente Tóxicos (RIPQPT) 133

- Reglamentación 5, 232-233, 240-242, 305  
 de fuentes no puntuales 162-163  
 de fuentes puntuales 142-153  
 en China 342-343  
 en India 247  
 en México 448,  
*véase también* Aspectos legales,  
 Instrumentos de reglamentación,  
 Normas
- Reglamento de Sustancias Existentes 134
- Reino de Jordania, *véase* Jordania
- Reino Unido  
 clasificación de la calidad del agua 33  
 control de fuentes puntuales 143-144  
 control de la contaminación  
 agrícola 154-155  
 control de nitratos 156  
 cumplimiento de las normas 150-151,  
 213-214  
 esquemas institucionales 243-244  
 Norfolk Broads 157  
 protección de aguas subterráneas 165  
 reglamentación de fuentes no  
 puntuales 162-164
- Remoción de fosfatos 161
- Reportes/informes 272-273
- Represa de captación Witbank 401-413  
 amoníaco 411  
 aspectos de calidad del agua 405  
 descripción 401-404  
 eutroficación 409  
 intervención administrativa 405-406  
 mapa de ubicación 402  
 mapa detallado 403  
 metales 410-411  
 plan de administración 407-410  
 prevención y reducción de la  
 contaminación 410-412  
 salinidad 408  
 sólidos disueltos totales 406  
 sulfato 406, 408-409
- Reservorios  
 King Talal, Jordania 505-506  
 para el uso de aguas residuales 115
- Reservorios de almacenamiento 115
- Residuos agropecuarios 154-155
- Residuos, minimización, *véase*  
 Minimización de residuos
- Reúso de aguas residuales, *véase* Uso de  
 aguas residuales
- Riego 19-20
- Riego con aguas residuales 94-97,  
 99, 114  
 Chipre 494-495  
 restricción de cultivos 430  
 selección de cultivos 116-118  
 técnicas 118-120  
 Valle del Mezquital, México 425-435
- Riego con aguas residuales 94-97, 99,  
 426-429
- Rin, río, *véase* Río Rin
- Río Danubio 153-154, 455  
 Convención para la Protección 462  
 tributarios 458
- Río Ganges 16, 32, 323-336  
 descripción 323-324  
 evaluación de la  
 contaminación 326-328  
 explotación 325-326  
 inventario de la contaminación 327  
 mapas 324-325  
 monitoreo 334
- Río Huangpu, China 337-361  
 captación del agua 349-353  
 centrales hidroeléctricas 417-418  
 contaminación del agua 342  
 control de la exposición humana 121  
 DBO 361  
 estrategia de control de la  
 contaminación 348-349  
 incentivos 174, 192, 469  
 mapas 338-339  
 medidas de limpieza 359-360  
 medidas hidrológicas 281  
 oxígeno disuelto 360
- Río Olifants, Sudáfrica 401-413  
 mapa 402
- Río Pasig 363-383  
 asentamientos marginales 366-368,  
 380-381  
 carga de DBO 369  
 DBO y OD 375

## 544 Control de la contaminación del agua

- descripción de la cuenca 364-367
- fuentes de contaminación 366-367
- inundaciones 368
- mapa detallado 365
- programas anteriores de rehabilitación 369-370
- uso del 368-369
- Río Rin 26
  - objetivos de la calidad del agua 36-37
- Río Suzhou, China 341
- Río Yantze 334-340
- Rusia
  - fondos ambientales 185
  - cobros por contaminación 183
- Salinidad, represa Witbank 408-409
- Salud
  - protección para el uso de aguas residuales 105-125
- Sana'a, Yemen
  - contaminación de aguas subterráneas 522-526
  - descripción 518
  - explotación de aguas subterráneas 524
  - intervenciones planificadas 526-527
  - mapa de la cuenca 519
  - redes de distribución de agua 522-523
  - riego 524-525
  - sistemas de aguas residuales 522-523
  - uso de aguas residuales 524-525
  - uso del agua 520-521
  - zonas de calidad de aguas subterráneas 523-524
- Saneamiento en el lugar 70-73
- Saneamiento fuera del lugar 73-86
- Saneamiento sostenible 222-225
- Saneamiento, estrategias, *véase* Estrategias de saneamiento
- São Paulo
  - desarrollo de recursos hídricos 417-418
  - manejo de efluentes industriales 419-424
  - mapa 416
  - población y abastecimiento de agua 416-417
  - proyecto Tietê 419-420
  - región metropolitana 415-418
  - vulnerabilidad de las aguas subterráneas 166
- Sector público
  - empresas 470
  - financiamiento 209-210
  - participación 7, 109-110, 119, 148, 273, 311-313, 331-332
- Sedimentos 25-26, 157, 508
- Sensores remotos 286
- Shanghai 337-359
  - mapa 338-339
  - recolección de aguas residuales 354-357
  - recursos hídricos 339-341
  - tratamiento de aguas residuales 357-359
- Shanghai, río Huangpu, *véase* Río Huangpu
- Sistema de apoyo para la toma de decisiones 277-278
- Sistema de Información Geográfica (SIG) 272-273, 279
- Sistema de reembolso del depósito 173, 192
- Sistema de tratamiento de capa biológica 84-85
- Sistema Nacional de Eliminación de Descargas de Contaminantes (SNEDC) 145
- Sistemas basados en el conocimiento 277-278
- Soluciones ganadoras 313
- Sostenibilidad 315
- Sri Lanka, desarrollo organizacional 252-253
- Subsidios 173, 189-192
- Sudáfrica 401-413
  - administración ambiental 404-412
- Suecia, cobro a los usuarios 187
- Sulfato, represa Witbank 406, 408-409
- Sustancias peligrosas 16-17, 39, 465, 506
  - Directiva de Comercialización y Uso 134
- Sustancias tóxicas 397, 506, 508
- Suzhou, río, *véase* Río Zuzhou



- Tailandia  
 clasificación de la calidad del agua 32-33  
 cobro a los usuarios 187  
 fondos ambientales 185  
 subsidios 190
- Taiwán, subsidios 191
- Tanques sépticos 66-67, 69-70
- Tarifas 172-173
- Tecnología  
 costo-eficiencia 223-224  
 necesidad de 45-47  
 opciones para el Ganges 332  
 para el monitoreo 283-287  
 selección 45-87,  
*véase también* Tratamiento de aguas residuales
- Tecnología generalmente disponible (TGD) 307
- Tecnología limpia 149
- Tecnología para ahorrar agua 225
- Tietê, proyecto, *véase* Proyecto Tietê  
 Proyecto Tietê, Brasil 419-420  
 descripción del área 415-418  
 mapa 416
- Toxicidad 284
- Toxinas 156
- Transporte 465
- Tratamiento aerobio 84-85
- Tratamiento anaerobio 79-81
- Tratamiento con lodos activados 84-86
- Tratamiento de aguas residuales  
 aerobio 84-85  
 anaerobio 79-81  
 aspectos financieros 213-217  
 avanzado 56-57  
 biofiltros (pantanos  
 construidos) 56, 64  
 centralizado y descentralizado 46  
 costo-eficiencia 223-224  
 costos 68-69  
 criterios para la selección 58-59  
 cuenca Lerma-Chapala 446-451  
 eficiencia de los procesos 60-61  
 en el lugar y fuera del  
 lugar 53-55, 73-86, 233  
 esquema de préstamos 212-213  
 fisicoquímico 78-79  
 niveles 55-57  
 no mecanizado 81-82  
 normas de efluentes para las aguas  
 receptoras 52  
 operación y mantenimiento 68-70  
 para el uso de aguas residuales 10  
 para viviendas urbanas 202-204  
 participación de la comunidad 217-219  
 primario 55, 76, 112  
 región de Moscú 478-479  
 secundario 55-56, 76-78, 112  
 terciario 56, 115-116, 161
- Tratamiento de capa biológica 84-85
- Tratamiento de crecimiento  
 suspendido 84-85
- Tratamiento de lodos 116
- Tratamiento fisicoquímico 78-79
- Turquía  
 cobro a los usuarios 186  
 subsidios 190
- Urbano  
 autoridades 236-237  
 contaminación 158-161  
 migración 367-368  
 saneamiento 70-74, 201-213
- Uso de aguas residuales 41-126  
 acuerdos institucionales 104-105  
 acuicultura 102-103  
 aspectos culturales 108  
 aspectos económicos y  
 financieros 106-108, 225  
 aspectos de salud 110-125  
 aspectos legales y de  
 reglamentación 99-104  
 beneficios 107  
 costos de tratamiento 46  
 Chipre 494-495  
 guías 101-102  
 monitoreo 108-109  
 normas para 103  
 para inodoros 62  
 participación pública 109-110  
 política y planificación 97-98

## 546 Control de la contaminación del agua

- selección de cultivos 116-118
- sistemas agrícolas 94-110
- técnicas de riego 118-121
- tratamiento para la protección de la salud 110-116
- uso industrial 93-94
- uso recreativo 94
- uso urbano 92-93
- Yemen 524-525
- Uso de aguas residuales en la acuicultura 102-186
- Uso de los recursos hídricos 260-261
- Uso recreativo del agua 22-23
- Usuarios
  - cobro 179-184
  - control 450
- Valle del Mezquital 425-435
  - descripción 426
  - gestión del uso de aguas residuales 432-434
  - producción agrícola 428
  - riego con aguas residuales 426-427
- Valores límites 137-138, 141-142
- Variables 281-283
- Vida acuática
  - clasificación CEE 34-35
  - protección de la 23-25
- Viet Nam 13
- Yantze, río, *véase* Río Yantze
- Yemen 515-528
  - aspectos del agua 518
  - contaminación de aguas residuales 522
  - descripción 515-516
  - estructura del sector de agua 516-517
  - mapa 516
  - marco legal 518
  - recursos hídricos 517-520
- Zonas de protección del agua 163
- Zonas protegidas 163-164

## Guía para la aplicación de principios relacionados con el manejo de la calidad del agua

Editado por Richard Helmer e Ivanildo Hespanhol

El agua dulce de alta calidad es limitada, de ahí la necesidad de una gestión integral en la que estén representados todos los usuarios del agua. El manejo efectivo debe asegurar el mejor uso de los recursos disponibles, prevenir la contaminación y reducir los conflictos que usualmente genera el acceso al agua dulce. Todo ello requiere el establecimiento de políticas y estrategias claramente definidas, así como la elaboración de reglamentos y mecanismos para controlar la contaminación del agua.

El texto ha sido preparado por expertos internacionales que participaron en el Grupo de Trabajo coordinado por la Organización Mundial de la Salud y dirigido por funcionarios del PNUMA, ILABHAI, FAO, OMS y CCAAS que trataron aspectos específicos del manejo de recursos hídricos y control de la contaminación del agua. También se han incluido estudios de casos de diversas regiones y se han resaltado modelos de manejo de aguas residuales y control de la contaminación que han tenido éxito en diferentes países.

El *Control de la contaminación del agua* ofrece principios que orientan el manejo efectivo de la calidad del agua y se centra en:

- la identificación, clasificación y prioridad de los problemas locales relacionados con la calidad del agua y el control de la contaminación;

- el desarrollo e implementación de políticas, esquemas de planificación y coordinación, preparación y adaptación de legislación, programas de monitoreo, vigilancia del cumplimiento de los reglamentos, capacitación y diseminación de información;
- herramientas e instrumentos de gestión, tales como reglamentos, normas de calidad del agua, sistemas de monitoreo, modelos de calidad del agua y evaluación del impacto;
- estrategias de largo plazo para el control de la contaminación del agua basadas en metas realistas de corto plazo.

Este manual está dirigido a quienes formulan políticas y a los gerentes ambientales de las empresas de agua e ingeniería involucrados en programas de calidad del agua, especialmente en países en desarrollo. También puede ser usado como texto o material de capacitación en cursos de manejo de la calidad del agua.

**Richard Helmer** es jefe de la Unidad de Salud Ambiental Urbana en la sede de la OMS en Ginebra y también es responsable del programa de vigilancia mundial de la calidad del agua (GEMS AGUA).

**Ivanildo Hespanhol** es profesor a tiempo completo del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Sanitaria de la Universidad de São Paulo y trabajó en la sede de la OMS desde 1987 hasta 1995.

Impreso en el  
Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria  
y Ciencias del Ambiente (CEPIS)  
Los Pinos 259, Urb. Camacho - Lima 12, Perú  
Casilla de Correo 4337 - Lima 100, Perú  
Teléfono: (51-1) 437-1077 Fax: (51-1) 437-8289  
Internet: [cepis@cepis.ops-oms.org](mailto:cepis@cepis.ops-oms.org)  
<http://www.cepis.org.pe>