DIAGNÓSTICO DEL AGUA EN LAS AMÉRICAS

Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC
Insurgentes Sur No. 670, Piso 9
Colonia Del Valle
Delegación Benito Juárez
Código Postal 03100
México, Distrito Federal
www.foroconsultivo.org.mx
foro@foroconsultivo.org.mx
Tel. (52 55) 5611-8536

PARA USO RESTRINGIDO

Responsables de la edición:
Juan Pedro Laclette y Patricia Zúñiga

Coordinadores:
Blanca Jiménez Cisneros (Academia Mexicana de Ciencias)
Jóse Galizia Tundisi (Academia Brasileña de Ciencias)

Traducción:
Academia Mexicana de Ciencias

Recopilación de la información:
Tania Elena Rodríguez Oropeza

Coordinador de edición:
Marco A. Barragán García

Corrección de estilo:
Elia Irene Lechuga Almaraz

Diseño de portada e interiores:
Víctor Daniel Moreno Alanís y Mariano Alejandro Hernández Salas

FORO CONSULTIVO

Cualquier mención o reproducción del material de esta publicación
puede ser realizada siempre y cuando se cite la fuente.

Derechos Reservados
FCCyT, marzo de 2012

Impreso en México

DIAGNÓSTICO DEL AGUA EN LAS AMÉRICAS

PARA USO RESTRINGIDO

RED INTERAMERICANA DE ACADEMIAS DE CIENCIAS
FORO CONSULTIVO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO, AC

COORDINADORES

BLANCA JIMÉNEZ CISNEROS

JOSÉ GALIZIA TUNDISI

FORO CONSULTIVO

IANAS
INTERAMERICAN NETWORK OF ACADEMIES OF SCIENCES

FORO CONSULTIVO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO, AC

PARA USO RESTRINGIDO

FORO CONSULTIVO

Prólogo

Este volumen proporciona, por primera vez, una evaluación de los recursos hídricos en el Continente Americano. Se presenta el diagnóstico de 15 países.

PARA USO RESTRINGIDO

El agua es vital para la vida humana; usamos agua para beber, para producir nuestros alimentos, para sanear nuestro ambiente, como medio de transporte, para generar energía y mil otros fines. Los recursos hídricos son finitos y además se encuentran distribuidos desigualmente en las regiones del mundo.

En América, la región de Atacama en Chile es famosa por una ausencia casi total de lluvias; en el mismo sentido, las comunidades de los áridos desiertos en el suroeste de América del Norte, están comprometidas en una batalla constante para proporcionar suficiente agua para la vida humana. En contraste, otras regiones como la cuenca del Amazonas son igualmente famosas por la abundancia de agua, pero incluso esa abundancia puede verse amenazada con el cambio de los patrones climáticos.

Un hecho sobre el agua destaca sobre todos los demás: los patrones actuales de utilización de agua no son sostenibles en muchas regiones del mundo, incluyendo porciones importantes del continente Americano.

Uno de los grandes retos del siglo XXI será mejorar nuestra gestión y la utilización de agua, para garantizar que este recurso fundamental soporte una población mundial de nueve mil millones o más en 2050. Una contribución sustantiva para la solución de este reto es el uso eficaz de la ciencia, que mejore el uso de nuestros recursos de agua. El uso eficaz de la ciencia significa no sólo crear nuevo conocimiento, sino también traducir ese conocimiento científico hacia público abierto, de tal modo que las nuevas tecnologías y los nuevos conceptos puedan implementarse rápidamente.

FORO CONSULTIVO

Este volumen es el resultado de un proyecto de la Red del Agua de la Interamerican Network of Academies of Science (IANAS, por sus siglas en inglés). Nuestra organización es la red de academias de ciencias del continente americano, creada a partir de la iniciativa y del espíritu que alienta el funcionamiento del Panel Interacadémico (IAP) que agrupa a más de cien academias nacionales de ciencia en todo el mundo.

Son miembros de IANAS todos los países que tienen constituida una academia de ciencias. La misión de IANAS es fomentar la cooperación entre las academias de ciencias y promover su participación como actores relevantes en el desarrollo de los países de la

región. IANAS basa su funcionamiento en la operación de programas. El Programa del Agua completa su primera etapa con la publicación de este volumen: *Diagnóstico del agua en las Américas*. El diagnóstico de cada país resulta del trabajo de redes de científicos en cada una de las academias miembro de IANAS. La coordinación del trabajo estuvo a cargo de José Galizia Tundisi del Brasil y Blanca Jiménez de México, quienes copresiden el programa.

IANAS puede establecer rápidamente conexiones entre los científicos que poseen la mejor información científica actual y aquellas instancias en cada país que la requieren para tomar decisiones. Uno de los objetivos de IANAS es el de proveer la información fundamental que permita una asignación adecuada de los recursos hídricos por parte de las autoridades involucradas. También identificamos oportunidades en el diseño de nuevos procesos que mejoren el uso del agua hasta alcanzar la sustentabilidad en el largo plazo. Finalmente, recomendamos el contacto con las academias nacionales de ciencias en el Continente Americano como interlocutores que aportan asesoría experta a los tomadores de decisiones en el ámbito local y nacional.

Agradecemos a todos los científicos de nuestro Continente Americano que contribuyeron a este volumen, a la red global de las academias de la ciencia (IAP) por su apoyo financiero y al Foro Consultivo Científico y Tecnológico por su apoyo para la edición, impresión y distribución de este libro.

Enhorabuena por este valioso esfuerzo.

Michael Clegg y Juan Pedro Laclette
Copresidentes de IANAS

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Prólogo

La disponibilidad de agua en cantidad y calidad es esencial para el desarrollo económico y social de los continentes, los países y las regiones.

PARA USO RESTRINGIDO

El continente americano alberga un grupo de países variados que difieren en sus características geográficas, históricas, económicas, sociales y ecológicas que derivan en una estructura diferente de disponibilidad y manejo del recurso hídrico.

En estos países y regiones, el agua puede ser abundante, escasa o incluso rara. Los usos múltiples de este recurso en la agricultura, la industria o suministro municipal son complejos y demandan un manejo integrado del mismo, el cual es difícil de implementar. Más aún porque las actividades humanas impactan cada día más los cuerpos superficiales y subterráneos de agua, lo que, combinado con la elevada tasa de urbanización que existe en el ámbito mundial, agrava cada día más los problemas de disponibilidad del recurso por contaminación y agotamiento con severos efectos en la salud pública y de los ecosistemas que constituyen un grave problema de seguridad para todo el mundo.

Confiamos en que las contribuciones presentadas en este libro sean representativas de la diversidad en la disponibilidad de agua, problemas de contaminación y estrategias de política pública en el continente. La política del manejo del agua difiere considerablemente en los países: la legislación y la política pública son diversas y se encuentran en diferentes grados de desarrollo. La descripción comparativa del estado de la política del agua así como de su disponibilidad o abundancia en diferentes países será, sin duda, una información útil para avanzar en el intercambio de experiencias en los ámbitos político y técnico.

FORO CONSULTIVO

Los editores confían en que este libro será útil para consolidar el estudio de los recursos hídricos en los diferentes países del Continente Americano y contribuir así al desarrollo de las políticas públicas para su manejo.

Los editores agradecen infinitamente los esfuerzos de todos los autores de esta obra, así como a quienes participaron como coordinadores de los textos de cada país como miembros de la Red del Agua de IANAS. Los doctores Blanca Jiménez Cisneros y José Galizia Tundisi agradecen a la Academia Mexicana de Ciencias, a la Academia de Ciencias de Brasil y al Comité Directivo de IANAS su apoyo para la producción de este texto.

Blanca Jiménez Cisneros y José Galizia Tundisi
Copresidentes del Programa del Agua de IANAS

Foro Consultivo Científico y Tecnológico

La Ley de Ciencia y Tecnología, publicada en junio de 2002, planteó modificaciones importantes a la legislación en esta materia, tales como: la creación del Consejo General de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico, la identificación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) como cabeza del sector de ciencia y tecnología, y la creación del Foro Consultivo Científico y Tecnológico (FCCyT).

El FCCyT está integrado, a su vez, por una Mesa Directiva formada por 20 representantes de la academia y el sector empresarial, 17 de los cuales son titulares de diversas organizaciones mientras que los tres restantes son investigadores electos del Sistema Nacional de Investigadores (SNI).

En este sentido, el FCCyT forma parte del Consejo General de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico encargado de regular los apoyos que el Gobierno Federal está obligado a otorgar para impulsar, fortalecer y desarrollar la investigación científica y tecnológica en general en el país. El FCCyT lleva al Consejo General de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico la expresión de las comunidades científica, académica, tecnológica y del sector productivo, para la formulación de propuestas en materia de políticas y programas de investigación científica y tecnológica.

De acuerdo con la Ley de Ciencia y Tecnología, el FCCyT tiene tres funciones sustantivas:

Su primera función sustantiva es la de fungir como organismo asesor autónomo y permanente del Poder Ejecutivo –en relación directa con el CONACYT, varias secretarías de Estado y el Consejo General de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico–, pero también atiende al Poder Legislativo.

La segunda función sustantiva es la de ser un órgano de expresión y comunicación de los usuarios del sistema de ciencia, tecnología e innovación (CTI). Su objetivo es propiciar el diálogo entre los integrantes del Sistema Nacional de Investigación y los legisladores, las autoridades federales y estatales y los empresarios, con el propósito de estrechar lazos de colaboración entre los actores de la triple hélice –academia-gobierno-empresa.

Es de resaltar el trabajo continuo y permanente con legisladores de los estados de la República, particularmente con los miembros de las comisiones que revisan los asuntos de educación y CTI en sus entidades federativas. Esta relativa cercanía posiciona al FCCyT como un actor pertinente para contribuir, junto con otros, al avance de la federalización

OBRA NO DESTINADA A LA VENTA
FORO CONSULTIVO

y del financiamiento de la CTI. En este sentido, se puede contribuir al trabajo del propio CONACYT, de las secretarías de Economía y de los consejos estatales de Ciencia y Tecnología para conseguir la actualización de las leyes locales, en términos que aumenten su coherencia con la Ley Federal de Ciencia Tecnología e Innovación.

El FCCyT también se ha dado a la búsqueda de mecanismos para la vinculación internacional a través de diversas agencias multilaterales. Todo ello, orientado a una búsqueda permanente de consensos alrededor de acciones y planes que se proponen en el Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (PECiTI).

En cuanto a la tercera función sustantiva –comunicación y difusión de la CTI–, el Foro hace uso de distintos medios, desde la comunicación directa por medio de foros, talleres y otro tipo de reuniones de trabajo, hasta el uso de los medios de comunicación masiva y de Internet. Para mencionar sólo un ejemplo, nuestro nuevo portal electrónico ofrece ahora una mayor diversidad de servicios a los usuarios, incluyendo una gran variedad de mecanismos (concentrado de noticias de CTI, *Gaceta Innovación*, Acertadístico, cifras sobre la evolución en CTI, información sobre las cámaras legislativas y los estados de la República, *blogs*, entre otros) para posibilitar un análisis más preciso de nuestro desarrollo en el ramo. Una señal inequívoca del avance es el aumento en el número de visitas al portal electrónico del FCCyT en más de un orden de magnitud.

En resumen, el FCCyT es una instancia autónoma e imparcial que se encarga de examinar el desarrollo de la CTI en el país. Sin embargo, tenemos el reto de incrementar la conciencia social en esa materia, partiendo siempre de la premisa del compromiso social de la ciencia, ya que el conocimiento *per se* pierde una parte de su valor si no se logra su utilización y su aplicación para mejorar las condiciones y la sustentabilidad de la vida en el país.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

PARA USO RESTRINGIDO

FORO CONSULTIVO

Índice

Prólogo v

Presentación 16

El estado de situación de los recursos hídricos de Argentina: la cuestión del agua 19

1. Introducción 19
2. Contexto 21
3. Sostenibilidad del uso de los recursos hídricos: situación general y perspectivas 21
4. Temas emergentes relacionados con el agua 29
5. Situación de los recursos hídricos en Argentina 39
6. Recursos hídricos interjurisdiccionales (Anexo I) 63
7. Marco jurídico-administrativo del agua en la República Argentina (Anexo II) 65
8. Glosario 67
9. Siglas 70
10. Referencias 71

Los recursos hídricos en Bolivia: un punto de vista estratégico sobre la problemática de las aguas transfronterizas 75

1. Introducción 75
2. Disponibilidad de agua en Bolivia 78
3. Disponibilidad de aguas superficiales 80
4. Disponibilidad de aguas subterráneas en Bolivia 86
5. Problemática de las agua superficiales transfronterizas 88
6. Problemática de las aguas subterráneas transfronterizas 92
7. Referencias 95

La política hídrica en Brasil 97

1. Introducción 97
2. Los recursos hídricos en Brasil 98
3. Usos del agua 99
4. Usos múltiples del agua y los conflictos que generan 99
5. La calidad del agua en Brasil 100
6. Desarrollo institucional del manejo de recursos hídricos 101
7. Retos para la política del agua en Brasil 103
8. Conclusiones 108
9. Referencias 109

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Los recursos hídricos en Canadá: un punto de vista estratégico 113

1. Introducción 113
2. Situación general del agua en Canadá 114
3. Gobernanza del agua dentro de Canadá e internacionalmente 116
4. Problemas hídricos regionales estratégicos en Canadá 124
5. Problemas hídricos que se presentan en muchas regiones de Canadá 141
6. Recomendaciones para aliviar los problemas hídricos estratégicos de Canadá 149
7. Reconocimientos 155
8. Sitios web 155
9. Referencias 156

El sector del agua en Chile: su estado y sus retos 169

1. Introducción 169
2. Disponibilidad de los recursos hídricos 170
3. Aprovechamientos del agua 177
4. Agua y sociedad 186
5. Conclusiones 191
6. Reconocimientos 191
7. Referencias 192

Una visión al estado del recurso hídrico en Colombia 195

1. Introducción 195
2. El territorio colombiano 196
3. Generalidades sobre el recurso hídrico en Colombia 197
4. Balance hídrico 198
5. Embalses y humedales 200
6. Otros recursos (zonas inundables, pantanos, glaciares, páramos) 203
7. Aguas subterráneas 204
8. Las áreas marítimas colombianas 205
9. Usos del agua 206
10. Calidad del agua 207
11. Vulnerabilidad de las cuencas 209
12. Agua potable y saneamiento básico 210
13. Agua y salud humana 212
14. Proyecciones de demanda y oferta para 2015 y 2025 213
15. Agua, energía e impactos ambientales 215
16. Gobernanza del agua 215
17. Política y legislación de las aguas en Colombia 217
18. Amenazas para el agua en Colombia 220
19. Usos potenciales del agua en Colombia y mecanismos de administración 221
20. Conclusiones 223
21. Referencias 223

Los recursos hídricos en Costa Rica: un enfoque estratégico 227

1. Introducción 227
2. Antecedentes 228
3. Recursos hídricos nacionales y su uso 229

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

4. Balance hídrico 231
5. Usos nacionales del agua 231
6. Agua y el ambiente 233
7. Agua potable, sanitaria y salud 234
8. Uso de la tierra: deforestación y degradación del suelo 235
9. Leyes e instituciones relacionados con el agua 237
10. Gestión integrada de los recursos hídricos 240
11. Conclusiones 241
12. Reconocimientos 242
13. Referencias 242

Los recursos hídricos en Cuba: una visión 245

1. Introducción 245
2. Uso del agua 246
3. Agua y agricultura 247
4. Agua e industria 248
5. Agua para el uso humano: cantidad, calidad y acceso 249
6. Calidad de las aguas terrestres 250
7. Agua en las áreas urbanas 251
8. Aguas residuales y saneamiento 253
9. Agua y salud humana 255
10. Agua y economía 256
11. Agua para energía e impacto de las empresas 257
12. Inundaciones y sequias 257
13. Legislación 258
14. Conflictos por el agua 259
15. Gobernabilidad del agua 260
16. Escenarios debido a los cambios globales 263
17. Agua, cultura y religión 263
18. Referencias 265

Los recursos hídricos de los Estados Unidos y su administración 267

1. Introducción 267
2. La existencia y disponibilidad del agua 268
3. Usos del agua 272
4. Investigación en recursos hídricos en los Estados Unidos 274
5. Los principales asuntos hídricos que enfrentan los Estados Unidos 276
6. Referencias 279

Estado del agua en Guatemala 281

1. Introducción 281
2. Disponibilidad y distribución espacial y temporal del recurso hídrico 282
3. Balance hídrico del 2005 284
4. Balance hídrico y escenarios al 2025 286
5. Agua y agricultura 292
6. El agua y la industria 294
7. Agua para abastecimiento humano: cantidad, calidad y acceso 295

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

8. Contaminación 296
9. Agua en las áreas urbanas 297
10. Agua y saneamiento 298
11. Agua y salud pública 298
12. Agua y economía 299
13. Agua y energía 300
14. Inundaciones y sequías 300
15. Legislación 302
16. Conflictos 304
17. Gobernabilidad 305
18. Escenarios debido a cambios globales 305
19. Agua, cultura y religión 306
20. Referencias 307

PARA USO RESTRINGIDO

Los recursos hídricos en México: situación y perspectivas 309
1. Introducción 309
2. Datos generales del país 309
3. Antecedentes históricos 310
4. Disponibilidad 310
5. Usos 312
6. Agua y energía 322
7. Calidad del agua 324
8. Fuentes de contaminación 328
9. Reúso 330
10. Efectos en la salud 330
11. Desarrollo económico 332
12. Género y agua 334
13. Pobreza 335
14. Agua y población indígena 338
15. Agua transfronteriza 339
16. Cambio climático 342
17. Eventos extremos 343
18. Administración del agua 347
19. Marco jurídico 351
20. Referencias 354

FORO CONSULTIVO

Recursos hídricos en Nicaragua: una visión estratégica 359
1. Introducción 359
2. Los recursos hídricos de Nicaragua 361
3. Usos del agua 362
4. Situación ambiental de los recursos hídricos 374
5. Agua y saneamiento 385
6. Cambio climático 391
7. Agua y salud 394
8. Marco legal 395
9. Referencias 397

Recursos hídricos en el Perú: una visión estratégica 405
1. Introducción 405
2. El recurso hídrico 405
3. Usos del agua en el Perú 408
4. Aspectos ambientales y contaminación del agua 411
5. Agua y sociedad 413
6. Eventos extremos: sequías y avenidas en el Perú-Reducción del riesgo de desastres de origen climático 414
7. Marco institucional 414
8. Esfuerzos recientes en investigación en recursos hídricos 416
9. Conclusiones 418
10. Reconocimientos 418
11. Referencias 419

Agua potable y saneamiento en la República Dominicana 421
1. Introducción 421
2. Aguas subterráneas de la planicie costera oriental 422
3. Calidad de las aguas subterráneas de la planicie costera 423
4. El conflicto sociedad-gobierno por la protección del agua de los Haitises 424
5. Contaminación orgánica de las aguas superficiales y subterráneas 425
6. El agua y el cólera del 2011 en la República Dominicana 427
7. Las presas y sus conflictos sociales y ambientales 428
8. El problema social y ambiental de la crecida del lago Enriquillo 429
9. El problema de las basuras que contaminan las aguas 432
10. La iglesia, el agua y el medio ambiente 433
11. Contaminación de las aguas por las operaciones mineras 435

Manejo de los recursos hídricos en Venezuela: aspectos generales 437
1. Introducción 437
2. El recurso hídrico 438
3. Venezuela en el mundo 438
4. Embalses en Venezuela 439
5. Algunos problemas relacionados con el manejo de los recursos hídricos 440
6. Instrumentos legales y algunas normas regulatorias para el manejo de los recursos hídricos en Venezuela 441
7. Instituciones relacionadas con el manejo y la investigación de los recursos hídricos 442
8. Ejemplos de prácticas relacionadas con el manejo de los recursos hídricos en Venezuela 443
9. Conclusiones 445
10. Reconocimientos 445
11. Referencias 445

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Presentación

Desde 1993, el 22 de marzo es el Día Mundial del Agua. Más que conmemorativo, al establecer este día, la Organización de las Naciones Unidas buscó centrar la atención sobre uno de los problemas que ya enfrenta la humanidad: la escases de agua para consumo humano y para la producción.

Este año el tema del agua se asocia a otro de no menor importancia el de la seguridad alimentaria, sobre todo cuando en 2011 se alcanzó la cifra de siete mil millones de seres humanos habitando en este planeta y es que como mencionara Irina Bokova, Directora General de la UNESCO: "Es imposible lograr un desarrollo humano sostenible sin agua de buena calidad, a la que todos tengan acceso".

Si bien se han hecho esfuerzos por mejorar los servicios relacionados con el agua (en los que participan autoridades, especialistas e instituciones de educación superior), en ocasiones se realizan de manera aislada y sin un conocimiento real de la situación en cada país, ciudad o municipio.

Diagnóstico del agua en las Américas, coordinado por Blanca Jiménez Cisneros y José Galizia Tundisi, y editado por el Foro Consultivo Científico y Tecnológico (FCCyT) y la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS por sus siglas en inglés), es un acercamiento a la problemática y a los retos que enfrentan 15 países de América para el manejo sustentable del agua.

En este libro, especialistas de Argentina, Bolivia, Brasil, Canadá, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Estados Unidos, Guatemala, México, Nicaragua, Perú, República Dominicana y Venezuela analizan la diversidad de problemas relacionados con el agua y las soluciones que se han propuesto.

Tanto IANAS como el FCCyT pretenden que este libro contribuya al conocimiento de de los recursos hídricos en los quince países que se incluyen, además de una oportunidad para intercambiar puntos de vista y de impulsar una colaboración más estrecha entre los especialistas y las autoridades correspondientes en cada país.

Los problemas que se enfrentan en materia hídrica no difieren mucho de país a país, aunque cada uno ha trabajado de manera diferente para mejorar la explotación de sus recursos hídricos. Asimismo, como parte del panorama sobre los recursos hídricos de

VARIA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

cada nación representada en este texto, empezamos a conocer las políticas y leyes que se han impulsado en cada una de ellas para acceder, proveer y proteger el agua. Otro tema importante que se plantea es el de las aguas transfronterizas, que representan, en algunos casos, conflictos entre países.

La relación entre el Foro Consultivo y IANAS se ha desarrollado a través de la Academia Mexicana de Ciencias. Dicha relación ha permitido emprender juntos proyectos de trabajo productivos, cuyos beneficiarios incluyen a los académicos y la sociedad misma, que esperamos se apropie del conocimiento que difundimos, a través de Internet y de las publicaciones impresas.

Con la publicación de este libro, el Foro Consultivo Científico y Tecnológico cumple con una de sus funciones principales y contribuye al mejor conocimiento de uno de los temas que deberán estar en primer lugar en la agenda mundial de los próximos años.

Juan Pedro Laclette
Coordinador General del FCCyT

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Glaciar Perito Moreno, Parque Nacional Los Glaciares, provincia de Santa Cruz, Argentina
Foto tomada por Luca Galuzzi (http://www.galuzzi.it)

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

El estado de situación de los recursos hídricos de Argentina

La cuestión del agua

PARA USO RESTRINGIDO

"Y el tiempo irreversible que nos hiere y que huye,
Agua, no es otra cosa que una de tus metáforas".
J. L. Borges ("Poema del cuarto elemento", 1964).

José María Dagnino Pastore[1], Adolfo Sturzenegger[1], Eduardo H. Charreau[2], Oscar Vardé[3], Conrado Bauer[3] y Pablo Bereciartúa[1]

[1]Academia Nacional de Ciencias Económicas.
[2]Academia Nacional de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales.
[3]Academia Nacional de Ingeniería.

1. Introducción

CONSULTIVO

Las Academias Nacionales que auspiciaron este trabajo han convocado un grupo de profesionales universitarios, preocupados por la problemática del agua en la Argentina, se han dedicado a analizar la situación, reunir parte de la información disponible hasta 2008/2010, generalmente dispersa y discontinua, y exponer sus opiniones en el presente trabajo de divulgación.

Nuestra intención es destacar la significación de la cuestión del agua en nuestro país y la necesidad de apoyar la adopción de las medidas más urgentes requeridas por la situación actual. Simultáneamente se trata de promover en el corto plazo la ampliación de programas de trabajo que faciliten los análisis e impulsen la organización integral y el funcionamiento efectivo de los sistemas de captación de datos y el consiguiente acopio y divulgación de la tan necesaria información sistemática y continuada. Todo ello a fin de cooperar con los decisores públicos y

privados para generar diagnósticos y evaluación de alternativas que alienten acuerdos sobre propuestas operativas de aplicación prioritaria. Así podrá respaldarse una oportuna y apropiada asignación de recursos presupuestarios e ingresos complementarios legítimos para desarrollar políticas y proyectos que preserven armoniosamente la realización y complementación de dos objetivos básicos: satisfacer la función social del agua (equidad) y facilitar su utilización productiva (crecimiento) para contribuir a un desarrollo sostenible e integral del país.

Es unánime el reconocimiento internacional del agua como soporte esencial para la vida y su devenir. Ello conlleva el imperativo de cuidar su gestión, calidad y uso racional y, consecuentemente, proteger su ciclo natural y sus ecosistemas de cuencas hídricas superficiales y subterráneas, así como expandir y afianzar la eficiente prestación de los servicios de depuración y provisión de agua segura, la recolección, tratamiento y evacuación de aguas servidas, y la prevención de inundaciones y sequías. Las acciones mencionadas son factores primordiales, mundialmente compartidos, para proteger la salud y promover la integración social y el desarrollo de todos los países. Esto fue reconocido por la "Conferencia de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible" reunida en Johannesburgo en 2002, que al identificar las cinco cuestiones que debían recibir atención prioritaria, colocó al agua en primer término.

Dentro de cada país, y en Argentina consecuentemente, debemos comprometer una dedicación especial para planificar y realizar las acciones tendientes a posibilitar la oportuna disponibilidad del agua y su uso más justo, prudente y racional, asegurando la continuidad y preservación de una dotación que satisfaga (en cantidad y calidad, tiempo y lugar) las necesidades de la vida humana, las actividades productivas, la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad.

La adopción y el cumplimiento de esos objetivos es una responsabilidad compartida por los gobiernos, los empresarios, los profesionales, los técnicos y operarios especializados, y la población en su conjunto, cuyo conocimiento acerca de la significación del agua y la imperiosa necesidad de preservar su correcta utilización debe constituir el necesario soporte de opinión que permita elaborar y concretar propuestas razonables de políticas y acciones. Así, con una participación amplia, se podrán compatibilizar los intereses generales, regionales y sectoriales, y promover la apropiada legislación, gestión y ejecución de medidas estructurales (obras) y no estructurales (sistemas de capacitación, tarificación, regulación, control y difusión) y su permanente actualización. Tales acciones alentarán y posibilitarán la eficaz gobernabilidad del agua.

Los autores del trabajo se han reunido periódicamente a partir del año 2008 para proveer y organizar el contenido y diseño de este documento. Se ha revisado la información disponible, aún incompleta, y se han elaborado y discutido propuestas que, sin ser exhaustivas, han impulsado a publicar este estudio como un aporte más para la difusión y el análisis de los problemas que plantea el uso del agua, tanto para los especialistas en el tema como para la prensa y su transmisión a la población.

El objetivo se orienta, en conclusión, a exponer ordenadamente aspectos relevantes de la cuestión, como resumen y recordatorio de información básica y como contribución referencial para avanzar sobre ideas y propuestas que permitan establecer prioridades de acción para enfrentar en nuestro país los desafíos actuales y futuros.

Han coordinado la realización del informe y propuestas sobre "La cuestión del agua" por parte de la Academia Nacional de Ciencias Económicas, el ex presidente doctor José María Dagnino Pastore y su actual Presidente doctor Adolfo Sturzenegger, con la colaboración del Presidente de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, doctor Eduardo H. Charreau y el apoyo para la publicación y difusión del informe por parte del ingeniero Oscar Vardé Presidente de la Academia Nacional de Ingeniería. La nómina de profesionales que han participado a título personal en el desarrollo del informe incluye a los ingenieros hidráulicos y civiles y miembros de la Academia Nacional de Ingeniería Conrado Bauer, Gustavo Devoto y Luis U. Jáuregui; el ingeniero hidráulico y civil Pablo Bereciartúa; los especialistas en economía, licenciado Emilio Lentini y doctor Juan Antonio Zapata; y el doctor Mario Valls, experto en derecho del agua. Finalmente expresamos nuestro reconocimiento por los aportes referidos a la gestión del agua del licenciado Javier Pascuchi y por las colaboraciones especiales de la ingeniera civil Luciana Manzelli, de los licenciados en economía Federica Brenner y Augusto Mercadier, y de la doctora Susana D. R. Savoia (Secretaría Técnica de la Academia Nacional de Ciencias Económicas).

PARA USOS PERSONALES
FORO CONSULTIVO

2. Contexto

El agua se ha transformado en un recurso crítico para el desarrollo de las sociedades en el siglo XXI, tanto es así que la Conferencia de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible reunida en Johannesburgo en 2002, al seleccionar los cinco temas de atención prioritaria para posibilitar el desarrollo sostenible, colocó en primer lugar al agua, como se ha recordado en la introducción. Anteriormente, en 1993, las Naciones Unidas ya habían establecido el 22 de marzo como "DIA MUNDIAL DEL AGUA" para significar la importancia que revestía el tema y su permanente actualización.

En el marco más general, la situación preocupante del consumo del agua es provocada por dos tendencias encontradas: a) por el crecimiento acelerado de la demanda impulsada por el aumento de la población y el creciente desarrollo económico y concentración urbana, lo que potencia los exigencias para satisfacer sus distintos usos, sean éstos los relacionados con los requerimientos básicos para la vida, la producción de alimentos, la higiene, la conservación del ambiente natural, o el desarrollo en su sentido más amplio, y b) porque al mismo tiempo empiezan a encontrarse limitaciones en la oferta de los recursos hídricos desde el punto de vista de cantidad y calidad del agua: mientras que la cantidad disponible está sujeta a las características propias del ecosistema y del ciclo hidrológico en cada geografía, la calidad se deteriora por causa de la contaminación y las malas prácticas. El resultado se manifiesta en crecientes brechas entre las necesidades a satisfacer y los recursos hídricos aptos para atenderlas. Estas circunstancias, de características mundiales, presentan condiciones particulares en cada región y en cada uno de los países.

En los últimos años y en respuesta a las evidencias de los desafíos mencionados, ha crecido la conciencia respecto de esta cuestión, a la que se puede denominar la "cuestión del agua". En el contexto que ofrece el paradigma del desarrollo sostenible, es necesario pensar estrategias que se orienten a reducir las brechas entre una demanda creciente (y que requiere progresivamente mayor racionalidad y control) y la capacidad de satisfacerla desde la oferta. Para ello es necesario considerar la cuestión del agua dentro del concepto de gestión integrada de los recursos hídricos.

2.1 Objetivos

Sobre la base de una recopilación y análisis de información disponible a escala mundial, regional y del país, se han desarrollado en el presente trabajo y se presentan a continuación los siguientes aspectos:

- La identificación de las principales temáticas vinculadas con la "cuestión del agua", y su situación mundial y regional, particularmente en América Latina (puntos 3 y 4), con someras referencias a nuestro país.
- La presentación de las características particulares de cada una de estas temáticas para la Argentina, con el propósito de ofrecer elementos que describan la condición actual y su evolución reciente (punto 5.1).
- La generación de un conjunto de conclusiones que permitan establecer cuáles son los desafíos actuales y futuros, así como algunas acciones que se consideran prioritarias para atenderlos (puntos 5.2 y 5.3).

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

3. Sostenibilidad del uso de los recursos hídricos: situación general y perspectivas

3.1 Evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico

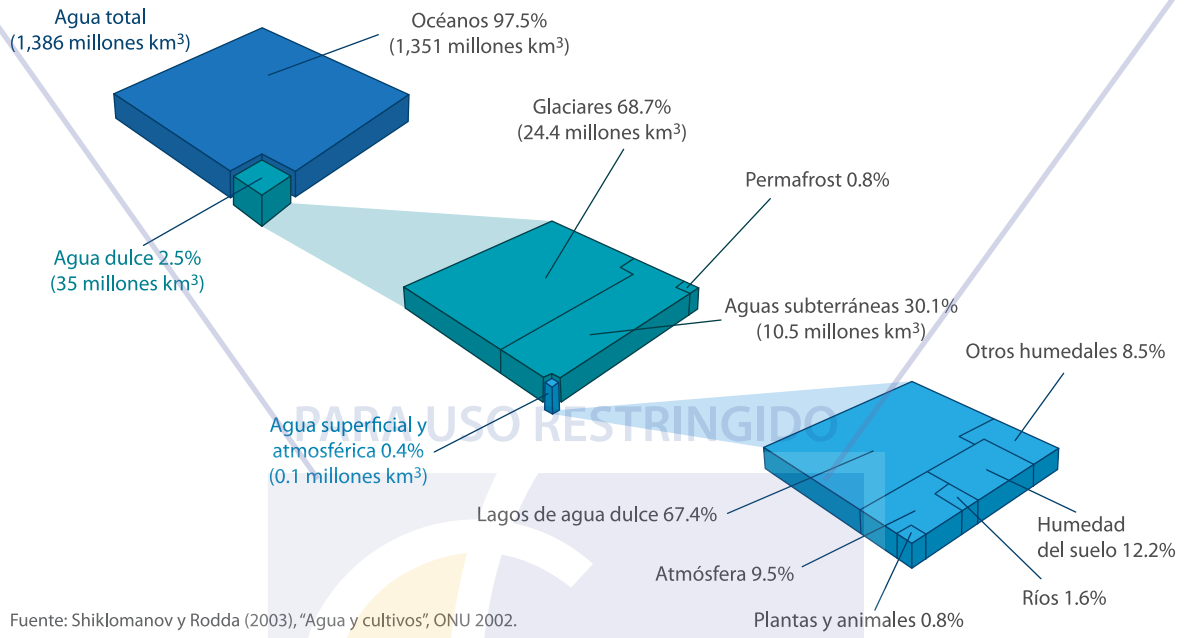
3.1.1 El agua en el mundo

En el mundo existe una gran cantidad de agua disponible, pero que se encuentra desigualmente repartida en el tiempo y en el espacio, y se presenta de manera natural bajo distintas formas: sólida, líquida y gaseosa, en diferentes posiciones en el aire, en la superficie terrestre, bajo el suelo y en los océanos, y con diferentes contenidos salinos (Figura 1) (Ramsar, 2009).

El promedio anual de precipitación sobre la tierra alcanza 119.000 km^3, de los cuales alrededor de 72.000 km^3 se evaporan a la atmósfera. Los 47.000 km^3 restantes escurren hacia lagos, embalses y cursos de agua o se infiltran en el terreno, llegando en parte a alimentar los acuíferos. Se estima que entre 9.000 km^3 y 14.000 km^3 son utilizables por el hombre (Cuadro 1).

Las extracciones anuales de agua para uso humano ascienden a 3.600 km^3 y los ríos requieren 2.350 km^3 para mantener el caudal ecológico mínimo. Resulta entonces que 5.950 km^3 de los recursos de agua dulce fácilmente disponibles están comprometidos, lo cual muestra que la situación es delicada teniendo en cuenta las proyec-

Figura 1. El agua en el mundo



Fuente: Shiklomanov y Rodda (2003), "Agua y cultivos", ONU 2002.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

ciones demográficas y las demandas de agua así como la accesibilidad y localización geográfica de los excedentes (FAO, 2002).

La combinación de factores naturales y la acción del ser humano originan presiones sobre los recursos hídricos. El cambio climático y la variabilidad natural en la distribución geográfica son fuerzas naturales que complican el desarrollo sostenible de los recursos hídricos. Se pueden identificar como principales impactos antrópicos -que afectan a los recursos hídricos: el crecimiento de la población en especial en regiones con escasez de agua; los grandes cambios demográficos, de distribución y concentración, a medida que la población se desplaza de entornos rurales a urbanos; las mayores demandas de seguridad alimentaria y de bienestar socioeconómico; la mayor competencia entre usuarios, y la contaminación de origen industrial, municipal y agrícola.

3.1.2 El agua en América Latina

América Latina es una de las regiones más ricas en recursos hídricos, participando 26% de agua del planeta para solamente 6% de la población, mientras que Asia concentra 30% de la disponibilidad de agua y 60% de la población. Pero, por otra parte, América Latina enfrenta problemas serios de abastecimiento: posee algunas de las zonas más húmedas del planeta y los desiertos más áridos, presentando, además, una alta contaminación de sus fuentes a lo que se le suma, en las últimas décadas, un proceso intenso de urbanización.

Dos tercios del territorio de la región son áridos o semiáridos lo cual incluye grandes zonas del centro y norte de México, noreste de Brasil, noroeste de Argentina, norte de Chile, y regiones de Bolivia y Perú. Se estima que en América Latina una cuarta parte de la población –más de 100 millones de personas– vive en zonas con estrés hídrico, principalmente en México, Argentina y los países ubicados a lo largo de la costa oeste del continente. (PNUMA, 1999).

Ser el continente más rico desde el punto de vista de la disponibilidad de agua per cápita, no implica que no haya poblaciones que padezcan seria escasez de agua. La región experimenta una creciente dependencia del uso de sus fuentes hídricas subterráneas: América del Sur utiliza de ellas entre 40% y 60% del agua que consume, mientras que América Central y México dependen en 65% de estas fuentes. En México, por ejemplo, 102 de los 653 acuíferos se encuentran sobreexplotados. Con una población en aumento con crecientes demandas de servicios básicos y un modelo de desarrollo sostenido por la explotación de materias primas, América Latina se encamina hacia una agudización en la problemática de la explotación de sus fuentes de agua. (Tribunal Latinoamericano del Agua).

3.1.3 El agua en Argentina

Argentina presenta desigual distribución de sus recursos hídricos, con dos tercios de su territorio constituido por regiones áridas y semiáridas y sólo un tercio rico en fuentes de agua, fundamentalmente superficiales, que representan 84% de las disponibilidades hídricas del país. El crecimiento no controlado del consumo industrial y productivo con efluentes volcados sin tratamiento, y un desarrollo desorganizado de importantes asentamientos poblacionales marginales, determinan un considerable grado de deterioro del recurso hídrico, como consecuencia de la inadecuada explotación del mismo, y del volcado o infiltración de todo tipo de sustancias contaminantes. Esto a su vez trajo problemas en el desarrollo de la vida acuática, aumento en los costos de potabilización del agua, aparición o incremento de enfermedades transmitidas por el agua, desmejoramiento de las condiciones para el desarrollo de actividades recreativas.

Globalmente Argentina dispone de una oferta hídrica media anual por habitante superior a los 20.000 m³/hab., muy por encima del umbral de estrés hídrico adoptado por el PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) equivalente a una disponibilidad de 1.000 m³/hab. Sin embargo, a pesar de la importante oferta global de agua y dada su concentración en la región que integra la cuenca del Río de la Plata, se presentan grandes desbalances entre demandas potenciales y disponibilidad en amplias regiones del país (Cuadro 2).

Además de la cantidad de agua, es relevante considerar la calidad del agua disponible. En Argentina, por ejemplo, el agua subterránea se ve afectada por concentraciones altas de arsénico y flúor en una parte significativa del territorio. Asimismo, en las principales áreas metropolitanas e industriales, y particularmente en el Área Metropolitana de la Ciudad de Buenos Aires (AMBA), existen serios niveles de contaminación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, que obligan a invertir en costosos tratamientos.

En resumen la Argentina es un país marcadamente heterogéneo en cuanto a la disponibilidad y a la demanda de sus recursos hídricos, en el que se identifican significativos desafíos desde el punto de vista de la gestión de los recursos hídricos y de la disponibilidad espacial, temporal y en calidad adecuada, para los usos posibles o deseables. Se considera necesario realizar análisis y estudios que contemplen, además de datos globales, la diversidad, en cantidad y calidad, de las necesidades y disponibilidades de agua a escala de cada cuenca y subcuenca.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 1. Promedio anual de precipitación en el mundo

Región	Precipitación		Evapotranspiración		Excedente	
	mm/año	km³/año	mm/año	km³/año	mm/año	km³/año
Europa	700	8.290	507	5.230	283	2.970
Asia	740	32.200	416	18.100	324	14.100
África	740	22.300	587	17.700	153	4.600
América del Norte	756	18.300	418	10.100	339	8.180
América del Sur	1600	28.400	910	16.200	685	12.200
Oceanía	791	7.080	511	4.570	280	2.510
Antártida	165	2.310	0	0	165	2.310
Total	**800**	**119.000**	**485**	**72.000**	**315**	**47.000**

* Rebouças, Aldo C. *et. al.* "Aguas dulces em Brasil. São Paulo", Escrituras Editora, 1999.

Cuadro 2. Desbalances entre demandas potenciales y disponibilidad en amplias regiones del país

Región	Problemática
Árida y semiárida	• Déficit hídrico por escasez y variabilidad estacional de la oferta. • Limitación de posibilidades favorables para el desarrollo de productos agrícolas de alto valor relativo. • Conflictos por sobreexplotación de acuíferos. • Pérdida de la capacidad productiva por salinización.
Húmeda y subhúmeda	• Degradación de la calidad de las aguas debido a la contaminación de aguas superficiales y subterráneas por vertido de efluentes no tratados. • Presencia de altos contenidos de sales, exceso de arsénico y flúor (región norte y pampeana central) o escasa potencia en acuíferos.

3.2 Usos de los recursos hídricos

3.2.1 Caracterización de los principales sectores y actividades

Agua y saneamiento

Durante el siglo pasado, el consumo de agua potable ha aumentado a un ritmo dos veces mayor que la población. No obstante, se estima que en la actualidad 20% de la población mundial carece de acceso a agua en condiciones mínimamente satisfactorias y 50% de la población mundial no dispone de instalaciones sanitarias adecuadas. (OMS, 2008)

Las normas internacionales establecidas por organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) sugieren un consumo mínimo, por persona, de 20 litros al día de una fuente que se encuentre a un kilómetro del hogar. Esta cantidad es suficiente para beber y para la higiene personal básica. Las personas que no acceden a esta cantidad de agua ven limitadas sus capacidades para mantener su bienestar físico y la dignidad que conlleva el estar limpio. Si se consideran las necesidades de agua para el baño y para lavar, aumentaría el mínimo por persona hasta aproximadamente unos 50 litros diarios.

El consumo de agua oscila entre 200 y 300 l/d/hab. (litros diarios por habitante) en la mayoría de los países europeos y llega hasta los 550 l/d/hab. en algunos sistemas de los Estados Unidos. Una gran parte de la población mundial se sitúa muy por debajo de los umbrales mínimos de necesidades básicas de agua, tanto en forma temporal como permanente. Existen aproximadamente 1.100 millones de personas que viven a más de un kilómetro de una fuente de agua y utilizan diariamente menos de 5 litros de agua no segura. (PNUD, 2006) Por ejemplo, el uso promedio en países como Mozambique es inferior a los 10 litros. Esta diferencia radica en que las personas con dificultades de acceso al agua mejorada en los países menos desarrollados consumen menos cantidad, ya sea porque deben recorrer largas distancias hasta la fuente o porque deben pagar sumas excesivas para obtenerla.

A escala global, se estima que en 2008, 57% de la población mundial contaba con agua por conexión a red dentro de la vivienda o en el terreno y 30% tenía acceso a una fuente mejorada (canilla o fuente pública) de tal forma que 87%, que equivale aproximadamente a 5,9 millones de personas, utilizaba agua potable o de fuentes mejoradas, implicando un incremento de 1.800 millones desde 1990, Sin embargo, hay que destacar que en el mundo cerca de 1.000 millones de personas carecen de acceso al agua en las mínimas condiciones de cantidad y calidad, cifra que se eleva a 3.000 millones si se le suman las familias que sólo tienen acceso al agua a través de una fuente mejorada que no cumple con los estándares de potabilidad.

En América Latina y el Caribe, el promedio de cobertura de servicio de agua por red es de 84% mientras que las otras fuentes mejoradas representan 9%. Dentro de la región Uruguay (98%) y Chile (93%) cuentan con los índices más altos de cobertura por red, mientras que Argentina está en 80%.

Con relación al servicio de saneamiento, el promedio de acceso a sistemas mejorados (instalaciones que garantizan de manera higiénica que no se produzca el contacto de las personas con los excrementos humanos) para el año 2008 era en el mundo de 61%, mientras 11% utilizaba alguna forma de saneamiento compartido (saneamiento mejorado con uso compartido de las instalaciones, incluidos baños públicos), 11% utilizaba formas no mejoradas (no aseguran separación de los desechos al contacto humano) y el restante 17% defecaba al aire libre.

En el caso particular de América Latina y el Caribe, 80% de la población contaba con saneamiento mejorado, 14% utilizaba instalaciones no mejoradas y 6% defecaba al aire libre, mientras que la cobertura promedio de saneamiento por conexión a la red pública para la población urbana de América Latina era de 57% (BM, 2009).

República Argentina. Se considera que 80% de la población de Argentina cuenta con conexión domiciliaria a una red de agua potable y que sólo 47% posee conexión domiciliaria a red de cloacas sanitarias, proporción que se amplía a 90% cuando se consideran sistemas de saneamiento mejorado. Solamente 12% de las aguas residuales recolectadas son tratadas antes de su vuelco a los cuerpos hídricos receptores.

Se estima que el promedio nacional de producción de agua potable por habitante es de 400 litros por día con un amplio rango de variación entre las provincias que oscila entre un máximo de 650 l/d/hab. en San Juan y un mínimo de 170 l/d/hab. en La Pampa.

El agua no contabilizada constituye uno de los principales problemas de eficiencia en los servicios de agua potable. Se calcula que las pérdidas en la red y la subfacturación por conexiones clandestinas y desactualización de los catastros de usuarios, representan entre 35 y 45% del agua

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

producida. Por lo que se estima que el consumo promedio en la Argentina se encuentra alrededor de los 250 l/d/hab. pero con máximos de hasta 400 l/d/hab.

Este alto nivel de consumo, comparado con el que se registra en numerosos países del mundo y de América Latina, en buena parte se explica por el bajo grado de micromedición de los consumos que prevalece en los sistemas de Argentina, sobre todo en la mayoría de los servicios de las grandes ciudades en los cuales la facturación a los usuarios se basa en regímenes tarifarios del tipo "canilla libre". En este sentido, según antecedentes internacionales, el consumo medio que registran los sistemas que operan con micromedición generalmente se encuentra por debajo de los 200 l/d/hab.

PARA USO RESTRINGIDO

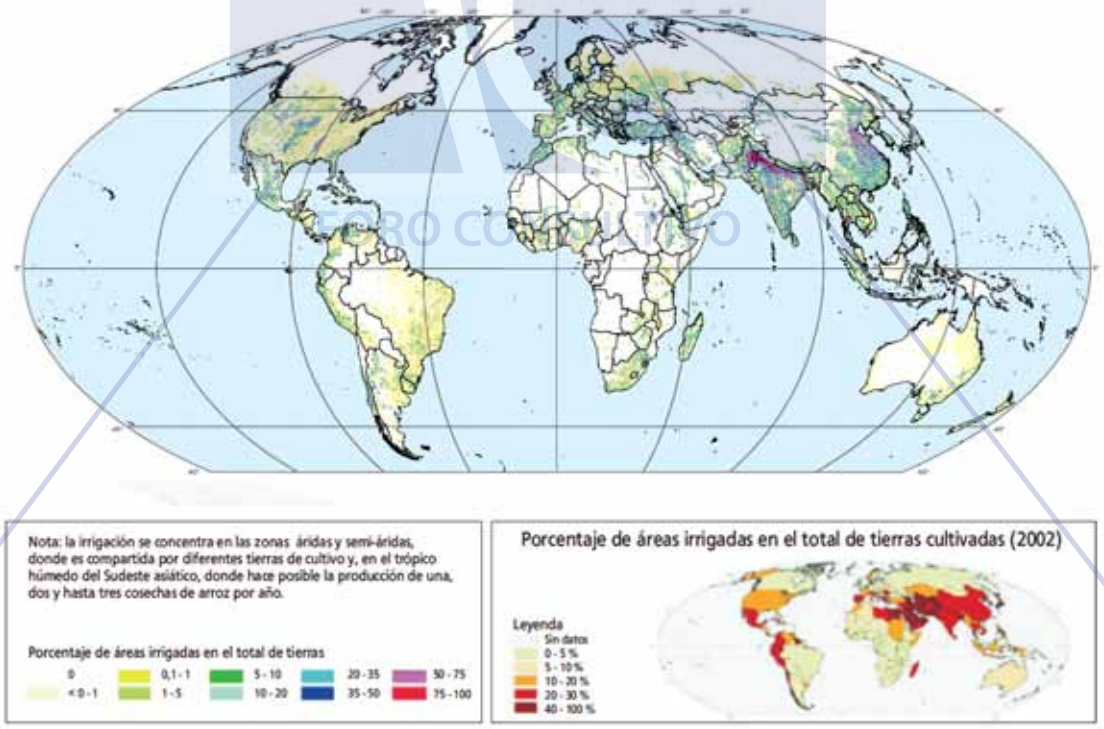
Agua y agricultura

Aunque el índice mundial de crecimiento demográfico disminuye, el número de personas que pasan a formar parte de la población mundial suma aproximadamente 75 millones por año. A medida que la población aumenta, los recursos hídricos per cápita disponibles son más restringidos, por lo que se hace necesaria una mayor productividad agrícola para poder compensar dicho crecimiento. Para satisfacer el aumento estimado de la demanda entre 2000 y 2030, se prevé que el cultivo de alimentos en los países en vías de desarrollo aumente en 67%. Al mismo tiempo, la mejora continua de la productividad debería hacer posible un incremento previsto de 14 % en el uso de agua con fines agrícolas (ONU, 2006).

El riego consume la mayor parte del agua que se extrae como resultado de procesos de evaporación, de incorporación de agua a los tejidos vegetales y de transpiración de los cultivos. El agua extraída que no es consumida recarga los acuíferos o se evapora. Mundialmente, más de 65% de las extracciones de agua se destinan al riego (Figura 2).

El intenso uso agrícola del agua puede crear gran tensión en los recursos hídricos. La Figura 2 muestra que unos 20 países en el mundo están en una situación crítica, ya que más de 40% de sus recursos de agua renovable son destinados a uso agrícola. Una definición alternativa considera que un país que utiliza más del 20% de sus recursos hídricos, también está en una situación de estrés hídrico. En 1998, aplicando este criterio, 36 de 159 países (23%) sufrían estrés hídrico (FAO,1995). Tanto América Latina como Argentina tienen un promedio de extracciones de agua con fines agrícolas menor a 5% de sus recursos de agua renovables totales.

Figura 2. Distribución de áreas irrigadas en el mundo



Fuente: S. Siebert 2005.

CENTRO CONSULTIVO

Agua e industria

La industria es un usuario importante de los recursos hídricos y el que más contribuye al desarrollo económico y social de los países por su alta participación en el producto bruto interno (PBI) de los mismos. Para garantizar su desarrollo, la industria ha de disponer de un suministro adecuado de agua; en contrapartida, la industria debería comprometerse a que el agua utilizada en los procesos industriales sea usada de manera eficaz y no vuelva a la naturaleza como efluentes no tratados que contaminen el medio ambiente.

Según las regiones, mucho más que el volumen efectivo de agua usado por la industria lo que preocupa es el impacto negativo de ésta sobre el medio ambiente acuático. La calidad del agua se está deteriorando en muchos ríos y lagos en todo el mundo, y el medio ambiente marino también está siendo afectado por la contaminación industrial (ONU, 2006). Gran parte de la actividad industrial en los países de ingresos medios y bajos se ve acompañada de unos niveles innecesariamente altos de consumo y contaminación del agua. El uso industrial del agua aumenta según el nivel de ingresos del país, variando desde 10% en países de ingresos medios y bajos, hasta 59% en países de ingresos elevados. Se estima que en los países en desarrollo, 70% de los efluentes líquidos industriales se vierten al agua (ríos, lagos, mar) sin tratamiento descontaminante (UNESCO, 2003).

La Figura 3 representa en forma generalizada la distribución del uso del agua en el mundo y por países con ingresos medios y bajos e ingresos elevados.

Se estima que el volumen anual de agua utilizada por la industria se elevará de 752 km^3/año (medida en 1995) a una cifra estimativa de 1.170 km^3/año para el año 2025. En el 2025 se espera que el componente industrial represente 24% del total de la extracción de agua dulce (UNESCO, 2003). Sin embargo, es posible desligar el desarrollo industrial del deterioro medioambiental, reducir radicalmente el consumo de recursos naturales y energéticos y, al mismo tiempo, disponer de industrias limpias y rentables. Con incentivos adecuados, se estima que se podrá reducir entre 40 y 90% la demanda de agua para la industria, incluso con las técnicas y prácticas existentes. Para ello resulta imprescindible que las políticas de conservación del agua por aplicar sean justas y factibles. Existe una amplia gama de instrumentos (normativos, iniciativas voluntarias, actividades de formación) y asesoramiento disponibles para ayudar a los gestores industriales a mejorar la productividad del uso del agua y a reducir las emisiones contaminantes a niveles muy bajos. Al mismo tiempo, estas acciones pueden ayudar a la eficiencia de la producción, así como a reducir el consumo de materias primas, facilitar la recuperación de sustancias valiosas y permitir una gran expansión de la reutilización y el reciclaje.

Agua y energía

El potencial hidráulico del mundo equivale aproximadamente al consumo energético total de la actualidad, pero sólo se utiliza la cuarta parte. En consecuencia, al día de hoy, la energía hidráulica constituye una fuente alternativa importante de sustitución de los combustibles fósiles. Se calcula que en 65 países más de 50% de la energía es hidroeléctrica, en 32 países cubre más de 80% y en 13 es responsable de abastecer casi 100%.

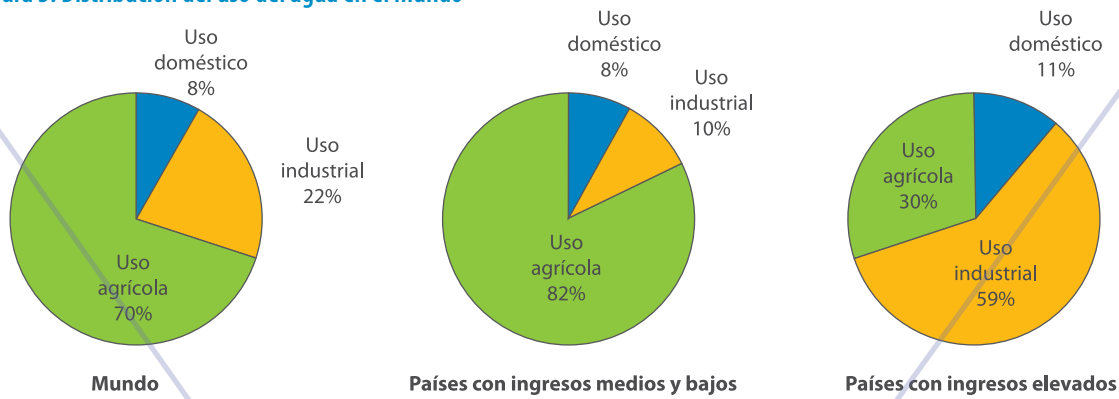
El hecho que 1/3 de la población mundial no tiene aún acceso a la electricidad alienta la consideración de la alternativa de generación hidroeléctrica. Sin embargo, la priorización de los proyectos más convenientes así como su diseño deben contemplar y reducir los posibles impactos ambientales negativos previsibles en cada caso.

La energía hidráulica es la más probada de todas las tecnologías para generación de energía eléctrica a gran escala: no contamina el agua; no hace uso consuntivo del recurso hídrico; no produce residuos ni, consecuentemente, gases de efecto invernadero (GEI); su rendimiento en la transformación energética es el más elevado de todas las tecnologías (superior a 90%); hace uso de un recurso que es renovable; produce directamente energía mecánica en vez de calor; puede obtenerse con máquinas de tamaños muy diversos y puede generar un conjunto de externalidades positivas. Así, la inversión en obras hidroeléctricas adecuadamente diseñadas y operadas permite satisfacer otros usos del recurso hídrico como el riego, el abastecimiento de agua potable e industrial, la navegación, la pesca, el control de las crecidas y las actividades recreativas, estrechamente vinculadas con el turismo. La generación hidroeléctrica insume un muy bajo costo operativo, pero requiere una inversión inicial importante.

Asia es con creces el continente con mayores recursos hidroeléctricos, y el que en la actualidad mantiene la política más agresiva en materia de incorporación de energía de origen hidroeléctrico. Sudamérica, por su parte, si bien es el continente que la sigue en lo que a recursos hidroeléctricos respecta, tiene un ritmo de incorporación de potencia hidráulica muy inferior, mayormente concentrado en el Brasil. En tanto Europa, como América del Norte y Austra-

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 3. Distribución del uso del agua en el mundo



lia, en este orden, ya han instalado buena parte de su potencial, mientras que en África la hidroelectricidad, como en tantos otros indicadores del desarrollo, tiene aún una cuenta pendiente.

Debe enfatizarse que este modo de generar energía reúne un conjunto serie de ventajas que han sido identificadas en los párrafos anteriores, pero debe ejecutarse poniendo especial atención en los impactos ambientales negativos. Esto significa que la viabilidad de cualquier proyecto hidroeléctrico debe contemplar una evaluación minuciosa de impacto ambiental. Si ésta fuera positiva, debe complementarse con un plan de gestión ambiental que incorpore su análisis a toda la cuenca hidrográfica, y que valore y condicione las características del proyecto y de su operación para garantizar la funcionalidad y producción del ecosistema natural de la cuenca.

Otros usos del agua

La gestión hídrica comprende el conjunto de usos posibles del agua en el ecosistema natural y en el desarrollado por las actividades humanas. Para la utilización efectiva del agua del ciclo hidrológico, en cantidad y calidad, es necesaria una visión amplia, lo que implica una planificación estratégica apreciando el análisis de las necesidades que se deben satisfacer y la optimización del sistema.

Por ejemplo, la prevención de inundaciones requiere que se dedique una parte de la capacidad de regulación de los embalses a esa finalidad: amortiguar el impacto de crecidas excepcionales. Este propósito, "prevención de inundaciones", compite con otros usos del agua asignados a la capacidad de los embalses y, por lo tanto, es equivalente a otro uso del agua.

En forma similar, se interpreta que la necesidad de mantener un caudal ecológico en los ríos, para preservar la "biota" y los procesos hidrológicos y su ambiente natural, también equivale a un uso del agua efectiva, ya que reduce la disponibilidad para los demás usos.

La misma contaminación de las aguas aparece como un uso consuntivo del recurso ya que el deterioro de la calidad reduce la oferta de agua para determinados usos.

Otros importantes y tradicionales usos del agua han sido la pesca, la navegación y la recreación.

3.2.2 Evolución y tendencias observadas en el uso del agua

En una primera aproximación sobre las tendencias relacionadas con los usos del agua, es lógico pensar que las demandas aumentarán con el aumento de la población mundial y de los ingresos por habitante, y con la urbanización creciente,[1] mientras que la disponibilidad de agua dulce permanecerá casi constante. Pero esta forma de enfocar la cuestión no toma en cuenta el instinto de supervivencia de los seres humanos, la creatividad y la capacidad de adaptación que ha revelado tener la humanidad, para hacer frente a situaciones similares en muchos otros campos. El ejemplo más célebre es el de las pesimistas predicciones de Malthus referidas a la insuficiencia de la producción de alimentos para una población en rápido crecimiento, que fueron desmentidas por los hechos en los siglos siguientes.

1 "Debe considerarse que las grandes masas urbanas (3 billones de personas) necesitan grandes volúmenes de agua para su sostenibilidad; además producen una masa enorme de detritos (heces y orina) que necesitan tratamiento inmediato para no contaminar las aguas superficiales y subterráneas. (Sumado a los requerimientos y consecuencias de la actividad económica) este conjunto de problemas llevó a la actual situación del agua, una crisis sin precedentes que demanda acciones de corto, mediano y largo plazo." (Tundisi, 2009)

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

Ese ejemplo ayuda a enfocar el tema con una perspectiva menos simplista, que tiene en cuenta que a la vez que aumentan las demandas se producen respuestas adaptativas e innovaciones que influyen tanto sobre las demandas como sobre la eficiencia con la cual es posible convertir lo que la naturaleza brinda en lo que el hombre necesita, mediante la creciente aplicación de las llamadas "tecnologías sostenibles".

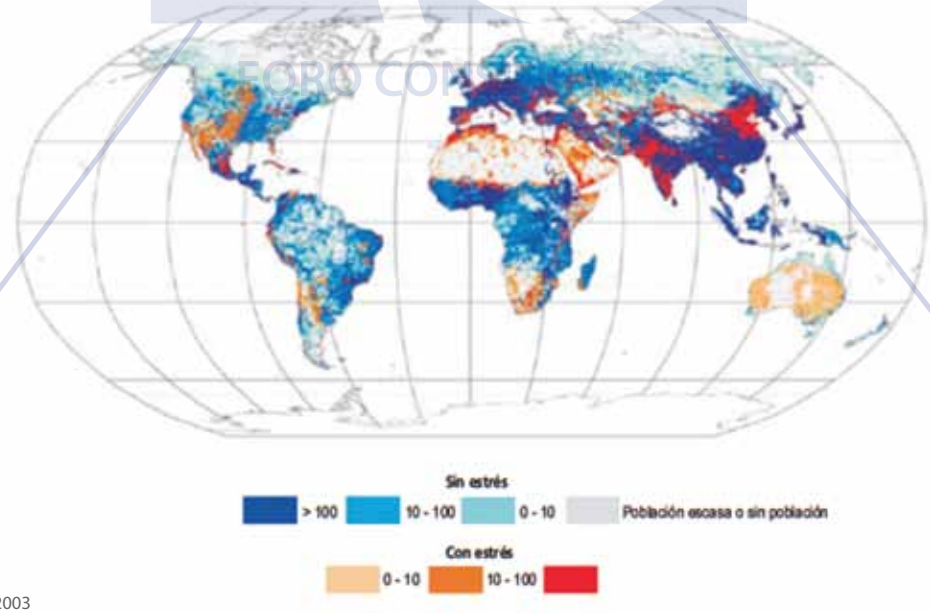
El consumo de agua dulce en el mundo se ha multiplicado por seis en el último siglo, mientras que la población lo ha hecho por tres. Según estimaciones del año 2008, 13% de la población mundial no tiene acceso a agua mejorada, y del restante 87%, un tercio no tiene conexión con la red mientras que 49% carece de saneamiento mejorado (JMP, 2010). África y el sur de Asia son las zonas de mayor carencia. En forma resumida, podríamos decir que en los países desarrollados el problema del agua afecta sobre todo a la preservación del ambiente y a las posibilidades de crecimiento económico, mientras que en los países en vías de desarrollo se suma la escasez y aun carencia de agua potable, que entre otras consecuencias es la causante directa de enfermedades como la diarrea, el cólera y otras que ocasionan serias limitaciones para el crecimiento mundial y provocan muertes evitables.

El riego insume en promedio el 70% del agua dulce extraída, y una parte significativa de esa demanda es debida al uso de técnicas ineficientes como el riego por inundación. El consumo industrial, por su parte, se estima se duplicará para el 2050 y en países de rápida industrialización como China se multiplicará hasta en cinco veces. El consumo urbano también aumenta con la renta per cápita, sobre todo en usos recreativos (campos deportivos, parques y jardines, etc.) y los relacionados con el turismo. Por otro lado, la reducción de la calidad del agua dulce causada por la contaminación repercute muy gravemente en su disponibilidad para el consumo, una vez superada la capacidad natural de autodepuración de los ríos. En primer lugar, la contaminación difusa de origen agropecuario a través del uso incontrolado de plaguicidas tóxicos y fertilizantes produce la eutrofización (crecimiento excesivo de algas y muerte de los ecosistemas acuáticos) y llega, en muchos casos, a causar enfermedades cancerígenas debido a las altas concentraciones que se dan en algunos países. En segundo lugar, la contaminación industrial por metales pesados, materia orgánica y nuevos compuestos tóxicos, se estima se multiplicará por cuatro para el 2025. La contaminación urbana se da sobre todo en las megaciudades y en sus cinturones de miseria.

Otro gran problema es el de las aguas subterráneas, las cuales constituyen 97% del agua dulce terrestre frente al casi despreciable 0.015% del agua superficial retenida en los embalses. El 33% de la población mundial, sobre todo la rural, depende de ella, pero está amenazada tanto por

Figura 4. Población mundial por encima y debajo del umbral de estrés hídrico

Población (en miles) por encima (zonas en rojo) y por debajo (zonas en azul) del umbral de estrés hídrico (RWSI=0,4)



Fuente: ONU, 2003

PARA USO INSTITUCIONAL
FORO CONSULTIVO

la calidad natural del agua subterránea, perjudicada en muchos casos por el contacto con napas geológicas que contienen arsénico u otros componentes perjudiciales para la salud, como por la contaminación de origen antrópico de los acuíferos, o por la mala utilización de los pozos existentes.

Es necesario tener en cuenta que el agua dulce no está homogéneamente distribuida, ni geográfica, ni temporalmente. La distribución desigual ha estimulado la construcción de grandes embalses y trasvases que no siempre han tenido en cuenta sus impactos sociales y ambientales. Estos factores hacen temer que puedan generarse conflictos bélicos por el acceso al agua, y ha llevado a predicciones apocalípticas que anuncian que el siglo XXI será el siglo de las guerras por el agua.

3.3 Requerimientos de agua: niveles medios y mínimos

Muchos países se encuentran en una situación hídrica deficitaria porque ya están consumiendo más agua que la que tienen disponible como recurso renovable. El déficit de agua se produce principalmente cuando la extracción de agua subterránea supera la recarga de los acuíferos. Esto conlleva al agotamiento del recurso natural y para algunos países áridos, que basan su desarrollo substancialmente en estos recursos, es desestabilizador. Se estima que en los principales países deficitarios de agua anualmente sobreexplotan alrededor de 160 km^3, lo que significaría que aproximadamente 180 millones de toneladas de granos (10% de la producción mundial) se estarían produciendo con recursos hídricos no renovables.

Si se mantienen los niveles actuales de consumo, dos de cada tres personas del planeta vivirán en una situación de déficit hídrico, o estrés hídrico –escasez de agua, moderada o severa– para el año 2025. Para ese año, es probable que al menos una de cada cuatro personas viva en países afectados por la escasez crónica o recurrente de agua dulce (Figura 4).

Como ha sido mencionado, a medida que la población mundial fue creciendo hasta triplicarse en el último siglo, el uso de agua aumentó el doble, y por lo tanto, el consumo se sextuplicó durante el mismo período. De los casi siete mil millones de personas que existían en 2010 (6.903.100.000, United States Census Bureau) se espera que en 2025, se llegue a ocho mil millones. Al mismo tiempo, la Comisión Mundial del Agua pronostica que el uso del agua se duplicará en 30 años.

4. Temas emergentes relacionados con el agua

4.1 El agua y las necesidades humanas básicas

4.1.1 El acceso al agua como derecho humano

La categoría de derecho humano se formuló al concluir la II Guerra Mundial para denotar que se trata de un derecho inherente a la calidad de ser humano, de cada ser humano, y oponible al resto de los seres humanos y a los Estados. El derecho de todo ser humano al agua deriva de que sin ella no se puede vivir, por lo que es un derecho inherente a su vida y, por lo tanto, es un derecho natural, lo que implica que la norma jurídica positiva no lo crea, sino que lo reconoce y ampara, y que puede y debe ejercerse aun cuando una norma positiva no lo imponga. Por lo tanto, es axiomático que el derecho al agua es un derecho humano y natural.

Por otra parte, debe considerarse el daño provocado por la carencia de acceso inmediato al agua potable y su incidencia sobre el tiempo improductivo de acarreo, y el costo de atención por enfermedades de origen hídrico y su impacto sobre la mortandad infantil y la dinámica laboral.

4.1.2 Abastecimiento de agua y saneamiento

El porcentaje de población cubierta con servicios domiciliaros de agua y saneamiento por región en el mundo se presenta en el Cuadro 3. En éste se observa que África Subsahariana es la zona que tiene menor abastecimiento de agua domiciliaria urbana, seguido de Asia del Sur.

Tarifas y cobertura de los costos

Dentro de los principales factores que determinan la sostenibilidad del servicio de agua y saneamiento están el valor y la estructura de las tarifas. Estos factores determinan la capacidad que tiene el servicio para afrontar los costos de provisión con los ingresos generados por la misma provisión o depender del financiamiento de otras fuentes. Según un estudio realizado por Global Water Intelligence (GWI) sobre una base de los servicios de agua en ciudades importantes del mundo, se encontró que la fijación de precios para los servicios de agua potable por debajo del costo de suministro es una práctica normal. La tarifa promedio, basada en un consumo residencial de 15 m^3/mes, es de US$0,53/m^3 y aumenta con el nivel de ingreso de los países.

Según una muestra de empresas de todo el mundo, se estimó que en 30% de los casos los ingresos por tarifas al-

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 3. Porcentaje de población cubierta con agua y saneamiento por región, año 2008

Región	Abastecimiento domiciliario de agua	Abastecimiento urbano de agua	Abastecimiento rural de agua	Saneamiento urbano	Saneamiento rural
Asia del Este	15	83	49	61	53
Asia Sudeste	33	92	81	79	60
Asia del Sur	23	95	83	57	26
África Subsahariana	16	83	47	44	24
África Norte	92	96	78	94	83
Países desarrollados	94	100	98	100	96
América Latina	84	97	80	86	55

Fuente: JMP (2010). Joint Monitoring Program (WHO+UNICEF). Información correspondiente al año 2008. Las denominaciones y definiciones del tipo de acceso a los servicios de agua y saneamiento corresponden a las establecidas por el Programa de Monitoreo Conjunto en sus documentos.

canzaban a cubrir los costos de operación y mantenimiento (OyM) y parcialmente los costos de capital (C), y en 39% los ingresos tarifarios no alcanzaban a cubrir OyM. Ese porcentaje cambiaba según el nivel de ingresos de los países considerados. Para los países de bajos ingresos sólo en 3% de los casos la tarifa cubría OyM y algo de C, y en 89% de los casos las tarifas son demasiado bajas como para cubrir los costos de OyM. En los países de ingresos medios a bajos, 22% cubría OyM y algo de C y 37% no cubría OyM. En los países de América Latina y el Caribe, 48% cubría OyM y algo de C y 13% no cubría OyM (Fay, 2006). En Argentina, actualmente, en varios de los servicios de grandes ciudades los ingresos tarifarios no alcanzan a cubrir los costos de OyM.

El subsidio del servicio de agua potable constituye más una norma que una excepción dentro del sector. En algunos casos se debe a que el servicio es proclive a la fijación de tarifas con criterio político en lugar de valores basados en los costos que garanticen la sostenibilidad.

Por otra parte, con el fin de conjugar objetivos económicos (autosostenibilidad financiera de la prestación) y sociales (servicio universal), muchos países se han esforzado en desarrollar esquemas tarifarios que permitan la sostenibilidad del servicio y paralelamente esquemas de subsidios que se focalicen en las necesidades de los hogares más pobres que no puedan pagar tales tarifas. También es bastante frecuente la participación del Estado, en sus distintos niveles jurisdiccionales, en el financiamiento de la infraestructura de la prestación, en particular las grandes obras.

A efectos de lograr la sostenibilidad financiera de los servicios, se reconoce que resulta conveniente que los ingresos tarifarios cubran como mínimo los costos operativos y las erogaciones de mantenimiento de la infraestructura que aseguren la calidad de los servicios y el estado de conservación y funcionamiento según los estándares técnicos recomendados.

4.1.3 Agua y salud

En el mundo las enfermedades relacionadas con el agua causan cada año la muerte de más de 5 millones de personas, aproximadamente 2.300 millones de personas padecen de enfermedades relacionadas con el agua y 60% de la mortandad infantil mundial es causada por enfermedades infecciosas y parasitarias, la mayoría relacionadas con el agua.

La diarrea se encuentra entre los principales factores de muerte provocada por las enfermedades relacionadas con el agua, saneamiento e higiene.

La relación entre el PBI per cápita y la cantidad de muertes o enfermedades por consumo de agua no segura, por la existencia de condiciones sanitarias insuficientes y por una higiene inadecuada muestra que los problemas más serios relacionados con enfermedades de este origen se encuentran en los países más pobres.

La universalización de los servicios de agua potable y saneamiento no sólo mejora los ingresos de los pobres a través de reducciones en los gastos asociados a tales servicios, sino que, además, mejora la salud de la población de ingresos más bajos. También provoca una mejora en el bienestar de las familias e implica un efecto de distribución progresiva de los ingresos.

Se calcula que en el mundo en desarrollo 80% de las enfermedades se debe al consumo de agua "no potable" y a las malas condiciones sanitarias de la población. Cerca de 20% de las enfermedades podrían ser prevenidas a partir de una mejora en las condiciones de oferta de agua, servicios sanitarios, higiene y manejo de los recursos hídricos (UNESCO, 2003.1). Además, tales mejoras reducirían la mortalidad infantil y favorecerían la salud y el nivel de nutrición de manera sostenida.

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

Asimismo, las mejoras en el suministro de agua y de los servicios sanitarios también inciden en la mejora de la educación ya que aumentan la asistencia de los niños a la escuela al disminuir las ausencias por enfermedad o por dedicar tiempo a acarrear agua. Actividad esta última que también afecta de forma especial a las mujeres (PNUD, 2006) En el ámbito doméstico se hace hincapié en la falta de acceso a cantidades suficientes de agua potable y a un saneamiento adecuado, así como al fomento de hábitos de higiene.

4.2 Agua y desarrollo

4.2.1 Regionalidad

El agua es el componente más importante del planeta. Todos lo seres vivos dependen de la existencia del agua. El agua también promueve o desincentiva el crecimiento económico y el desarrollo social de cada región y afecta sus patrones de vida y cultura, por lo que se la reconoce como agente preponderante en el desarrollo regional y nacional.

Históricamente el desarrollo de los pueblos ha estado estrechamente vinculado con el agua, desde los primitivos asentamientos urbanos y agropecuarios hasta constituir un factor decisivo en la selección de sitios para vivir y ubicar plantas industriales de todo tipo. El crecimiento demográfico y económico, la ausencia de criterios de conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, la consiguiente contaminación y el crecimiento de la demanda de agua en el ámbito regional han sido factores que han ocasionado su escasez. Esto conduce a una competencia por el recurso, que se agudiza en años de sequías y desemboca en conflictos que afectan a las comunidades en su desarrollo. Así, el control, el aprovechamiento racional y la preservación de la cantidad y calidad del agua en los ámbitos nacionales, regionales y locales son estratégicos para el desarrollo de los países y la protección de los seres humanos.

El consumo total del agua se triplicó entre 1950 y 1995. En este último año sobrepasaban los 4.300 km^3/año, cifra que equivalía al 30% de la dotación renovable del mundo que puede considerarse como estable. Además, para poder alimentar a la población mundial la superficie irrigada en el mundo ha tenido que quintuplicarse, provocando la existencia de más de 26 países con problemas de escasez de agua al contar con una disponibilidad menor a los 1,000 m^3 por habitante al año. Estas cifras permiten observar que la situación del agua en el mundo corresponde a un panorama de insuficiencia de gestión apropiada, escasez, sobreexplotación y contaminación, por lo que se está llegando a un punto tal en que el agua está constituyendo un factor limitativo del desarrollo sostenible de muchas naciones.

Por otro lado, en la mayoría de las regiones, el problema no es la falta de agua dulce sino la mala distribución del recurso. En general en los países extensos es común que se produzcan diferencias importantes en el desarrollo regional. La Argentina no está ajena a este fenómeno y a lo largo de la misma existen grandes desequilibrios territoriales. A pesar de la importante oferta global de agua que exhibe, se presentan grandes desbalances entre demandas potenciales y disponibilidad en amplias regiones del país.

En la región húmeda y subhúmeda donde la oferta de agua y las características climáticas permiten desarrollar cultivos de secano o con riego complementario, la degradación de la calidad de las aguas establece limitaciones cada vez más severas a la disponibilidad del recurso. En esta región se ubican los asentamientos humanos más importantes en coincidencia con áreas de fuerte desarrollo industrial.

4.2.2 Estacionalidad

Un aspecto relevante a considerar es la estacionalidad de los recursos hídricos y su vinculación con las posibilidades de desarrollo regional. Muchas series temporales presentan un importante comportamiento estacional. Otras en cambio no lo tienen. Lo habitual es que las series temporales de variables hidrológicas pertenezcan al primer grupo.

Desde el punto de vista de la hidrología, una mayor estacionalidad está vinculada con la mayor concentración de los aportes hídricos en determinados meses del año, lo cual está asociado directamente con el régimen de lluvias en la región y a veces, como ocurre en ciertas cuencas de régimen nival o pluvio-nival, con la presencia y orientación de los cordones montañosos, vale decir de la orografía.

La mencionada concentración de aportes en determinados meses del año suele ser un factor restrictivo en lo que a la utilización del recurso hídrico se refiere, en particular cuando la oferta y la demanda del recurso se encuentran desfasadas, lo cual puede ser minorado a través de embalses que mejoren la regulación de las aguas.

En definitiva, la estacionalidad del recurso es una restricción adicional a la cantidad de agua económicamente disponible que puede llegar a ser muy severa, y que consideradas en forma conjunta permiten establecer indicadores de "estrés hídrico" cuando se las compara en forma relativa con la demanda.

USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

4.3 El agua y la sociedad

4.3.1 Valoración del agua

Reconocer que el agua es un bien que tiene valor económico implica entender que es necesario aplicar los principios económicos a su estudio y a la organización de su utilización, con el fin de lograr su buena gestión y administración. Esto no significa que necesariamente se deba poner un precio al agua. Implica que la gestión debe tener en cuenta los costos y beneficios, económicos, sociales y ambientales –tanto directos como indirectos– asociados con los distintos usos y con las restricciones impuestas sobre ellos para proteger la salud, la seguridad de las personas y el ambiente.

Por ejemplo, la imputación incorrecta de los costos ha contribuido en muchos casos a la degradación de los recursos y del ambiente. Si sólo se toman en cuenta los costos declarados por los usuarios, o los determinados por intereses parciales, sin incluir todos los costos que efectivamente son pagados por la sociedad en su conjunto, el uso del recurso no será sostenible.

Un mecanismo alternativo al sistema de mercado, que permite sopesar todos los beneficios y todos los costos que una sociedad enfrenta a la hora de gestionar adecuadamente los recursos hídricos, es la gestión integrada, que significa procurar la participación en las decisiones importantes de todos los sectores afectados. Este mecanismo no asegura que se llegará a decisiones óptimas, pero sí que las decisiones se basarán en la coordinación entre todos los afectados por interrelaciones que, por ser complejas, no pueden ser resueltas mediante las herramientas de la investigación operativa y del análisis de sistemas.

La razón principal por la cual es difícil organizar mercados de agua es que ésta no es un bien homogéneo, porque en la mayoría de los procesos relacionados con su aprovechamiento, su calidad y su localización cambian continuamente.

4.3.2 El tema del agua en la educación

El siglo XXI está destinado a ser "el siglo del agua", ya hemos advertido que el futuro del desarrollo de los países estará fuertemente ligado al agua y su disponibilidad. A pesar de ello, se puede apreciar que existe una falta de integración entre la gestión del agua y los intereses, actitudes y comportamientos de la sociedad, por lo cual es necesario que haya transformaciones radicales en sus prácticas vigentes, es decir, se necesita el desarrollo de una nueva cultura hídrica.

La participación responsable de los actores de la sociedad en la gestión del agua requiere un ingrediente insustituible: que los mismos comprendan los procesos. Así podrá facilitarse que acuerden ejecutar las acciones racionales, responsables y solidarias en cada una de las tareas en las que deban interactuar con el agua, poniéndose especial énfasis en la valoración y el apoyo ciudadano para la conservación y el uso responsable del agua como un recurso para la vida.

4.3.3 Participación ciudadana en la gestión de los recursos hídricos

Avanzar hacia una nueva relación con el agua, basada en los principios de la sostenibilidad, exige esfuerzos económicos, científicos y tecnológicos, pero también requiere nuevos enfoques en los campos de la educación, así como un replanteo de los procedimientos empleados para facilitar la participación ciudadana en la toma de decisiones públicas. La participación ciudadana permite mejorar la eficacia con que las sociedades humanas dan respuesta a los retos del medio ambiente y la sostenibilidad. La intervención de la población permite, en primer lugar, realizar mejores diagnósticos de los problemas existentes, generar un conjunto más amplio de alternativas para resolver los retos planteados y movilizar los recursos, humanos y materiales con que cuentan diversos actores sociales, para procurar una mejor gestión del ambiente. En muchas ocasiones las respuestas adecuadas para afrontar un problema están sólo en manos de la propia comunidad, lo que hace que su implicación sea imprescindible (IV Congreso Ibérico, 2004).

La participación no garantiza que todo el mundo vaya a estar de acuerdo con las decisiones finalmente adoptadas, pero puede propiciar que los deseos y necesidades de un número más amplio de personas sean tenidos en cuenta y, de esta forma, puede tener un efecto integrador de intereses en los procedimientos de toma de decisiones. Además, permite que la gente entienda mejor las razones que hay detrás de una decisión, la complejidad de variables que inciden en una situación problemática, los posibles efectos que deben ser previstos a la hora de intervenir o las limitaciones que condicionan la toma de decisiones.

Entre otros argumentos más específicos que muestran la necesidad de una toma de decisiones participativa, se destacan los siguientes:

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

- Las cuencas fluviales son necesariamente sinérgicas: las actuaciones realizadas en cualquier punto de éstas inciden en el conjunto. Los usuarios y residentes en una cuenca deben compartir y resolver las tensiones generadas por el uso del agua.
- El agua se presenta con características irregulares; ello obliga a tomar numerosas decisiones imprevistas, para las que resulta inadecuado un sistema de toma de decisiones basado en fórmulas rígidas y predeterminadas.

Es necesario superar concepciones tradicionales del proceso de desarrollo. La participación comunitaria se debe dar en el analizar, el decidir y el hacer. Por lo tanto, las actividades deben incluir acciones de información, educación, consulta, fortalecimiento de la iniciativa, fiscalización, concertación, toma de decisiones y gestión en todas las fases del proyecto. La educación para el uso y gestión sostenible del agua debe llegar a todos. Pero debe adoptar fórmulas diversas, adaptadas a diferentes destinatarios y contextos socioambientales. Se necesita de una educación permanente, universal e intergeneracional, que llegue al sistema educativo, a la administración y a los actores sociales.

A pesar de que el conjunto de instrumentos útiles para organizar y canalizar la participación pública en la gestión ambiental es amplio, en relación con la planificación y la gestión del agua se ha utilizado tradicionalmente un conjunto de instrumentos muy limitado (IV Congreso Ibérico, 2006), cuestionados por:

- El déficit de información sobre los procedimientos: los datos sobre los procedimientos (plazos para alegar, lugares de consulta de la documentación, etc.) no siempre llegan a los potenciales interesados, ya que a menudo estos datos son tan sólo publicados en el correspondiente boletín oficial, sin que se realice un mayor esfuerzo divulgador.
- La complejidad de la documentación puesta a disposición del público: frecuentemente el carácter muy técnico de los documentos hace difícil su interpretación por los interesados.
- Falta de transparencia: no es común que se ponga a disposición de los distintos actores sociales relacionados con el agua suficiente información como para garantizar transparencia en los procesos de gestión de los recursos hídricos.

Una razón adicional para promover la participación es que cuando no es posible contar con la competencia como un mecanismo de control, la experiencia ha demostrado que la exigencia de la ciudadanía, a través de mecanismos que encauzan la participación de una manera efectiva, es el único mecanismo de control que puede evitar que la gestión sea dominada por intereses parciales.

4.3.4 Recursos hídricos interjurisdiccionales e internacionales[2]

Se prevé que para el año 2025 la demanda de agua imprescindible para la vida será 56% superior que el suministro. De hecho, ya es un bien escaso para buena parte de la humanidad: más de 20% no tiene acceso a agua limpia/segura (2.600 millones de personas, según la OMS y UNICEF) y hasta 40% sufre su escasez y ni siquiera puede disponer de la infraestructura higiénica básica en casa. Algunos de los conflictos empiezan a surgir por la apropiación global de los recursos hídricos locales, ya sea por medio de presas, conductos, tanques o botellas.

En 1949 había en el planeta 5.000 grandes presas hidráulicas y a finales del siglo XX su número ascendía a 45.000. Como muchas de estas presas modifican el flujo de ríos que son compartidos por distintos países, en muchos casos han dado lugar a conflictos.

Son ejemplos conocidos los conflictos que han surgido entre Egipto y Etiopía por la explotación del Nilo, en la República Democrática del Congo como consecuencia de la presa Gran Inga o en la Amazonía brasileña donde los indígenas luchan contra la represa en el río Xingú. A estos enfrentamientos entre pueblos y naciones hay que sumar las violentas protestas que han tenido lugar en ciudades como Cochabamba (Bolivia), Soweto (Sudáfrica) o Jakarta (Indonesia) por la privatización del abastecimiento del agua y todo parece indicar que no serán las únicas, porque existe una creciente presión de la demanda sobre los recursos disponibles. Hay lugares en los que el pago por el agua insume hasta el 10% de los ingresos de las familias más pobres.

Los problemas que ocasiona la insuficiencia de la provisión de agua típicamente rebasan los límites de las comunidades y de las fronteras políticas y afectan a continentes y países. Los límites entre muchos países están marcados por los cuerpos de agua; cerca de 40% de la población mundial vive en cuencas fluviales compartidas por más de un país y muchas comunidades (piénsese en Israel y Pa-

2 En el punto 6 (Anexo I) se desarrollan los temas que son introducidos en este punto.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

lestina) dependen del agua potable de los mismos acuíferos, que han sido sobreutilizados. Por esto, la escasez de agua que resulta de su mal manejo plantea con frecuencia un riesgo de conflictos. Por ello es tan importante que se encuentren medios de gestionar el agua compartida mediante cooperación, sin confrontación. Resumiendo: un buen manejo del agua requiere, según sus características, acciones nacionales, regionales o internacionales, además de la acción local.

República Argentina

La Constitución de la Nación Argentina establece que corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio, lo que significa que las mismas son propietarias de sus recursos hídricos. Cuando los recursos hídricos son compartidos por varias provincias, es necesario procurar acuerdos entre las partes. Para facilitar esos acuerdos, se han creado comités de cuenca y, en algunos casos, organismos de cuenca con facultades ejecutivas (ver Anexos, puntos 6 y 7).

4.4 Impactos significativos relacionados con el sector hídrico

4.4.1 Sequías e inundaciones

La definición de sequía ha sido muy discutida debido a la desigualdad de criterios aplicados por los diferentes autores. No existe una definición aceptada universalmente por lo que se convierte a veces en un término no completamente preciso. En su acepción más amplia la sequía puede ser un período anormal de mucha escasez de agua ocasionada por la falta de precipitación que afecta negativamente, no sólo a la agricultura sino también a otras actividades como por ejemplo la generación de energía hidroeléctrica y el abastecimiento de agua potable.[3]

Las sequías, de todos los desastres naturales, son los fenómenos que tienen mayor impacto económico y pueden afectar al mayor número de personas.

Las inundaciones, así como los terremotos y ciclones, pueden tener una gran intensidad física pero son de duración corta, y su impacto geográfico es limitado. El número de muertes ocasionadas por dichos desastres puede ser muy alto si resultan afectadas áreas densamente pobladas. En contraste, las sequías afectan grandes extensiones geográficas, hasta países enteros, y pueden durar varios meses o, en algunos casos, hasta varios años.

Los desastres debidos a crecidas alcanzan aproximadamente a un tercio de entre todas las catástrofes naturales alrededor del mundo, al menos en cuanto a valores de pérdidas económicas, y son responsables de más de la mitad del número de víctimas fatales. Los daños por crecidas han sido extremadamente severos en décadas recientes y es evidente que tanto la intensidad como la frecuencia de las inundaciones son crecientes. Las pérdidas suman más de 250 billones de dólares en los últimos 10 años.

Las crecidas han sido responsables de numerosas víctimas fatales. La nómina de hechos que provocaron víctimas por eventos naturales –durante los últimos 30 años– contiene dos grandes desastres por crecidas, ambas producidas en Bangladesh en 1970 y 1991. Éstas se ubican en primer y tercer lugar en cuanto a la cantidad de muertos. Como la mayor parte de los eventos hidrológicos excepcionales tienen desarrollo lento y se han implementado técnicas de pronóstico y alerta temprana en muchas áreas densamente pobladas, el número de víctimas fatales tiende a disminuir con el tiempo.

Para el caso de las pérdidas económicas, la situación se presenta aún agravada, pues no sólo los grandes desastres han aumentado su número, sino que también cuentan las pérdidas anuales producidas por eventos menores, que producen inundaciones localizadas. Un análisis de tendencia revela que los desastres debidos a crecidas y las pérdidas generadas por ellas se han incrementado drásticamente en los años recientes. Adicionalmente, deben computarse los costos de las medidas estructurales contra inundaciones y su mantenimiento.

4.4.2 Efectos del cambio climático

Cualquier incremento regional en eventos extremos (tormentas, inundaciones, ciclones, sequías, etc.) asociados con el cambio climático causará daños físicos, movimiento de poblaciones, y efectos adversos en la producción alimentaria y la disponibilidad y calidad del agua dulce, e incrementará los riesgos de epidemias de enfermedades infecciosas, en particular en poblaciones vulnerables.

El efecto preciso que el cambio climático produce sobre los recursos hídricos es incierto. La precipitación aumen-

3 "No existe un remedio único para enfrentar la presión sobre el consumo del agua y la inestabilidad pluvial crecientes. Los países deben elaborar planes de acción holísticos y ponerlos en práctica." Esos planes deben "garantizar al agua potable y saneamiento para todos/Incrementar la eficiencia del agua en la agricultura/Incrementar la previsión de sequías mediante la mejora del almacenamiento de agua". (Sachs, 2008, p. 184)

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

tará probablemente más allá de las altas latitudes 30ºN y 30ºS, pero muchas regiones tropicales y subtropicales recibirán posiblemente una cantidad de lluvia inferior y más irregular. Con una tendencia perceptible hacia el aumento de frecuencia de condiciones meteorológicas extremas, es probable que las inundaciones, sequías, avalanchas de lodo, tifones y ciclones aumenten. Es posible que disminuyan los caudales de los ríos en períodos de flujo escaso y que empeore la calidad del agua debido al aumento de las cargas contaminantes y de la temperatura del agua. De no modificarse la situación actual, el cambio climático tendrá unos impactos y costos medioambientales, sociales y económicos cada vez más significativos. Por ejemplo, entre los impactos negativos se señalan:

- Seguridad alimentaria: si aumenta de manera significativa la temperatura global, el efecto más probable será la reducción general de las cosechas en la mayoría de las regiones tropicales y subtropicales. Las tierras áridas pueden ser las más afectadas, ya que la vegetación es sensible a los pequeños cambios climáticos.

- Eventos extremos: las sequías e inundaciones aumentarán en intensidad. Las fuertes precipitaciones causarán más daños por los derrumbes, avalanchas y deslizamientos más frecuentes. Algunas ciudades costeras estarán amenazadas por las inundaciones.

- Salud: se encontrarán enfermedades tropicales en latitudes cada vez más altas. Los vectores de la enfermedad, como los mosquitos y los patógenos transmitidos por el agua (pobre calidad del agua, disponibilidad y calidad de los alimentos) estarán sujetos a cambios.

- Ecosistemas: mientras algunas especies pueden crecer en abundancia o variedad, el cambio climático aumentará los riesgos existentes de extinción de las especies más vulnerables, provocando como consecuencia una pérdida de la biodiversidad.

Corresponde manifestar que los efectos del cambio climático no sólo podrán estar vinculados con potenciales daños y pérdidas para la sociedad, sino que también podrán generar beneficios mejorando las condiciones ambientales de determinadas regiones, por ejemplo, permitiendo que se generen nuevas zonas aptas para la producción de alimentos en regiones de altas latitudes o permitiendo que se instrumenten medidas de adaptación a las nuevas condiciones que resulten superadoras de las condiciones actuales en algunas de las regiones afectadas por modificaciones en sus condiciones climáticas.

4.4.3 Contaminación del agua

En el mundo en desarrollo con una población total en aumento se estima que la población rural mundial se reducirá levemente, mientras que se espera el rápido crecimiento de la población urbana. Los asentamientos humanos son contaminadores de los recursos, por lo que la buena gestión del agua y de las aguas residuales es esencial para reducir la contaminación y minimizar los riesgos para la salud.

La agricultura de regadío también tiene un impacto significativo sobre el medio ambiente. La extracción de agua de ríos y lagos para riego puede poner en riesgo ecosistemas acuáticos ocasionando pérdidas en su productividad y biodiversidad. Los productos químicos que se utilizan en el regadío contaminan a menudo la escorrentía superficial y subterránea. El potasio y el nitrógeno aplicados en los fertilizantes pueden ser lixiviados en las aguas superficiales y subterráneas produciendo proliferación de algas y eutrofización. El riego puede también concentrar sales que existen de forma natural y retornan hacia las aguas superficiales y subterráneas. En las regiones áridas, el riego puede lixiviar elementos tóxicos como el selenio, existentes de forma natural en los suelos.

Junto con los efluentes agrícolas y municipales, la contaminación y los residuos industriales ponen en peligro los recursos hídricos en todo el planeta, dañando y destruyendo los ecosistemas. Esto amenaza la seguridad hídrica de las personas y de las actividades que utilizan y consumen agua.

Al mismo tiempo, la contaminación también tiene un impacto económico directo sobre la pesca y sobre las industrias de los países desarrollados y en vías de desarrollo que requieren agua no contaminada. La seguridad hídrica se ve cada vez más afectada a causa del déficit y del deterioro de la calidad del agua. Problemas principales y procesos relacionados con la contaminación de aguas superficiales (lagos, ríos, represas) pueden observarse en la Figura 5, tomada de Tundisi, 2009.

4.5 Gestión de los recursos hídricos

4.5.1 Paradigmas emergentes para el manejo del agua

A lo largo de la historia y en la extensión del mundo civilizado, la gestión del agua ha sido organizada de maneras muy diversas. Pero en este panorama tan variado es posible apreciar la presencia permanente de tensiones a lo largo de dos ejes: entre formas de organización centralizadas y descentralizadas, y entre una mayor o menor participación de la iniciativa privada.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

El paradigma que se ha perfilado en las últimas décadas destaca este hecho y postula que la alternancia de desplazamientos en uno u otro sentido a lo largo de esos ejes, que es frecuente en muchos países, refleja la necesidad de procurar un balance entre formas de organización que son opuestas, porque ninguna de las formas extremas puede dar buenos resultados por sí sola. Los Principios de Dublín,[4] consensuados en el año 1992, plantean este paradigma en un lenguaje accesible para quienes no son especialistas en las diversas disciplinas importantes para la gestión del agua (básicamente la ingeniería, la geología, la meteorología, la biología, el derecho, la economía y la gestión pública y privada).

"¿Cuál es el equilibrio que se puede establecer entre una gestión puramente tecnológica y otra que incluya educación, divulgación de los problemas y participación comunitaria? La cuestión debe ser considerada para cada cuenca o subcuenca y dependerá del grado de tecnología existente y de la percepción y educación de la población, así como de la posibilidad de administrar los conflictos por los tomadores de decisiones, prefectos municipales y gerentes de cuenca" (Tundisi, 2005).

Los sintetizan un consenso sobre la necesidad de tener en todo momento una visión de conjunto de la gestión hídrica, pero sin que ello implique no escuchar ni valorar la opinión de los gobiernos locales (municipales o comunales) y la de los representantes de las distintas organizaciones y sectores de la sociedad civil. También revelan un acuerdo sobre la necesidad de tener presente que el agua tiene un costo y un valor, lo cual induce a considerar de qué manera la iniciativa privada podría contribuir a un uso más eficiente.

4 Principios de Dublín: 1) El agua dulce es un recurso finito, vulnerable y esencial para mantener la vida, el desarrollo y el medio ambiente. Debería ser gestionada de manera integrada. 2) La gestión y el desarrollo de los recursos hídricos deberían apoyarse en un abordaje participativo, que involucre a todos los sectores afectados: planificadores, administradores y usuarios. 3) Las mujeres tienen un papel central en la provisión, la gestión y la conservación del agua. 4) El agua tiene un valor económico y debería ser reconocida como un bien económico, mediante criterios que contribuyan a que tenga un costo accesible y con equidad social para su consumo. Estos principios fueron acordados en 1992 en la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Ambiente realizada en Dublin como preparación de la Conferencia Internacional sobre Ambiente y el Desarrollo de las Naciones Unidas, que tuvo lugar en Río de Janeiro el mismo año 1992.

Este nuevo paradigma es en cierto sentido un retorno a una visión que ya prevalecía en la mayoría de los países antes de que se sintiera el impacto arrollador que tuvieron los avances en la ingeniería (particularmente en el análisis de sistemas) y en la economía, ocurridos a lo largo de los siglos XIX y XX. Estos dos desarrollos impulsaron las tendencias opuestas antes mencionadas: los avances hacia un manejo planificado y centralizado del agua, por una parte, y por la otra, los avances hacia una gestión descentralizada.

La primera visión generó la constitución de Autoridades de Cuenca, cuyo objetivo es gestionar los recursos hídricos como un sistema en el que el aprovechamiento puede ser optimizado mediante un conjunto de normas y obras, sobre la base de una evaluación integral de las necesidades y de las posibilidades.

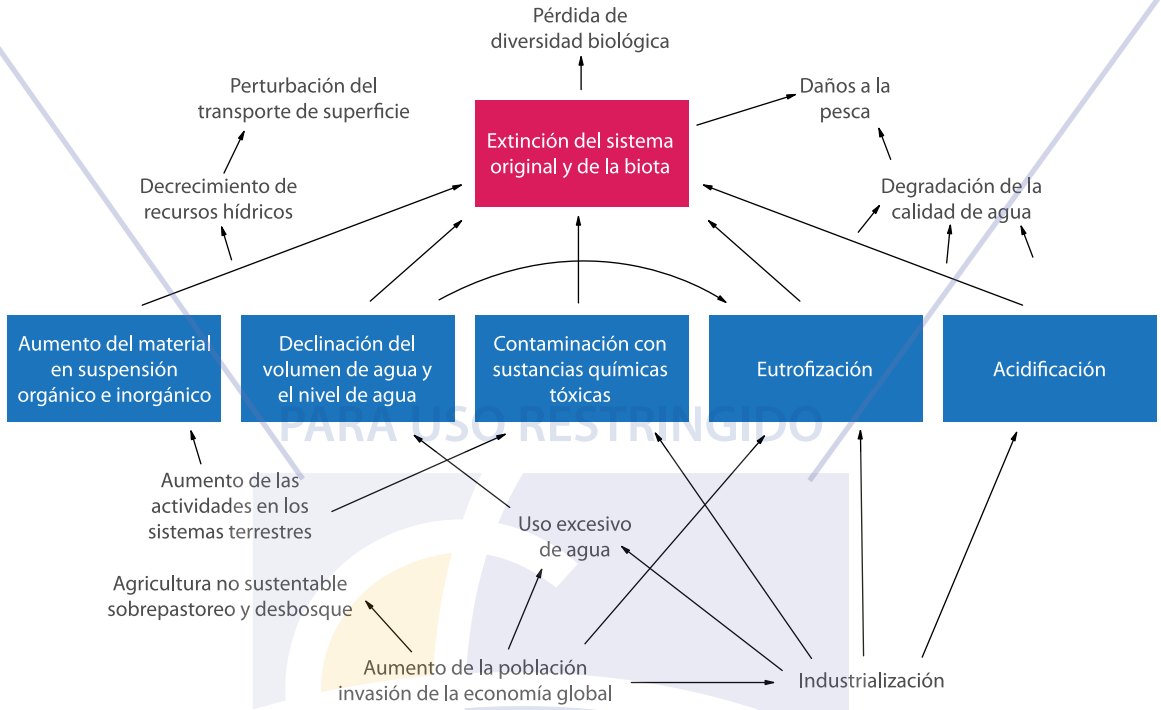
La segunda visión generó una toma de conciencia de que el agua es un bien escaso y que para optimizar su asignación y adoptar mejores tecnologías en su uso, es conveniente recurrir -en la medida de lo posible, dadas las particularidades del ciclo hidrológico- a una descentralización basada en mecanismos de mercado, en los que las respuestas individuales a precios determinados por la interacción de la oferta y la demanda del agua definan la asignación del agua entre los distintos usos.

Las dos propuestas fueron aplicadas en todo el mundo, con resultados que en general no alcanzaron las expectativas que habían creado. Es ya generalmente aceptado que las Autoridades de Cuenca sólo pueden ser eficaces cuando existe un grado muy alto de confianza entre las unidades institucionales o políticas autónomas que las integran, que permita implementar una expresa delegación de funciones. En el caso contrario, se producen conflictos por competencias que traban la ejecución de las acciones propuestas por esas autoridades (salvo en el caso de regiones poco desarrolladas en las que los organismos de los gobiernos locales son muy débiles).

Se produjo entonces una revalorización de la organización tradicional de la gestión hídrica, que se basaba en respetar lo más posible las autonomías y en recurrir a acuerdos entre las jurisdicciones autónomas para solucionar los problemas que plantea el hecho que el agua las interrelaciona de muchas maneras. No siempre se llega a acuerdos, pero la experiencia muestra que por cada conflicto entre unidades autónomas por cuestiones relacionadas con la gestión del agua, es posible encontrar muchos casos de interrelaciones que fueron resueltas en forma amistosa aprovechando

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 5. Principales problemas y procesos relacionados con la contaminación de aguas superficiales (lagos, ríos, represas). Resultado del estudio realizado en 600 lagos de varios continentes por ILEC



Fuente: International Lake Environment Committee, Kira and Tundisi; gráfico tomado de Tundisi 2008, pag. 54

que en la mayoría de ellas la cooperación permite alcanzar resultados mejores que una coordinación que sólo procura evitar conflictos.

Una investigación realizada en la Universidad de Oregon, Estados Unidos, ha encontrado evidencias de que no deben ser consideradas muy probables las guerras originadas por conflictos relacionados con el agua. El estudio de 263 cuencas transfronterizas, que abarcan cerca de la mitad de la superficie terrestre, encontró que esas cuencas generan más cooperación que conflictos. A lo largo del último siglo se han firmado 400 tratados referidos al uso de ríos. De los 37 incidentes que llevaron a la violencia, 30 ocurrieron en la región seca y conflictiva formada por Israel y sus vecinos, donde se disputó el uso del río Jordán hasta que Israel lo incluyó en su territorio en la guerra de 1967. El estudio destaca que algunos pactos interestatales son muy robustos y cita el tratado entre India y Paquistán, que se mantuvo a pesar de dos guerras y de una aguda crisis en 2002.

4.5.2 Economía y gestión del agua

Es aceptado que el objetivo general de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) es procurar que el uso del agua sea eficiente, equitativo y sostenible. Las consideraciones hechas en el apartado anterior, referidas a las dificultades que se presentan para lograr ese objetivo mediante la mera aplicación de técnicas cuantitativas o mediante el recurso del sistema de precios, llevaron a plantear la minimización del costo de cumplir con un conjunto de umbrales o metas relacionados con los principales riesgos que enfrenta la gestión del agua. Como esos riesgos conforman un sistema complejo, porque están relacionados entre sí de muchas maneras, minimizar el costo de respetar esos umbrales o metas no es lo mismo que minimizar el costo del agua y tampoco es lo mismo que maximizar el valor de los servicios relacionados con la gestión hídrica.

El desafío de lograr eficiencia –un uso eficiente de los recursos escasos– y eficacia –que los recursos sean asignados a actividades que la población valora o necesita– sin recurrir al sistema de precios (mercado) o a técnicas cuantitativas de optimización puede ser resuelto de una única manera: facilitando la coordinación y promoviendo mecanismos de control participativo. En otras palabras, cuando no es posible organizar la gestión de manera que la competencia en los mercados contribuya a una asignación eficiente y eficaz de los recursos, sólo la exigencia de la población –como usuarios o clientes de los servicios, o como propietarios o residentes de las jurisdicciones autónomas– puede promover la eficiencia y eficacia de la gestión hídrica.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Por esta razón, cuando se extendió a todos los países la conciencia de la necesidad de conservar los recursos hídricos y de proteger el ambiente en la segunda mitad del siglo XX, los nuevos organismos que fueron creados para procurar esos objetivos se orientaron principalmente a implementar las dos líneas de acción mencionadas: facilitar la coordinación y promover la participación.

La coordinación es necesaria entre los organismos públicos existentes, y entre éstos y el sector privado, en todos los aspectos que tienen relación con la definición y el cumplimiento de los umbrales y metas que minimizan los riesgos hídricos y ambientales. Los nuevos organismos que gestionan el agua y el ambiente no pueden ejercer autoridad sobre los organismos sectoriales o sobre los gobiernos autónomos de los cuales dependen. Sólo pueden promover y facilitar el logro de los numerosos acuerdos que son necesarios para la GIRH, mediante la provisión de asistencia técnica, el fomento de la generación y difusión de información hídrica y el estímulo para la formación y la capacitación de los especialistas en los aspectos más importantes de la gestión hídrica.

Como en general la participación sólo es eficaz en el ámbito local, conviene que la gestión de los servicios hídricos básicos –la provisión de agua y saneamiento, la prevención de inundaciones, el control del uso del agua subterránea, la prevención de la contaminación- sea organizada con la participación de ese nivel. Pero para no perder de vista las economías de escala y otros aspectos que sólo pueden ser apreciados desde una visión de conjunto, la gestión local debe articularse con las jurisdicciones vecinas, con la gestión provincial y con los organismos nacionales.

Los comités de cuenca son el mecanismo de coordinación más usado en Argentina, pero la gestión integrada requiere recurrir además a otros mecanismos, como por ejemplo a la organización de consorcios o a la formulación de planes sectoriales interjurisdiccionales.

4.5.3 El agua y los medios de comunicación

Durante las presentaciones realizadas en la "Tribuna del Agua", en Expo Zaragoza 2008, dentro del capítulo "Agua y Sociedad" se dio margen para el debate sobre "agua y medios de comunicación", del que se pueden extraer algunas experiencias y conclusiones.

Un tema de particular interés incluyó resultados parciales de una encuesta sobre la participación en los "telediarios" españoles de los temas del agua. En términos generales, los resultados destacan que 74% de la población de España se informa a través de la televisión. De 4.000 noticias comentadas en cuatro telediarios durante el término de dos meses sólo 3,8% de ese volumen informativo tuvo relación con temas del agua.

Dentro de ese escaso total, se mencionó que 32% se refirió a lluvias, 20% a inundaciones, 28,6% a problemas oceánicos, en particular a contaminación de regiones costeras, 11,3% a sequías y sólo 8% a la gestión de los recursos hídricos. Según fue planteado, los telediarios presentaron una imagen catastrófica del agua, así como una marcada preocupación por la salud ambiental de los océanos. Evidenciaron en cambio escaso interés por cuestiones de carácter tecnológico, económico, social y político vinculadas con la gestión del agua.

Sin contar con información estadística como la expuesta para España, en la Argentina la mayor parte de la población también se informa a través de los noticieros televisivos, con el grave problema de considerar que sus palabras implican "la verdad absoluta". Por otra parte, resulta claro en Argentina que el periodismo televisivo está aún más interesado en las catástrofes porque tienen mayor "rating" y, salvo excepciones, tiene tendencia a buscar culpables en desmedro de la búsqueda de razones técnicas y eventuales vías de solución de los problemas.

La opinión de un profesional especializado es habitualmente puesta en tela de juicio por profesionales de otras disciplinas, los propios periodistas y supuestos idóneos.

Pero creer que todo es una confabulación contra los especialistas del sector es, en el mejor de los casos, una causa de error. Debe reconocerse que existe una falla en la formación de los especialistas en cuanto a su capacidad de difundir en tiempo y forma los alcances, beneficios y eventuales problemas de sus proyectos. Lo expuesto implica que la educación de los profesionales en ciencias del agua no sólo debe centrarse en la excelencia científica y tecnológica para la formación integral de sus futuros egresados sino que se tendrá que buscar la metodología adecuada para hacer transmitir a los alumnos la necesidad de dar prioridad a proyectos de interés para la sociedad y expresar sus beneficios, costos e impactos de manera sencilla y creíble para su comprensión.

4.5.4 Desarrollo institucional para el manejo del agua[5]

La gestión hídrica abarca los servicios que se prestan en forma directa a clientes o usuarios individuales, los servicios que benefician al mismo tiempo a muchos sectores –como la planificación, la prevención de inundaciones o la

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

conservación del recurso– y la gestión de la coordinación entre todos los servicios y entre ellos y los demás sectores de la organización social. Los servicios son prestados en general por empresas u organismos públicos, en el marco de normas que regulan las acciones que desarrollan para cumplir con sus objetivos. En general, cada empresa u organización deberá ejecutar un conjunto de funciones, que podrá implementar dentro de su estructura organizativa o mediante subcontrataciones o convenios con otras organizaciones.

El hecho de que casi todas estas funciones se pueden tercerizar –las excepciones son la coordinación, el control interno y la actualización del marco regulatorio– ayuda a comprender por qué la organización de la gestión hídrica difiere mucho entre jurisdicciones: en muchos casos varias de estas funciones son provistas por organismos especializados, lo cual tiene ventajas y desventajas que deben ser evaluadas en cada caso.

Es común que distintos organismos presten los mismos servicios en los tres niveles de gobierno y que se estime que la coordinación entre ellos evitaría que haya duplicaciones. Esto sugiere que una buena coordinación es un aspecto clave: con cualquier organización, una mayor coordinación puede mejorar los resultados y, a la inversa, con cualquier organización la falta de coordinación llevará a malos resultados. Es necesario tener en cuenta que la coordinación es tan importante dentro de cada organismo –entre sus divisiones funcionales– como entre organismos distintos.

En algunos casos se implementa una reorganización para reanimar organizaciones que se han anquilosado. Pero dejando de lado los casos en que se persigue este objetivo, en general las reorganizaciones no corrigen fallas en la gestión, porque éstas suelen ser una consecuencia de no haber logrado un grado mínimo de coordinación.

En el libro de UNESCO sobre Ingeniería (UNESCO, 2010) en el Capítulo dedicado a "Provisión de agua y saneamiento" se concluye diciendo (p. 287) que hay una necesidad urgente de acción planificada para administrar los recursos hídricos y que existe una preocupación particular sobre los problemas que se presentan en áreas urbana de los países en desarrollo. Destaca que muchas intervenciones han fracasado por falta de atención al panorama institucional que las ha aplicado y por la falta de participación de los implicados en el desarrollo y ejecución de esas acciones. Además se expresa: "Las intervenciones deben considerar el ciclo urbano completo del agua, reconociendo las interacciones entre los diversos componentes del sistema. Debe haber también una reflexión sobre la forma como el agua es usada y reusada y una mayor utilización de sistemas naturales de tratamiento", con el objetivo de obtener sistemas más robustos y resilientes ante futuras presiones no previstas y nuevos contaminantes emergentes.

5 El marco jurídico-administrativo del agua en la República Argentina se describe en el punto 7 (Anexo II).

5. Situación de los recursos hídricos en Argentina

Luego de exponer aspectos de la situación mundial y de América Latina y Caribe, con algunas referencias argentinas, a continuación se presentan informaciones, conclusiones y sugerencias de este trabajo en tres grandes categorías referidas particularmente a la situación del uso del agua en nuestro país:

1. Posición de la Argentina en relación con distintos usos del agua.
2. Desafíos de la gestión de los recursos hídricos en la Argentina.
3. Propuestas para el desarrollo de los recursos hídricos en dos áreas prioritarias: energía y provisión de agua y saneamiento.

5.1 Posición de Argentina en relación con los distintos usos del agua

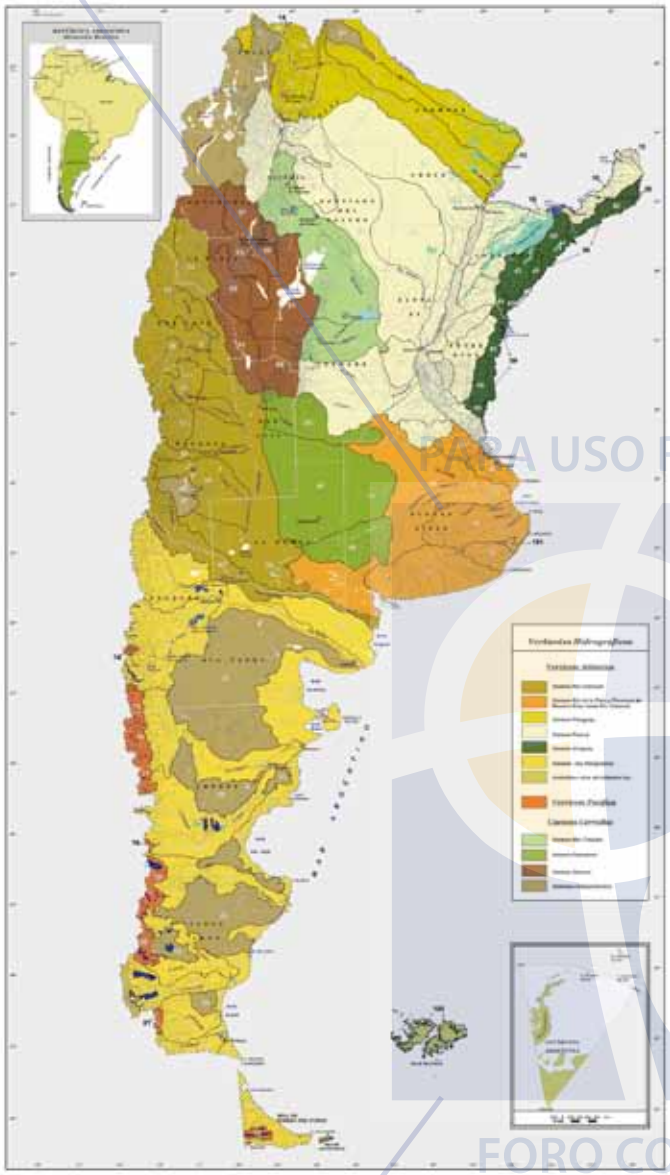
Sobre la base de la información que se ha relevado para este trabajo hasta los años 2008/2009/2010, pueden resumirse las siguientes conclusiones generales para los aspectos analizados:

5.1.1 Recursos hídricos disponibles: variabilidad espacial, temporal y en calidad del agua

- La oferta de agua se encuentra irregularmente distribuida mundialmente. América Latina y el Caribe que ocupan aproximadamente 15% de la superficie del planeta, reciben 30% de la precipitación y genera 33% de la escorrentía superficial mundial. La región alberga 10% de la población mundial por lo que la dotación por habitante resultando superior a la media mundial. Pero dos tercios del territorio es árido o semiárido y un cuarto de la población vive en zonas de estrés hídrico. De esta manera, intentar mejorar las distribuciones espacial y temporal de la oferta y la demanda de agua constituye un desafío para la región.

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

Figura 6. Mapa de vertientes hídricas



Desarrollado por INCYTH (hoy INA) con apoyo de UNESCO, 2005

- En los últimos 50 años, la población mundial se ha triplicado mientras que el consumo de agua se ha sextuplicado. La demanda de agua para consumo crece con el crecimiento de la población y con la mejora de sus niveles de vida.
- La Argentina dispone de una oferta hídrica superficial media anual por habitante superior a los 20.000 m³/hab, lo que la ubica como un país rico en agua. Sin embargo, sus posibilidades de contar con un desarrollo territorial equilibrado están vinculadas con la disponibilidad adecuada del agua en el espacio y el tiempo, para lo que debe generar infraestructura y capacidad de gestión a fin de superar su heterogeneidad climática y la dispar distribución geográfica de sus recursos hídricos (punto 3.1.3).

La región húmeda con más de 800 mm de precipitación y una superficie de 665.000 km² (24% de la superficie total) concentra cerca de 70% de la población (40 hab/ km²), 80% del valor de la producción agropecuaria y 85% de la actividad industrial así como lo esencial de la infraestructura de servicios del país. La agricultura es principalmente de secano, sin embargo se evidencia en las últimas dos décadas un fuerte desarrollo del riego complementario.

En la región semiárida (15% de la superficie total del país) habita 28% de la población. Debido al importante déficit hídrico durante gran parte del año, el riego resulta indispensable para el desarrollo de ciertos cultivos.

La región árida (61% de la superficie total del país) aloja 6% de la población nacional. Como las explotaciones agrícolas requieren de riego integral, el desarrollo de la región árida depende de la disponibilidad de agua y de la aptitud del suelo.

De estos datos se desprende que 76% del territorio nacional se encuentra bajo condiciones de aridez y semiaridez, lo que enfatiza la importancia de una gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos (Cuadro 4).

En la región árida y semiárida el déficit hídrico por escasez y variabilidad estacional de la oferta limita las posibilidades productivas de los suelos, y en la región húmeda y subhúmeda, donde la oferta de agua y el clima permiten desarrollar cultivos de secano o con riego complementario, la degradación de la calidad de las aguas limita la disponibilidad del recurso utilizable.

La precipitación media anual en el país es de 600 mm, lo cual supone un volumen anual de 1.668 km³. De este volumen total, cerca de 83% se transforma en evapotranspiración y evaporación directa, por lo que los recursos hídricos internos renovables anuales de origen pluvial son de aproxima-

Cuadro 4. Regiones climáticas en Argentina

Regiones climáticas	% de la superficie total del país	% de la población total del país
Húmedas	24 %	68 %
Semiáridas	15 %	26 %
Áridas	61 %	6 %

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

damente 276 km³. La escorrentía superficial total se estima en 814 km³/año, de los cuales 538 km³/año provienen de los aportes de los países limítrofes, especialmente de la cuenca del río Paraná-Paraguay y del río Uruguay. El uso total de los recursos hídricos renovables del país es del 4%.

La disposición orográfica del país determina la formación de tres vertientes hidrográficas: Atlántico, Pacífico y Cuencas Endorreicas. Estas grandes vertientes, a su vez, se subdividen en sistemas y cuencas hidrográficas, respectivamente (Figura 6).

El Cuadro 5 permite apreciar los caudales medios anuales de las principales cuencas de la Argentina. En éste puede observarse que el derrame de la cuenca del Plata representa más de 85% del total de los recursos superficiales.

Desde el punto de vista de riqueza hídrica relativa, los sistemas de la vertiente pacífica son los que exhiben el mayor caudal específico que alcanza unos 36,2 l/seg/km², muy superior al promedio de 6,4 l/seg/km² del país. Varias regiones de la zona árida y semiárida, del orden de 15% de la superficie total, corresponden a cuencas sin derrame al mar con una contribución menor al 1%.

En lo que hace a las disponibilidades hídricas subterráneas, la utilización de las mismas guarda relación con los aportes pluviales y fluviales de cada región haciéndose uso de aquéllas cuando no se dispone de la alternativa del recurso superficial. La oferta de agua subterránea está en algunas ocasiones limitada por la baja calidad y potencia de los acuíferos.

En líneas generales la oferta total de agua en Argentina está crecientemente condicionada por la contaminación de ríos, lagos y acuíferos por fuentes difusas y concentradas.

Influencia del cambio climático. Tendencias climáticas observadas en la República Argentina

- Aumento de las precipitaciones medias anuales en casi toda la Argentina y muy especialmente en el Noreste y en la zona Oeste a la región húmeda tradicional.
- Aumento de la frecuencia de precipitaciones extremas en gran parte del este y centro del país.
- Aumento de la temperatura en la zona cordillerana de la Patagonia y Cuyo con retroceso de glaciares.
- Aumento de los caudales de los ríos y de la frecuen-

Tabla 5. Caudales medios anuales de las principales cuencas de la Argentina

Sistema	Caudal medio m³/s	Caudal medio %	Derrame Hm³	Área de aporte Km²	Caudal específico l/seg/km²
Vertiente Atlántica					
Del Plata(a)	22.031	85,27	694.770	3.092.000	7,1
Pcia. de Buenos Aires	147	0,57	4.636	181.203	0,8
Del Colorado	319	1,24	10.060	92.840	3,4
Patagónicos	1.941	7,52	61.211	356.033	5,5
Sub total	24.438	94,6	770.677	3.722.076	
Promedio	-	-	-	-	6,5
Vertiente pacífica					
Varios	1.212	4,69	38.222	33.455	36,2
Endorreicas					
Independientes	42	0,16	1.325	248.871	0,2
Mar Chiquita	114	0,44	3.595	22.030	5,2
Serrano	24	0,09	757	26.555	0,9
Pampeano	6	0,02	189	600	10
Sub total	186	0,71	5.866	298.056	
Promedio					0,6
Total	**25.836**	**100**	**814.764**	**4.053.587**	
Promedio					**6,4**

(a) El caudal medio incluye el 100% del caudal del río Uruguay y la superficie consignada es el total de la cuenca de aporte.
Fuente: Balance hídrico de la República Argentina. INCYTH-UNESCO, 1994

USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

cia de inundaciones en todo el país excepto en San Juan, Mendoza, Comahue y norte de la Patagonia.

En base a los informes de IPCC puede considerarse que el cambio climático global aumentará o creará nuevas vulnerabilidades:

- Retroceso de los caudales de los ríos de la Cuenca del Plata.
- Aumento del estrés en todo el norte y parte del oeste del país.
- Retroceso de la precipitación nival en la Cordillera de los Andes, probable crisis del agua en Mendoza, San Juan, y disminución de la generación hidroeléctrica en el Comahue.
- Continuación de la alta frecuencia de precipitaciones intensas e inundaciones en las zonas y anteriormente afectadas.
- Continuación del retroceso de los glaciares.
- Afectación de algunos puntos del litoral marítimo y de la costa del Río de la Plata por el aumento del nivel del mar.

5.1.2 Consumo de agua para satisfacer las necesidades básicas

- En Argentina el consumo muestra una alta variabilidad, entre 150 y 400 l/d/hab. Por otra parte, se estima que el volumen de agua no contabilizada varía entre 30 y 45% del agua potable producida. Lo mismo sucede con la micromedición, que va desde su inexistencia hasta llegar a 100% de los usuarios en algunos servicios de pequeñas localidades, pero con un promedio nacional que está por debajo de 20%.
- En la Argentina no está debidamente garantizada la disponibilidad de agua para cubrir las necesidades básicas del total de la población del país. Las principales deficiencias en el servicio se dan en las áreas metropolitanas de las ciudades más grandes, por la falta de redes de abastecimiento y por la contaminación de los recursos superficiales y subterráneos. También existen poblaciones rurales en zonas áridas y semiáridas que tienen comprometida su capacidad de abastecimiento.
- Todo lo anterior pese a que el derecho de todo ser humano al agua está incorporado sin colisiones, pacífica y ordenadamente, al sistema jurídico argentino, los tribunales lo amparan y la doctrina especializada lo acepta y estudia.

En el derecho positivo argentino, el artículo 41 de la Constitución Nacional proclama que todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer la obligación de proteger ese derecho. Aunque no aclara que sea un derecho humano, su reconocimiento a "todos los habitantes" lo aproxima a esa categoría.

Abastecimiento de agua y saneamiento

En la Figura 7 se observa la evolución de la cobertura en agua y saneamiento de la Argentina para el período 1990-2008. En el caso del servicio de agua con conexión a la red pública, la cobertura aumentó un 11%, mientras que el servicio de saneamiento con conexión a la red se mantuvo prácticamente constante, es decir, acompañó al crecimiento demográfico.

PARA USO RESTRINGIDO

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC), los 32 aglomerados urbanos que conforman el 70% de la población urbana nacional tenían, en el primer trimestre del año 2010 (BM, 2010), una cobertura media de agua potable por red de 99,6% de los habitantes y una cobertura de alcantarillado sanitario por red de 64,5% de los habitantes. Las coberturas del aglomerado metropolitano de Buenos Aires (AMBA) estaban por debajo de estos promedios.

Respecto al tratamiento de aguas residuales se estima que en el país sólo se procesa aproximadamente 12% del total de los líquidos colectados, uno de los porcentajes más bajos de América Latina. En un conjunto de 10 provincias se tratan entre 50 y 85% de las aguas residuales totales, pero en las ciudades más grandes del país el tratamiento es escaso (en general no supera 10%).

FORO CONSULTIVO

En términos de inversiones de agua y saneamiento en las últimas décadas, se estima que América Latina y el Caribe los montos de las mismas significaron en promedio 0.2% del PBI. Argentina, por su parte, invirtió en el período 1970-1980 en promedio 0.17% del PBI; durante 1981-1991 se redujo a 0.08% del PBI y se recuperó en el lapso 1993-2001 al alcanzar 0.21% del PBI. En los años siguientes, los montos de inversión se redujeron a causa de la crisis macroeconómica y de la renegociación y rescisión de contratos con operadores privados En los últimos años, con la reestatización de la mayoría de los grandes servicios, y en particular el del AMBA, se han formulado importantes planes de obra y se han alcanzado altos niveles de inversión sobre la base del financiamiento de aportes del presupuesto estatal y de préstamos de la banca multilateral.

5.1.3. Regímenes tarifarios

Con relación a la sostenibilidad financiera de los servicios de agua y saneamiento, la experiencia internacional mues-

tra que los ingresos por facturación, salvo en el grupo de países de menor desarrollo, alcanzan a cubrir los costos de OyM y una proporción de los costos de capital. Pero por otra parte se aprecia que aun en los países más desarrollados los servicios reciben subsidios para financiar parte de las inversiones. Como ya se ha mencionado, en la actualidad en varios servicios de grandes ciudades de la Argentina los ingresos tarifarios no alcanzan a cubrir los costos de OyM. Por ejemplo en el AMBA, cuyas tarifas no se modifican desde el 2002, en el año 2009 los ingresos tarifarios cubrieron 58% de los costos operativos, proporción que se redujo 47% en el 2010.

Sin embargo, para la mayor parte de los servicios de agua potable del país es difícil determinar la tarifa por m3 debido a que poseen sistemas tarifarios del tipo "canilla libre" dado que se cobra un cargo fijo independiente de la cantidad consumida.

Para el caso de los servicios del AMBA a cargo de la empresa Agua y Saneamientos Argentinos SA (AySA), al dividir el total de ingresos por facturación por la cantidad de m3 de agua comercializada, se obtiene que el valor estimado medio del m3 de agua y cloacas (alcantarillado) es $0,67 (US$ 0,17) por m3 de agua consumida.

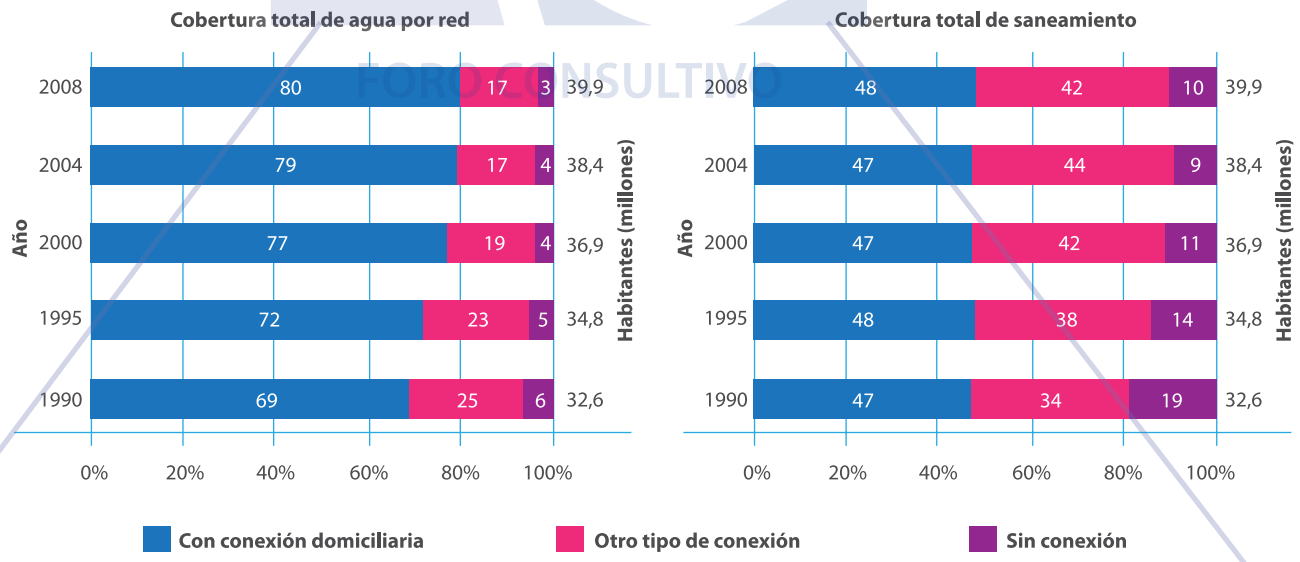
Muchas provincias han mantenido el régimen tarifario desde la época en que los servicios eran operados por la empresa de cobertura nacional Obras Sanitarias de la Nación (OSN), el cual está basado en un criterio de consumo presunto en función de la superficie, zona, calidad y antigüedad del inmueble, y que distingue a los usuarios residenciales de los no residenciales. Estas variables pretenden actuar como una indicación del nivel de ingreso, capacidad de pago y consumo de agua del usuario. Sin embargo, los valores de las facturas que se obtienen mediante este procedimiento no tienen correlación estadística con los respectivos consumos. Por otra parte, el régimen tarifario está estructurado con un sistema complejo y generalmente desactualizado de subsidios cruzados.

Complementariamente, en algunos servicios existe un subsidio focalizado explícito. En el AMBA se denomina Programa de Tarifa Social, está vigente desde el año 2002, y beneficia a aquellos usuarios en situación de vulnerabilidad social, que no están en condiciones de afrontar el pago de la tarifa correspondiente a los servicios de agua y saneamiento. A diciembre de 2009, los beneficiarios representaban aproximadamente 2% del catastro de usuarios y obtenían un descuento promedio del orden de 43% del valor de la factura.

5.1.4 Sequías e inundaciones

Por su ubicación geográfica, diversidad climática y relieve, la Argentina está sujeta a la ocurrencia de fenómenos naturales como sequías e inundaciones. Invariablemente, tienen un impacto directo y significativo sobre la producción alimenticia y la economía en general.

Figura 7. Evolución de la cobertura en agua y saneamiento de la Argentina, 1990-2008



Fuente: JMP (2006 y 2010)

PARA USOS EXTRANJEROS FORO CONSULTIVO

Sequías

Las sequías se presentan en muchas regiones de Argentina aún cuando las características climáticas sean diferentes. Las sequías han ocurrido en períodos prolongados de tiempo, meses y varios años por diferentes causas que dependen principalmente de las características climáticas pero también del uso del agua y los suelos. Específicamente, ya que la sequía es un desastre natural que se origina por deficiencia de precipitaciones en un período prolongado, causa daños en el desarrollo de las actividades agrícolas, en particular.

Inundaciones

En 1982/83 y en 1992 ocurrieron severas crecidas de los ríos Paraná y Paraguay, que se extendieron también al río Uruguay. La crecida de 1982/83, que duró más de un año y tuvo un caudal máximo de 60.200 m^3/s en la confluencia Paraná-Paraguay, inundó una superficie de más de 30.000 km2, generando la evacuación de alrededor de 100.000 personas y provocando un daño estimado en más de 2.000 millones de dólares. A raíz de las inundaciones producidas durante ese período la Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación puso en funcionamiento un Centro Operativo de Alerta Hidrológico, que actualmente continúa funcionando y cuya operación en sus orígenes fue confiada al actual Instituto Nacional del Agua (INA). Posteriormente la jerarquía administrativa de la Secretaría de Recursos Hídricos se redujo en su rango y en su competencia, contradiciendo con ello las recomendaciones de la Conferencia de las Naciones Unidas realizada en 1977 en Mar del Plata.

En la crecida de 1992, en la que ya el sistema de alerta temprana estaba activo, se registraron daños materiales del orden de 500 millones de dólares. Esta crecida fue sensiblemente mayor que la registrada en 1966 (43.800 m^3/s) y sin embargo en 1966 los daños materiales fueron inferiores, porque había menos capital en riesgo debido a que las inversiones y los pobladores en el valle fluvial se habían incrementado de modo importante, en 1992.

Ante una necesidad de definición de metodología de acción contra las inundaciones, debe aclararse que no existe una respuesta única válida para todas las circunstancias y todas las regiones, ni que asegure una protección completa. Como ejemplo, se puede señalar la ocurrencia de dos crecidas muy importantes que produjeron severos daños en sociedades que han desarrollado tecnologías avanzadas: la crecida del río Mississippi ocurrida en los Estados Unidos en el año 1993, y la del río Oder en Alemania en 1997. Estos casos muestran que los daños son severos y de difícil reducción para este tipo de fenómenos aún en países del primer mundo y que el manejo de las crecidas es un problema actual y de discusión de la comunidad científica y tecnológica.

Por ello, la importancia de investigar en el tema de los desastres naturales de origen hídrico está fuertemente conectada con la necesidad de definir metodologías de acción contra esos fenómenos, aunque no exista una respuesta única válida para todas las circunstancias ni que asegure una protección completa.

Medidas de mitigación de inundaciones

Las medidas estructurales y no estructurales de defensa contra las inundaciones componen en cierta medida concepciones básicas diferentes, pero que resultan de uso complementario para mitigar los efectos de las crecidas. En realidad pueden sumarse las obras de protección (medidas estructurales) con medidas no estructurales tendientes a disminuir los costos y riesgos de las inundaciones. La mitigación de los desastres por inundación no depende sólo de acciones que puedan desarrollarse durante las crecidas sino que deben ser producto de una combinación de acciones de prevención, manejo operacional de crecidas y reconstrucciones y revisiones posteriores al pasaje de las aguas.

Las actividades de prevención incluyen aspectos tales como el manejo de riesgos de crecidas; la planificación de contingencias de desastres, para establecer rutas de evacuación, umbrales críticos de decisión, requerimiento de servicios públicos e infraestructura para operaciones de emergencia, etc.; la construcción de la infraestructura de defensa contra inundaciones, tanto estructurales como no estructurales (obras físicas y sistema de alerta); el mantenimiento de la infraestructura de defensa contra inundaciones; la planificación y manejo del territorio en toda la cuenca de aporte; las acciones para desalentar localizaciones físicas y económicas inapropiadas en las planicies de inundación, y la comunicación y educación de los pobladores en lo referente al riesgo de crecidas y a las acciones que deberán tener lugar durante la emergencia.

Las acciones de manejo operacional de crecidas pueden considerarse como una complementación de cuatro actividades: a) la detección hidrometeorológica de la probabilidad de formación de crecidas; b) el pronóstico de las

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

condiciones de escurrimiento; c) la alerta de la severidad y tiempo en que llegará la crecida, y d) la respuesta a la emergencia por parte de autoridades y pobladores. En este tema resulta evidente la necesidad de desarrollar modelos matemáticos y técnicas específicas para la estimación de las variables que serán utilizadas para la alerta y prevención de poblaciones.

Las acciones posteriores al paso de la crecida, dependiendo de la severidad de la misma, pueden incluir la ayuda para necesidades inmediatas a los afectados por el desastre; la reconstrucción de los edificios; obras de infraestructura y de defensa afectados; la recuperación y regeneración del ambiente y de las actividades económicas en el área inundada; y la revisión de las actividades de manejo y planificación, a tener en cuenta para futuros eventos.

Las medidas estructurales y no estructurales de defensa contra las inundaciones componen en cierta medida concepciones básicas diferentes, pero que resultan de uso complementario para mitigar los efectos de las crecidas. En la actualidad, una visión ambiental del problema plantea posibles soluciones no estructurales, como el ordenamiento territorial de la planicie inundable, un adecuado control del desarrollo y las actividades en zonas afectables, los sistemas de alerta temprana y la planificación de defensa civil. En ocasiones, la presencia de una obra de protección da a los pobladores una falsa sensación de seguridad, puesto que la misma está diseñada para un cierto estado crítico, que naturalmente puede ser superado.

Si bien las medidas no estructurales cubren un amplio campo de especialidades, es importante citar, como ejemplo fundamental, los sistemas de alerta temprana, que se basan en un pronóstico a mediano plazo de las posibilidades de inundación.

En cuencas de respuesta rápida, si se tiene el aviso certero con suficiente anticipación los sistemas de alerta pueden evitar muertes, ya que nadie sería sorprendido por el evento. Desde que hace 20 años se instaló el sistema de alerta con red telemétrica en la cuenca del río San Antonio, en las sierras cordobesas de la región semiárida Argentina, no se han producido más muertes por las crecidas aluvionales que afectan la región turística de Villa Carlos Paz. Ese sistema funciona entre los meses de diciembre y marzo. Da las señales de alerta y evacuación con sólo pocas horas de antelación, porque las lluvias intensas sólo se producen en esa época del año, que coincide con la época turística en que se utilizan los "campings" ubicados en zonas de riesgo. Los sistemas de alerta de cuencas de llanura deben informar con precisión y regularidad no sólo la fecha del evento y la altura esperable, sino también el período de permanencia de los niveles de inundación.

Es importante señalar que el sistema de alerta debe funcionar en forma continua, dado que se pronostican tanto crecidas como bajantes que afectan la navegación. Para las ciudades de Rosario y de Santa Fe se estiman las alturas hidrométricas diarias con más de 20 días de anticipación, dando luego correcciones a partir de la influencia de lluvias locales. En cada ciudad costera importante se pronostican con diferente anticipación esas alturas, y se señala oportunamente en cada caso cuando se alcanzan los niveles de alerta y los de evacuación.

Las rutas y caminos que corren paralelamente a los cursos de agua, dentro de un gran valle aluvial, plantean en general problemas de muy difícil solución. Por ejemplo, más del 50% de los puentes que se han caído en los Estados Unidos de Norteamérica han fallado por mal diseño hidráulico. Cuando las rutas se desarrollan en zonas de muy baja pendiente, los terraplenes pueden alterar el flujo del agua, cambiando su dirección y provocando verdaderos trasvases de cuenca. Éstos son responsables de inundar terrenos que, con anterioridad a la construcción del camino, no experimentaban esos fenómenos.

5.1.5 Agua y salud

En Argentina, se ha desarrollado un índice de déficit sanitario, sobre la base de información del Censo 2001, donde se estudia la vinculación existente entre el acceso a servicios básicos de saneamiento, y la accesibilidad al sistema de salud. De esta forma se determina la población sin déficit sanitario, aquélla en situación de déficit sanitario coyuntural (carencia en el acceso al sistema de salud) o estructural (carencia en el acceso a servicios básicos de saneamiento), y por último la población en situación de déficit sanitario crítico (ambas carencias) (Triano, 2006).

De acuerdo con este estudio se obtiene que el Índice de Déficit Sanitario Crítico para el promedio del país es del 28%, observándose grandes disparidades entre las provincias (Formosa 53,6%; Gran Buenos Aires 34,8%; Capital Federal 3,4%; Tierra del Fuego 4,5%). Similar comportamiento se observa al considerar el Índice de Déficit Sanitario Estructural, cuyo promedio para el total del país es de 14,5%. Estos resultados implican que el 42,5% de la

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

población presenta carencias en el acceso a los servicios de saneamiento básicos (ya sea déficit sanitario crítico o coyuntural) (Figura 8).

Asimismo, cabe mencionar que en una encuesta realizada en el Partido de La Matanza se encontró que el 66% de los entrevistados manifestó haber padecido alguna enfermedad de transmisión hídrica (Cuenca Hídrica Matanza Riachuelo, 2004).

Además de los problemas asociados al acceso al agua, la Argentina debe hacer frente a la presencia de contaminantes naturales del agua como son el arsénico y el flúor. El consumo prolongado de aguas con altos contenidos de arsénico puede llegar a producir un aumento de casos de cáncer de piel y cáncer en algunos órganos internos (pulmón, hígado, riñón y vejiga) en las poblaciones expuestas, así como lesiones no cancerígenas en piel, tales como pigmentación alterada y engrosamiento de piel (hiperqueratosis).

Según estudios recientes se estima que las áreas arsenicales suman alrededor de 435.000 km² de superficie, donde habitan 2,5 millones de personas (7% de la población del país). Las principales provincias expuestas al consumo de agua con arsénico en concentraciones mayores a las admitidas por el Código Alimentario Nacional, según un documento de 2001, son: Salta, Santiago del Estero, Chaco, Tucumán, Santa Fe y La Pampa.

En relación con las enfermedades de transmisión hídrica cabe recordar también el brote de cólera ocurrido en 1992, especialmente entre la población de escasos recursos económicos de las provincias de Salta y Jujuy, las que carecían de servicios de agua potable y saneamiento en algunas zonas, en muchas otras los servicios existentes eran mal operados y hasta no se desinfectaba el agua por supuestas carencias presupuestarias.

5.1.6 Agua y agricultura

El potencial de tierras aptas para riego es del orden de 6.300.000 hectáreas, de las cuales puede ser factible habilitar 2,5 millones de hectáreas para riego integral. La superficie regada total es del orden de 1,5 millones de hectáreas, 1,1 millones de hectáreas (73%) se encuentran en las zonas áridas y semiáridas. La superficie con infraestructura de riego disponible cubre 1,75 millones de hectáreas. El área bajo riego abarca el 5% del área agrícola del país. La problemática del agua en el sector agricultura se puede resumir en:

- Salinidad y mal drenaje. Del total de 1,5 millones de hectáreas bajo riego, se considera que existen 500.000 hectáreas que están afectadas, en distintos grados de intensidad, por problemas de drenajes inadecuados o excesiva salinidad del agua
- Obsolescencia tecnológica del sistema de riegos. Los atrasos tecnológicos se reflejan en métodos de mantenimiento deficientes y sistemas obsoletos de aplicación y distribución de agua por gravedad.
- Baja eficiencia de uso, inferior a 40%.

El reúso de aguas residuales cloacales tratadas con fines de riego agrícola o forestal evidencia fuertes impactos positivos, tanto ambientales por la disminución de aportes contaminantes a los cuerpos de agua, como sociales y económicos en las áreas en que se aplica. Las ventajas económicas radican principalmente en que las aguas residuales aportan los nutrientes necesarios para los cultivos agrícolas, lo cual reduce los costos de fertilizantes artificiales e incrementando el rendimiento de la producción agrícola apta para consumo humano.

Las principales experiencias en reúso de aguas residuales tratadas se presentan en la provincia de Mendoza que la aplica para riego agrícola de unas 15.000 hectáreas (Campo Espejo, Palmira, Rivadavia, San Martín), en la provincia de Chubut (Puerto Madrina, Rada Tilly, Comodoro Rivadavia) y en la provincia de Córdoba (Villa Nueva) donde se destina al riego hortícola, florícola y forestal.

El riego consume la mayor parte del agua que se extrae, como resultado de procesos de evaporación, de incorporación de agua a los tejidos y de transpiración de los cultivos. El agua extraída que no es consumida recarga los acuíferos o se evapora. En términos globales, más de 65% de las extracciones de agua se destinan al riego.

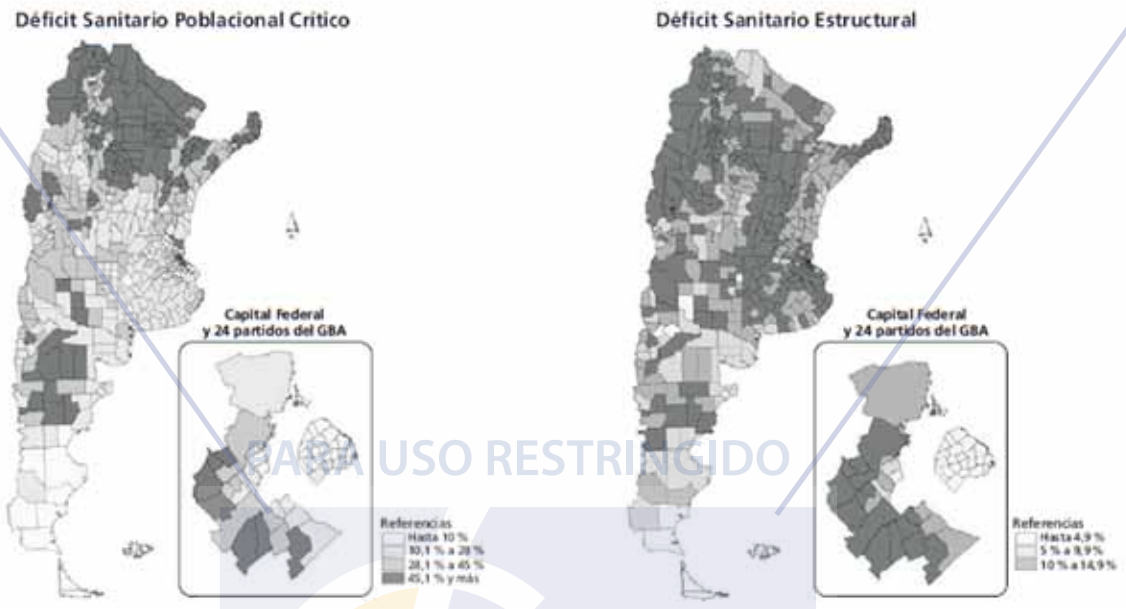
Se considera que un país tiene estrés hídrico cuando utiliza más de 20% de sus recursos de agua renovable. En el mundo existen 20 países en situación crítica ya que 40% de sus recursos de agua renovable tienen uso agrícola.

Tanto Argentina como el resto de América Latina tienen un promedio de extracciones de agua con fines agrícolas menor al 5% de sus recursos de agua renovables totales.

En la Argentina, 68% de la superficie bajo riego se ubica en regiones áridas y semiáridas. El 32% restante es riego complementario en las regiones húmedas.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 8. Déficit sanitario poblacional y estructural



Fuente: Triano, 2006

PARA USO RESTRINGIDO

Las problemáticas más comunes del sector riego en Argentina son: salinización del suelo por un mal drenaje, atraso tecnológico, baja eficiencia y un deficiente sistema tarifario. En general estas causas se relacionan con una falta de cultura de riego y de un control participativo de las ayudas que los gobiernos canalizan hacia el sector.

5.1.7 Agua e industria

- Los procesos industriales son intensivos en la utilización de agua. Por ejemplo, para producir una tonelada de plástico hace falta más de 5.000 m^3 de agua.
- Por otra parte, los procesos industriales generan desechos contaminantes que deben ser tratados y controlados. En los países en desarrollo el 70% de los desechos industriales se vierten al agua sin tratamiento, por lo que con frecuencia preocupa más el impacto sobre el medio ambiente que el volumen de agua utilizada.
- Consecuencia de un proceso de desarrollo industrial no controlado desde el punto de vista del deterioro de la calidad de los cursos receptores de efluentes contaminantes de origen industrial, pueden citarse en Argentina la contaminación en el Área Metropolitana de la Ciudad de Buenos Aires (AMBA) de las cuencas de los ríos Matanza-Riachuelo y Reconquista y aunque de menor gravedad, en algunas grandes ciudades del interior del país, como Córdoba, Rosario y San Miguel de Tucumán.
- Para remediar los casos más críticos (los ríos Matanza Riachuelo y Reconquista en la ciudad de Buenos Aires y el río Salí Dulce en las provincias de Tucumán y Santiago del Estero) los gobiernos nacional y provinciales han debido fortalecer los organismos que tienen competencias directas relacionadas con la prevención y remediación de la contaminación y a las organizaciones de cuenca interjurisdiccionales involucradas. Tanto la justicia (en los niveles provinciales, federal y en la Corte Suprema) como las Defensorías del Pueblo –provinciales y nacional– están apoyando indirectamente estas iniciativas, mediante una creciente exigencia de que se consigan resultados y, para que ello sea posible, de que se asignen recursos suficientes a los organismos que tienen competencias de gestión hídrica y ambiental en las jurisdicciones y a los organismos de cuenca interjurisdiccionales que promueven la coordinación y la cooperación.

FORO CONSULTIVO

5.1.8 Agua y energía: hidroelectricidad

Argentina posee un potencial hidroeléctrico estimado en unos 170.000 GWh/año, de los cuales 130.000 GWh/año corresponden a proyectos inventariados que han alcanzado distintos grados de desarrollo. Del potencial inventariado, 35.000 GWh/año corresponden a obras ya construidas o actualmente en construcción.[6]

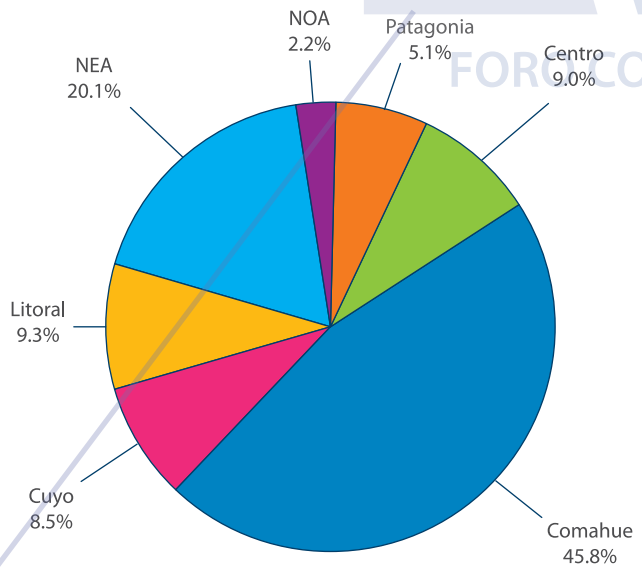
6 Fuente: Subsecretaría de Energía Eléctrica

La Figura 9 muestra la contribución que hace en la actualidad cada una de las siete regiones eléctricas del país a la potencia hidroeléctrica instalada.

La oferta de la generación hidroeléctrica instalada en un año de hidraulicidad media cubre, en la actualidad, aproximadamente el 35% de la demanda de electricidad anual del país. Si el año fuera de hidraulicidad conjunta elevada, la participación que le cabría a la generación hidráulica en la matriz de oferta de energía eléctrica podría alcanzar el 45% de la demanda, mientras que en años de muy baja hidraulicidad este porcentaje se reduce al 25%. La central hidroeléctrica en operación de mayor magnitud es Yacyretá, emprendimiento binacional compartido con el Paraguay, ubicado sobre el río Paraná 100 km aguas abajo de la ciudad de Posadas. Cuando se completen las obras para la finalización del proyecto, Yacyretá, con una potencia instalada total de 3.100 MW, será capaz de generar una energía media anual de 19.500 GWh/año.

La energía sumada de los aprovechamientos emplazados en las regiones del Comahue, Nordeste y Litoral equivale a más del 80% de la oferta hidroeléctrica anual de Argentina. Las cuencas de los cuatro ríos principales generadores de energía, son Paraná, Uruguay, Limay y Neuquén. Sobre ellos habría que concentrar la atención para analizar la influencia de la hidraulicidad conjunta sobre la hidroelectricidad nacional.

Figura 9. Potencia hidroeléctrica instalada por región



Los aprovechamientos emplazados sobre los ríos Limay y Neuquén suman la mayor concentración de potencia hidráulica del país con 4.650 MW, equivalente a 25% del pico horario de la curva de carga del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) (19.500 MW, máximo histórico en julio de 2009). Además, El Chocón, Piedra del Águila y Cerros Colorados son lo únicos embalses estacionales del sistema eléctrico, vale decir aquéllos que tienen la capacidad de trasladar energía del invierno al verano.

Los proyectos binacionales en cartera son: Garabí (5.470 GWh) y Panambi (5970 GWh con el Brasil sobre el río Uruguay, y los de Itatí-Itacorá (11.300 GWh) y Corpus Christi (19.000 GWh) con el Paraguay, sobre el río Paraná. Los principales proyectos nacionales son: Chihuido I en el río Neuquén (478 MW de potencia instalada), Cóndor Cliff y Barrancosa (1.740 MW de potencia instalada) en el río Santa Cruz, Punta Negra (62,20 MW de potencia instalada) en el río San Juan, Portezuelo del Viento en el río Grande (90 MW de potencia instalada) y Los Blancos I y II (443 MW de potencia instalada) en el río Tunuyán, ambos en Mendoza.

Si estas obras se construyeran, se incrementaría decididamente la capacidad de generación hidroeléctrica en el país. El peso relativo de la oferta hidroeléctrica argentina futura crecería en nuevas cuencas y sería más homogénea su distribución en el territorio.

5.1.9 Otros usos del agua

Consideramos particularmente usos vinculados con navegación y puertos, pesca, turismo, etcétera. Presentamos aquí algunas de sus características.

Navegación y puertos

Es muy bajo el aprovechamiento de transporte fluvial de graneles mediante trenes de barcazas, aunque su coordinación con puertos de embarque y destino o transferencia, mejores condiciones de navegabilidad y señalización podrían facilitar una fuerte expansión. La iniciativa privada se ha concentrado en establecer puertos de muy bajos costos de infraestructura y operación en el río Paraná que sólo requieren el mantenimiento de los canales del río de la Plata, que benefician a todos los puertos aguas arriba del puerto de La Plata, y de algunos puntos de poco calado natural en el Paraná, sin requerir dragado en los puntos de atraque o en canales de acceso. Sin embargo, esta evolución alimentada por el muy significativo incremento de las cargas de exportación, principalmente las de los agrograneles pero también los contenedores, ha venido creando problemas de congestión en los accesos terrestres a los puertos.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Por otra parte, la falta de coordinación entre organismos y un insuficiente control de los desarrollos inmobiliarios son las principales causas del escaso aprovechamiento del potencial recreativo y turístico de los puertos del río de la Plata y del río Paraná.

Dos excepciones que dan una idea del potencial desaprovechado son los puertos de Olivos y de Tigre, que durante ciertos períodos combinaron en forma articulada y armónica servicios a distintos usuarios (empresas areneras, empresas transportadoras de frutos, navegación deportiva, pescadores aficionados, paseantes, Prefectura Naval Argentina, puerto de explosivos, oferta gastronómica acotada). El atractivo que tuvo para la recreación y el turismo el puerto de Mar del Plata tampoco ha sido imitado en otros puertos de la costa atlántica argentina.

Finalmente, cabe mencionar que el país debe reconsiderar las posibilidades de desarrollar puertos de aguas profundas en su litoral marítimo que contribuyan para aumentar la eficiencia en el movimiento de las cargas y por lo tanto la competitividad de las exportaciones.

Pesca

En Argentina se estima que la población de merluza, la especie marítima de mayor importancia comercial, ha declinado un 70% en los últimos 20 años debido a la sobrepesca. La pesca excesiva del calamar en el límite de la zona exclusiva de la plataforma continental también está afectando la población de esta especie de menor valor. El langostino es importante, pero las capturas son limitadas y de cantidades muy variables.

La pesca fluvial tiene importancia en la Cuenca del Plata como actividad de subsistencia, como actividad comercial para la producción de harina de pescado (sábalo), como actividad de recreación y como atractivo turístico (dorado, pacú, tararira, surubí para su pesca deportiva y como manjares gastronómicos). Las capturas se han visto afectadas por la construcción de los embalses Yaciretá e Itaipú, cuyas escalas de peces no funcionan adecuadamente, por la sobrepesca y por la aparición de especies exóticas (carpa).

En los ríos cordilleranos la pesca, como actividad de recreación y como atractivo turístico, tiene importancia económica. También existe pesca de escala comercial para el abastecimiento de restaurantes y en ciertos períodos para exportación, pero su escala debe ser limitada para no afectar la calidad del agua.

El mejoramiento del control y la regulación de la pesca requieren una coordinación y cooperación entre muchos organismos, por lo que debe apoyarse en una visión de largo plazo. Por un lado es necesario avanzar en la investigación científica sobre los ecosistemas involucrados, lo que abarca actividades tan diferentes como el uso de fertilizantes, agentes biológicos y agroquímicos en la agricultura, la investigación oceánica, la investigación de las cadenas tróficas y el seguimiento sistemático de la evolución de la población de las distintas especies. Por otro lado, tienen importancia la provisión de información mareológica, hidrológica y meteorológica, la regulación de la comercialización de las capturas y el estudio de estrategias exitosas de gestión empleadas en otros países.

5.1.10 Preservación de la calidad del agua

En Argentina, desde la disolución de la empresa Obras Sanitarias de la Nación (OSN), la gestión de la calidad del agua, al igual que la gestión del agua subterránea, han experimentado un gran retroceso.

Las empresas proveedoras de agua potable monitorean sus fuentes superficiales y subterráneas, pero esas mediciones son insuficientes para identificar las fuentes de contaminación.

La falta de información dificulta el control de las actividades que contaminan, función que era ejercida por Obras Sanitarias en el área de su competencia, y no se ha logrado hasta el presente un abordaje integral que permita superar éste y otros obstáculos con la consecuencia de un progresivo deterioro de la calidad de los recursos hídricos muy especialmente en las áreas urbanas, metropolitanas e industriales. La creación de la Autoridad de la Cuenca del río Matanza-Riachuelo (ACUMAR) aparece como una nueva manera de enfrentar el problema.

Por otra parte, el Comité Intergubernamental Coordinador de la Cuenca del Plata (CIC) ha intentado organizar un monitoreo sistemático de la calidad de agua de los ríos Uruguay y Paraná, en los puntos en que ingresan al país, pero los problemas presupuestarios de los organismos nacionales y provinciales convocados no han permitido que la iniciativa tenga continuidad. Como es sabido que el río Uruguay recibe vertidos no tratados de industrias alimenticias, principalmente faenadoras de pollos y cerdos, así como fertilizantes y pesticidas de cultivos como el arroz y la soja, y que en dicho río y en el río de la Plata son cada vez más frecuentes las floraciones algales, es necesario que en el país se implemente un sistema de monitoreo confiable.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

El reciente conflicto por la instalación de la empresa pastera Botnia en la margen oriental del río Uruguay ha concentrado la atención de los medios sobre el posible impacto de ese emprendimiento. Sin embargo, ellos no han tenido en cuenta que en el río Uruguay sería necesario monitorear también otras fuentes de contaminación que ya existían y que afectan la calidad de las aguas.

Ambientes afectados por la gestión del agua.
En las diferentes regiones geográficas puede verificarse que el **primer problema ambiental** relacionado con el agua es consecuencia de la falta de tratamiento de efluentes (industriales, domiciliarios y urbanos en general) y la carencia de una adecuada planificación urbana. Por ejemplo, de ellos es la ocupación de los valles de inundación de los ríos Matanza-Riachuelo y Reconquista, así como de algunos de sus afluentes. Los efluentes no tratados producen a su vez la contaminación de la Franja Costera Sur del Río de la Plata y de parte del Delta del Paraná. Los controles son casi inexistentes y las fábricas instaladas en esos valles en general decargan sus efluentes sin tratamiento. Adicionalmente, los asentamientos irregulares (villas) no cuentan con servicios adecuados de provisión de agua y saneamiento, lo que es agravado por la contaminación causada por vuelcos de basura a los cauces de arroyos y canales de desagüe, ya que tampoco existe el servicio de recolección de residuos sólidos.

La sostenibilidad de las fuentes de aguas superficiales y subterráneas enfrenta asimismo crecientes amenazas debido a la alteración antrópica del uso del suelo en las cuencas de aporte. Las prácticas agrícolas no conservacionistas, la deforestación, el uso de agroquímicos y los cambios de uso del suelo perturban el balance hídrico y las condiciones de calidad de las fuentes.

Se destacan dentro del país los siguientes casos:

- Misiones y algunas áreas de la cuenca del Bermejo: incremento de la cantidad de sólidos en suspensión por mayor erosión hídrica causada por procesos de deforestación, sobrepastoreo o mal manejo de las tierras arables.
- Río Uruguay y Río Negro: presencia de plaguicidas y fertilizantes en cursos superficiales.
- Contaminación de reservorios superficiales como el Embalse de Río Hondo (Santiago del Estero), Lagos San Roque y Los Molinos (Córdoba), Lago Lacar (Neuquén) y Lago Nahuel Huapi (Río Negro) debido a aguas servidas y efluentes cloacales sin tratar provenientes de asentamientos urbanos e industriales ribereños o situados en la cuenca de aporte.
- Contaminación de acuíferos por disposición de líquidos cloacales en pozos ciegos como ocurre con el "Puelche" en la Provincia de Buenos Aires o debido al desarrollo urbano e industrial intensivo y no regulado, como sucede en la ribera del Río Paraná desde Rosario hasta La Plata.
- Contaminación de las cuencas del Río Reconquista y del Matanza-Riachuelo en el área metropolitana de la Ciudad de Buenos Aires. Ambas cuencas presentan un nivel extremo de contaminación ambiental que afecta directa e indirectamente de manera determinante y significativa el bienestar de una población superior a los cinco millones de habitantes. Cabe mencionar que existen situaciones comparables, aunque de menor gravedad, en algunas otras ciudades importantes del país tales como Córdoba, Rosario y San Miguel de Tucumán.

El caso emblemático de la cuenca Matanza-Riachuelo presenta problemas hídricos y ambientales de todo tipo: inundación de zonas residenciales y fabriles, grandes sectores de la población que no cuentan con servicios de saneamiento, generación de empleos en la recolección y el procesamiento de basura con técnicas que no respetan normas de higiene, seguridad y preservación de la salud, prevalencia de la informalidad en actividades industriales.

La creación de la Autoridad de Cuenca del Río Matanza-Riachuelo (ACUMAR) ha tenido como principal objetivo facilitar la coordinación de acciones de distintos organismos, pero aún no se ha consensuado una estrategia única -con visión de conjunto-, sin la cual será imposible revertir los procesos de degradación urbana y ambiental.

Un **segundo problema hídrico-ambiental** grave que enfrenta Argentina es la contaminación del agua subterránea. En la mayor parte del país la gestión del agua subterránea es poco eficaz, por lo que no se cuenta con información cuantitativa que permita evaluar el estado actual de los acuíferos y las tendencias en cada uno, en materia de calidad del agua.

La responsabilidad de la gestión del agua subterránea es de los gobiernos provinciales, pero en general éstos no cuentan con recursos financieros y humanos suficientes para gestionar un recurso que es mucho menos visible que el superficial. En general, conocen más el recurso subterráneo los técnicos especializados en hacer perforaciones que las autoridades, ya sea porque los estudios son caros o porque no se cuenta con información sobre los pozos no registrados, que son la gran mayoría en muchas provincias.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Un **tercer problema hídrico-ambiental** que es importante en Argentina es la degradación de humedales por diversas causas: la contaminación (embalse de Río Hondo), la construcción de sistemas de desagüe o drenaje sin organizar su operación y mantenimiento (Bajos Submeridionales), canalizaciones clandestinas que alteran el escurrimiento superficial en forma no coordinada (llanura pampeana), la regulación de caudales mediante presas que eliminan las crecidas que causaban desbordes que eran aprovechados para la agricultura de subsistencia (bañados de Copo, San Gregorio y Figueroa en el río Salado santiagueño, bañados del río Dulce) o el taponamiento, por causas naturales o antrópicas, de sus puntos naturales de descarga (esteros del Iberá).

El ámbito ideal para el ensayo de una conciliación de objetivos se da en los Comités de Cuenca cuando antes de iniciar acciones de gestión éstos se abren a la participación mediante procedimientos que dan difusión a todas las iniciativas y que reciben sugerencias y propuestas de todos los sectores afectados.

5.1.11 Agua, comercio internacional y globalización: agua virtual

El concepto de agua virtual surgió a principios de los años 90 y fue definido como el agua insumida por los productos. Para producir bienes se necesita agua: así, se denomina agua virtual del producto, ya sea éste agrícola o industrial, al agua utilizada para producirlo. El agua virtual es una herramienta para calcular el uso real del agua de un país, o su "huella hídrica" ("water footprint"), equivalente al total de la suma del consumo doméstico y la importación de agua "virtual" del país, menos la exportación de su agua "virtual" a otros países. La huella hídrica de un país es un indicador útil de la demanda del país respecto de los recursos hídricos del planeta.

67% del comercio mundial de agua virtual está relacionado con el comercio internacional de vegetales, 23% está relacionado con el comercio de ganado y productos cárnicos y 10% restante con el comercio de productos industriales.

Aproximadamente 57% de las exportaciones de Argentina se relacionan con productos agropecuarios, por lo cual se consolida como uno de los principales países exportadores de agua virtual entre 1995 y 1999, con un volumen neto de exportación de 226.3 109 m^3, siendo superada sólo por Estados Unidos, Canadá y Tailandia.

5.1.12 Agua y educación

La República Argentina tiene un altísimo porcentaje de población, mayor al 90%, que habita en grandes y medianas ciudades. Es necesario transmitir a través del sistema de formación de formadores un diagnóstico fundamentado de los problemas que plantea el requerimiento de agua segura en los centros urbanos, el tratamiento y manejo sostenible de las aguas residuales, y desagües pluviales, los procesos de interacción entre las aguas superficiales y subterráneas con los habitantes, así como evaluar las posibles vías de solución aplicables a casos particulares, tomando en consideración los ejemplos de casos concretos, aplicables en la región.

El Ministerio de Educación y la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Argentina han seguido los lineamientos de los programas "Science for all Children" y "La main à la pâte", desarrollados por las Academias de Ciencias de Estados Unidos y de Francia respectivamente, y han trasladado el esquema al nivel de estudiantes secundarios. En sus primeras acciones, se han propuesto introducir el tema del agua como uno de los fundamentales, y han involucrado a algunos expertos para interactuar con los docentes universitarios.

A modo de ejemplo, se puede citar también una experiencia positiva para adquirir una cultura del agua en los niveles de educación primaria y secundaria que se desarrolló en Argentina, junto con otros cinco países (Brasil, Dinamarca, Ghana, Tailandia y Japón) con el apoyo del Comité Internacional del Ambiente Lacustre (ILEC, International Lake Environment Committee), durante la "década del agua" establecida por las Naciones Unidas (Martinez, 1993 y 1998).

En cuanto a la educación de nivel universitario y de postgrado, cabe mencionar que se ha formalizado una red nacional de capacitación y gestión en recursos hídricos, la Red Argentina de Capacitación y Fortalecimiento de la Gestion Integrada de los Recursos Hídricos (ArgCapNet) integrada por un grupo importante de instituciones gubernamentales, académicas y no gubernamentales, que tiene por objetivo contribuir a fortalecer las capacidades para la gestión integrada de los recursos hídricos en el país, dando un marco más extenso y de mayor envergadura a las iniciativas previas en Argentina. Se pueden mencionar varias iniciativas en este marco, como el Curso Internacional de Postgrado en Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) que organiza de manera conjunta la Universidad de Buenos Aires (UBA) a través de la Facultad de Ingeniería, Departamento de Hidráulica, y el Instituto Argentino de Recursos Hídricos (IARH) que se inició hace más de una década, y la Maestría en Gestión del Agua del Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua (CETA) de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad de Buenos Aires.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

5.1.13 Gestión hídrica

En Argentina, la organización de la gestión hídrica se ha adaptado a las sucesivas etapas de su proceso de desarrollo. Si bien el proceso ha tenido una evolución desigual en las diferentes provincias, es útil distinguir las distintas visiones que influyeron sobre esa evolución:

- El agua considerada como un recurso cuyo aprovechamiento contribuirá al desarrollo económico y a la ocupación del territorio.
- El agua considerada como un factor de riesgo.
- El agua considerada como un recurso que vincula en forma compleja a diferentes sectores y jurisdicciones y que requiere el ensayo de nuevas formas de organización.
- El agua considerada como un recurso cuya gestión no puede realizarse desde un nivel centralizado debido a la gran diversidad de situaciones.
- El agua considerada como un recurso vulnerable a la contaminación y, además, como un elemento cuya gestión tiene un papel fundamental en la protección del ambiente.

Cada una de estas visiones dio lugar a innovaciones en materia de organización:

- Se creó la Dirección Nacional de Irrigación y posteriormente la empresa pública Agua y Energía Eléctrica, que la absorbió. Se creó también la empresa pública Obras Sanitarias de la Nación, que asumió la responsabilidad de proveer agua potable y saneamiento en las principales ciudades del país.
- Se crearon las direcciones provinciales de hidráulica, cuya finalidad principal ha sido construir obras de regulación –básicamente de defensa y de descarga- para evitar las inundaciones. Se perfeccionaron los marcos regulatorios para las obras de ingeniería civil (normas provinciales o municipales que complementan el Código Civil). Se creó el Instituto Ordenador de Vertientes e Ingeniería Forestal (IOVIF), que realizó estudios y proyectos piloto en cuencas aluvionales.
- Se crearon organismos de desarrollo que procuran mejorar la coordinación intersectorial necesaria para la rápida puesta en marcha de grandes aprovechamientos hídricos (Corporación del Río Dulce, Instituto para el Desarrollo del Valle Inferior del Río Negro, CORFO Río Colorado). Se difundieron durante la segunda mitad del siglo XX las técnicas de evaluación de proyectos (análisis incremental de impactos económicos y sociales). Se crearon también comisiones de cuenca interprovinciales para promover proyectos conjuntos (por ejemplo, la Comisión Técnica Interprovincial del Río Colorado-COTIRC).
- Se creó el Área Recursos Hídricos en los gobiernos nacional y provinciales, con diferentes alternativas en cuanto a sus competencias y jerarquías institucionales. Se crearon comités de cuenca interprovinciales para la coordinación interjurisdiccional y organismos de cuenca para la implementación de acuerdos ínterjurisdiccionales (por ejemplo, el Comité Interprovincial del Río Colorado–COIRCO y la Agencia Interprovincial de Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro–AIC). Fueron suprimidas en la década de los 80 la empresa Obras Sanitarias de la Nación y durante la década de los 90 la empresa Agua y Energía Eléctrica. Los servicios que prestaban fueron transferidos a las provincias. En muchos casos se concesionó la provisión de los servicios a empresas privadas.
- Durante las últimas décadas del siglo XX se creó el Área Medio Ambiente en los gobiernos nacional y provinciales, y se difundieron las técnicas de evaluación de impacto ambiental. Se incluyó la temática ambiental en la Constitución Nacional reformada en 1994 y se precisó en ella que el manejo del agua es competencia de las provincias. Tanto los organismos de Recursos Hídricos como los de Ambiente impulsaron la constitución de consejos federales –el Consejo Hídrico Federal (COHIFE) y el Consejo Federal del Medio Ambiente (COFEMA), respectivamente- para promover la coordinación interprovincial en temas que no son de incumbencia de los comités u organismos de cuenca.

La disolución de las empresas nacionales Agua y Energía Eléctrica y Obras Sanitarias de la Nación trasladó a las provincias el manejo de los recursos hídricos y la gestión de los servicios de riego y de agua potable y saneamiento. En la mayoría de los casos la calidad de la gestión se ha resentido debido a que dejó de contar con un financiamiento adecuado y con cuadros técnicos y gerenciales experimentados.

El desfinanciamiento de la gestión hídrica tuvo varias causas. La principal es que Agua y Energía Eléctrica obtenía recursos financieros de la producción de energía que le permitían financiar adecuadamente funciones esenciales, como por ejemplo estudios y proyectos, monitoreo hidrometeorológico, gestión de aspectos regulatorios y legales y coordinación entre sectores y jurisdicciones. Por su lado, Obras Sanitarias de la Nación operaba en zonas en las cuales la densidad de la ocupación del suelo y el nivel socioeconómico permitía obtener ingresos por tasas que también eran suficientes para cubrir todas las funciones

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

(la función asesoramiento legal tenía facultades para establecer normas referidas al uso y a la extracción del agua subterránea). Otra causa del deterioro de los servicios fue que la Nación transfirió a las provincias la infraestructura de las dos grandes empresas, pero no los recursos necesarios para su operación y mantenimiento, como tampoco transfirió el personal capacitado para el desempeño de las funciones mencionadas.

Como en la mayoría de las provincias, la población no está acostumbrada a participar –es decir, a exigir o a hacer propuestas en forma constructiva- con el fin de contribuir al mejoramiento de la gestión del agua, las distintas instancias de decisión que asignan los recursos presupuestarios de las provincias no reciben pedidos de una mayor asignación de recursos financieros a la gestión hídrica (en general los reclamos de la población van dirigidos a cuestiones como la asistencia social, la creación de empleos y la provisión de viviendas). Como consecuencia, en la mayoría de las provincias la gestión del agua sigue dependiendo de la asistencia financiera de la Nación, lo cual implica que el proceso de descentralización no ha logrado el objetivo de dar una verdadera autonomía de decisión a las provincias. Esta situación sólo será superada si la Nación otorga a las provincias un aumento de la coparticipación de los impuestos nacionales dirigida específicamente a fortalecer la gestión hídrica y si, además, las provincias aumentan los fondos provinciales asignados a ese fin, como respuesta a un reclamo directo de la población.

Dos desarrollos recientes revelan que en el ámbito de la gestión hídrica se ha llegado a consensos sobre la importancia de promover la coordinación y la participación: el acuerdo interjurisdiccional sobre los Principios Rectores de Política Hídrica (PRPH) y el Plan Nacional Federal de Recursos Hídricos (PNFRH), que promueve la formulación de planes hídricos provinciales y sectoriales.

Argentina ha dado un importante e irreversible paso hacia la provincialización de la gestión hídrica, que es necesario porque por su extensión y diversidad una gestión centralizada no es viable. Pero para completar este proceso será necesario avanzar decididamente en dos asuntos concretos. Uno es la incorporación en la educación de nuevos temas referidos a los problemas prácticos que enfrenta la gestión del agua, que complemente la enseñanza de los aspectos físicos que ya es parte de la currícula. El otro es la incorporación, en todas las disciplinas especializadas que deben intervenir en la gestión hídrica, de materias y actividades prácticas que enseñen los conceptos fundamentales de Organización y de Gestión.

5.1.14 Síntesis

En resumen, y como se pone de manifiesto en la comparación con otros países de la región, la Argentina enfrenta una serie significativa de desafíos para alcanzar una gestión integrada de sus recursos hídricos que se manifieste en mayores niveles de bienestar para sus habitantes y que se encuadre dentro del paradigma del desarrollo sostenible. La superación de dichos desafíos podrá lograrse con el desarrollo de una agenda de acciones estructurales y no estructurales, consensuada por los sectores público y privado, que responda a una visión estratégica de largo plazo sobre el uso de los recursos hídricos, y que se traduzca en crecientes niveles de inversión y mayores niveles de eficacia y eficiencia en su ejecución.

PARA USO RESTRINGIDO

5.2 Desafíos de la gestión de los recursos hídricos en la Argentina

La visión panorámica que se ha presentado en este documento sobre la significación actual del agua en el mundo, en América Latina y en Argentina, permite apreciar que existe una clara tendencia a que las demandas de agua aumenten más rápidamente que las disponibilidades.

Pero esta visión general también revela que la gestión del agua enfrenta desafíos que varían mucho de un país a otro y entre regiones, ya que los distintos factores que influyen sobre las necesidades y oportunidades pueden combinarse de muchas maneras.

FORO CONSULTIVO

Los análisis muestran que el logro de los principales objetivos de la gestión del agua no tiene una relación clara con la dotación de agua por habitante de cada región o comunidad o con su ingreso per cápita. Lo que implica que los desafíos que enfrenta la gestión del agua no se limitan solamente a encontrar nuevas maneras de aumentar las disponibilidades y de reducir las demandas.

La escasez relativa del recurso agua y de recursos técnicos-financieros que permitan aumentar las disponibilidades de agua son factores que sin duda tienen gran importancia. Pero debe señalarse que la poca eficacia con que en muchos casos se asignan los recursos se debe a factores que no dependen solamente de las decisiones referidas a los servicios de provisión de agua o a la gestión de las obras de infraestructura.

El objetivo universalmente aceptado de que el agua sea usada en forma eficiente, equitativa y sostenible es interpretado en general como equivalente a que toda la población tenga un acceso asegurado a servicios básicos de

agua potable y saneamiento, a que toda la población esté razonablemente protegida de las inundaciones y a que los usos del agua sean sostenibles.

En el presente, algunas regiones pueden demostrar que han alcanzado los primeros dos objetivos específicos y que están tomando medidas dirigidas a asegurar el tercero. Pero en la gran mayoría de las regiones del mundo –lo cual incluye a muchos países que cuentan con abundantes recursos hídricos o cuyos ingresos no son bajos- se está todavía lejos de alcanzar los primeros dos.

Por lo tanto, los desafíos principales que enfrenta la gestión del agua en muchos países no se refieren solamente a las tendencias básicas que influyen sobre las ofertas y demandas, que son el impacto del aumento de la población y de los ingresos sobre las demandas de agua, el impacto del cambio climático y la creciente generación de efluentes y residuos contaminantes.

En casi todos los países, esas tendencias básicas están presentes en alguna medida y, por lo tanto, es importante destacar que algunos han logrado atemperar -y a veces revertir- las tendencias a un aumento de la demanda de agua por habitante y a un aumento del vertido de contaminantes a los cuerpos de agua. Para ello diseñaron políticas que combinaron acciones estructurales con la aplicación de herramientas de gestión, que incluyen informar y concientizar a la población y también involucrar a distintos sectores en la negociación de los acuerdos que son necesarios para cambiar las tendencias que amenazan la sostenibilidad de la organización económica y social.

Esos casos muestran a los demás países un camino posible para alcanzar ese resultado, pero es necesario tener en cuenta que no basta con copiar soluciones tecnológicas u organizativas, porque también es indispensable procurar en forma paralela cambios en las actitudes de las personas mediante el uso de las herramientas de gestión citadas anteriormente.

5.2.1 Tendencias perjudiciales

Además de las tendencias básicas mencionadas, se identificaron otras que también podrían impedir que se alcancen los objetivos de la gestión de los recursos hídricos, si no son contenidas a tiempo. Algunas de estas tendencias tienen relación directa con fallas en la gestión hídrica pero otras son el resultado de la prevalencia de prácticas no sostenibles en las actividades productivas o en el ordenamiento del territorio.

Entre las primeras, esto es entre las fallas en la gestión de los recursos hídricos, se pueden destacar las siguientes:

- La excesiva regulación de algunos ríos.
- El uso no sostenible de los acuíferos y la falta de una adecuada gestión del agua subterránea.
- La insuficiente respuesta de los responsables de la gestión del agua y de la energía a la oposición para la construcción de embalses para la producción de energía hidroeléctrica.
- La inadecuada fiscalización de los efluentes industriales y urbanos, cuyo costo aumenta más rápidamente que los recursos destinados a ese fin cuando el número de transgresiones se multiplica.
- La provisión de agua para riego a un costo excesivamente subsidiado, que estimula un uso ineficiente del agua.

Entre las tendencias no relacionadas directamente con la gestión hídrica se destacan:

- La instalación de asentamientos en zonas inundables.
- La instalación en periferias urbanas de asentamientos precarios habitados por inmigrantes que no pueden pagar los servicios de la gestión hídrica y de la gestión urbana.
- El crecimiento de la práctica de verter efluentes no tratados a los ríos y lagos.
- La continua y creciente práctica de cobrar tarifas muy bajas por los servicios hídricos por razones ajenas a la gestión del agua.
- El uso de cantidades excesivas de agroquímicos que contaminan los acuíferos.
- La acuicultura –que se está expandiendo muy rápidamente– amenaza con convertirse en un importante factor de contaminación del agua si no se desarrollan técnicas que aseguren su sostenibilidad.
- El escaso avance de una educación económica y ambiental que concientice a la población sobre el valor del agua y sobre el costo social y económico de una mala gestión del agua, así como sobre la necesidad de preservar los recursos hídricos y el ambiente.

Está claro que estas tendencias son el resultado de visiones que no toman en cuenta que la complejidad de la gestión del agua implica que las propuestas parciales dirigidas a evitar problemas en ciertos campos suelen agravar los problemas en otros campos. Por ello es fundamental crear mecanismos que permitan que la toma de decisiones se base en la coordinación de todos los sectores afectados.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

5.2.2 Principales acciones dirigidas a contener las tendencias perjudiciales

Una causa de estas tendencias perjudiciales e insostenibles es no haber logrado la integración de los planes de los numerosos organismos y organizaciones que actúan en forma autónoma. Tal integración es necesaria para identificar las cuestiones que los interrelacionan y para buscar en forma conjunta soluciones viables.

Las siguientes acciones, que hasta el presente han sido llevadas a cabo principalmente en países desarrollados –aunque también en forma parcial en algunos países de América Latina– tienen por finalidad controlar los procesos que ya afectan o que amenazan con afectar el logro de los objetivos de la gestión de los recursos hídricos:

- Mejorar los sistemas de tarifas y cobro de los servicios de agua mediante mecanismos que permitan subsidiar solamente a la población en condiciones de vulnerabilidad y con carencias, e incentivar al resto para adoptar conductas sostenibles.
- Promover la utilización de técnicas que economicen el agua en todos los usos y que facilitan el reúso.
- Recuperar los ríos: devolverles en la medida que sea económicamente factible la parte del valle de inundación que fue ocupada por desarrollos urbanos o industriales y eliminar las fuentes de contaminación.
- Concientizar a los usuarios de agua subterránea sobre la importancia de una gestión participativa que pueda asegurar su aprovechamiento sostenible.
- Expandir la agricultura orgánica, que por brindar indiscutidos beneficios a la salud tiene una creciente demanda. Esta expansión implicará una menor contaminación de los recursos hídricos, por lo que su promoción interesa a la gestión del agua.
- Estudiar nuevos emplazamientos para proyectos hidroeléctricos.
- Eliminar el vertido de efluentes no tratados mediante una combinación de programas de asistencia a las actividades que deberán afrontar el costo del tratamiento –tanto de la inversión como del gasto corriente– y de campañas de concientización de la población.
- Promover el mejoramiento de las tecnologías que obtienen agua dulce a partir del agua de mar mediante subsidios de duración limitada a las actividades que las utilizan.

Las acciones que en la Argentina tienen prioridad son:

- La ejecución de obras de expansión y mejoramiento de los servicios de agua y saneamiento para asegurar la universalización de su acceso.
- El régimen tarifario: los acuerdos sobre niveles tarifarios y el mejoramiento del cobro del agua.
- La promoción de planes de recuperación urbana en todas las ciudades, respetando criterios que aseguren su coherencia.
- La concientización necesaria para poder instalar sistemas de gestión del agua subterránea en todas las provincias.
- Campañas de concientización que respalden un accionar más firme de los organismos que velan por el cumplimiento de las normas que prohíben la contaminación de los ríos, lagos, acuíferos y costas.
- La construcción de nuevos emprendimientos hidroeléctricos.
- La concientización de los productores agropecuarios sobre el uso sostenible de agroquímicos.
- La promoción de la agricultura orgánica.

5.2.3 Aspectos en los que la coordinación y la cooperación entre sectores y jurisdicciones son esenciales

La experiencia acumulada en la gestión del agua, a lo largo de los siglos, ha enseñado que la cooperación entre diferentes sectores y jurisdicciones es una condición necesaria para alcanzar los objetivos de la gestión integrada de los recursos hídricos. Esa cooperación es indispensable para poder llegar a acuerdos referidos a dos aspectos que son claves para la gestión:

- Consenso referido a las necesidades básicas de la población.
- Un accionar coordinado de las gestiones urbana, del agua y del ambiente.

La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos debería tener como un objetivo principal coordinar la gestión de los sectores que influyen sobre las decisiones de radicación de las personas y de las empresas.

La política que han usado algunos países desarrollados para prevenir los flujos migratorios que desestabilizan las finanzas de tanto las ciudades de origen como de las de destino, se ha basado en general en proveer ayuda a los lugares de origen, con el fin de mejorar su atractivo para la radicación de personas y de actividades mediante la provisión de mejores servicios y de mayores oportunidades para las actividades productivas. Como todo mecanismo de ayuda, esta política no ha sido de fácil implementación, pero en algunos países ha sido exitosa. El caso más notable ha sido la generosa ayuda provista por Alemania Occidental a la ex Alemania Oriental, la cual evitó una migración en gran escala que hubiera causado enormes costos económicos y sociales a las dos regiones.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Esta referencia es útil como ejemplo del alcance del concepto de gestión integrada: no sólo abarca la coordinación intersectorial sino que también comprende la coordinación interjurisdiccional, a escala nacional, en sectores que tienen una relación indirecta con la gestión del agua.

Esto significa que un objetivo esencial de la gestión hídrica es impulsar un ambiente de colaboración entre los distintos actores sectoriales y jurisdiccionales, que permita alcanzar esos consensos y que provea una base racional para conciliar los mecanismos de ayuda –a personas, sectores o jurisdicciones- con el mantenimiento de incentivos económicos que promuevan una sana competencia en todos los ámbitos en que ésta sea posible.

5.2.4 Papel de la coordinación y cooperación entre disciplinas

Estas consideraciones implican que también es necesario articular el uso de las herramientas de la ingeniería, de la economía, de la sociología, de la planificación urbana, del derecho y de la gestión a partir de una visión de conjunto que por un lado aclare que los acuerdos que fijen estándares mínimos para la provisión de servicios de agua potable, de saneamiento y de prevención de inundaciones deben tener en cuenta las limitaciones que impone la economía y la tecnología y que, por otra parte, permita acordar metas o umbrales que serán tomados como un dato en los análisis económicos hechos por los organismos públicos y por los particulares y en la planificación de las ciudades.

Un objetivo básico de la gestión hídrica es promover el clima de cooperación indispensable para alcanzar acuerdos entre sectores, jurisdicciones y actores, referidos tanto a la definición de las metas y umbrales como a la búsqueda de soluciones de mínimo costo para alcanzarlas. Éste último aspecto es importante, porque la gestión de la articulación de distintos usos con el fin de maximizar el reuso y de reducir el costo total de potabilización y tratamiento, en cada cuenca hídrica, es en general un complemento necesario de los mecanismos de mercado.

Para promover la cooperación entre organismos y entre éstos y los particulares, es necesario promover la difusión de toda la información que es relevante para comprender los desafíos que enfrenta la gestión.

También es necesario realizar campañas de concientización antes de tomar medidas de gobierno para que la población comprenda su sentido y tenga la posibilidad de manifestar a tiempo sus opiniones e intereses.

Otro requisito para que la gestión hídrica pueda cumplir con sus responsabilidades es que cuente con recursos humanos y financieros suficientes. Tal requisito sólo podrá cumplirse si la población conoce los problemas que enfrenta la gestión y es informada sobre cómo se los puede resolver, porque los impuestos y las contribuciones destinados a ese fin sólo serán sostenibles si se entiende, y justificar los fines a que serán destinados.

Por supuesto, es fundamental recordar a la población, en forma continua, que el cobro de los servicios de gestión hídrica cumple una doble función: estimular un uso eficiente del agua y de la infraestructura y cubrir por lo menos parte del costo de la provisión de esos servicios.

PARA USO RESTRINGIDO

Es generalmente aceptado que el saneamiento debe ser asegurado por los gobiernos y que todos los habitantes tienen derecho a una provisión mínima de agua potable, aunque no puedan pagar el servicio. Pero la búsqueda de las formas de mínimo costo para cumplir con estas metas, mediante acuerdos de cooperación debe ser complementada con otros acuerdos destinados a establecer incentivos que estimulen un uso racional del recurso en todos los sectores.

5.3 Propuestas para el desarrollo de los recursos hídricos en dos áreas prioritarias: saneamiento y energía

Para cerrar este trabajo con propuestas concretas, dentro de una apreciación realizada a partir de la información procesada y la visión y experiencia de los autores, se han seleccionado dos áreas prioritarias que presentan mejores perspectivas de viabilidad técnica y política, mayores urgencias sociales y ambientales, y razonable factibilidad económico-financiera considerando sus repercusiones generales y externalidades previsibles. Estas prioridades seleccionadas constituyen las áreas de "provisión de agua y saneamiento" y "suministro de energía hidroeléctrica". A continuación se presentan desafíos y propuestas para el desarrollo de los recursos hídricos en ambas áreas.

FORO CONSULTIVO

5.3.1 Agua y saneamiento

El principal desafío del país en el sector de agua potable y saneamiento es la universalización de los servicios

Es imperiosa la necesidad de abastecer a los millones de habitantes carentes de agua potable y alcantarillado sanitario. Asimismo, resulta indispensable la ejecución de obras que permitan aumentar el tratamiento de las aguas residuales y también difundir y concientizar a los gobier-

nos, a los profesionales, técnicos y operarios, y a todos los sectores de la población acerca del uso racional del agua y de la protección de su calidad.

Esto plantea, entre otros, los siguientes retos:

1. **Diseñar y ejecutar planes de inversión, social y económicamente sostenibles que contemplen como prioridad la universalización de los servicios y que, en aquellos casos en que corresponda, aseguren su financiación mediante la asignación de los fondos necesarios en los presupuestos de los organismos públicos.**

   Sobre la base de estudios disponibles acerca de la inversión necesaria para alcanzar la universalización de los servicios en la Argentina (BID, 2005, 2007) se puede estimar que se requeriría un monto del orden de los 10.000 millones de dólares si se prevé "acceso a agua potable segura", "saneamiento mejorado" y tratamiento de aguas residuales. Esto sería una estimación de mínima teniendo en cuenta la calidad de los servicios considerados. Si la meta previera la universalización de ambos servicios con conexión a red para la población urbana y un mayor grado de tratamiento de efluentes, esta cifra se podría por lo menos duplicar.

   La justificación de efectuar estas inversiones está dada por los múltiples beneficios sociales (externalidades) asociados al acceso universal a los servicios de agua potable y saneamiento de calidad adecuada. Estos son, principalmente, la salud de la población, como fuerza positiva para acceder a la educación y al trabajo, los menores gastos de las soluciones alternativas –incluido el costo de la compra de agua embotellada– y las mejores condiciones ambientales que repercutirían directamente sobre la calidad de vida de la población.

   En un informe de la OMS se ha estimado que la razón costo-beneficio de la inversión en sistemas de agua y saneamiento mejorados para el grupo de países donde se incluyó a la Argentina, sería de aproximadamente 15. Es decir, que por cada unidad monetaria invertida se obtendrían beneficios del orden de la relación indicada. A su vez, en el escenario donde se alcanza una cobertura total de ambos servicios por red pública, la relación costo-beneficio sería de cinco.

   Se puede observar que las inversiones en ambos escenarios presentan beneficios económico-sociales positivos. La diferencia existente entre los índices de los distintos escenarios se debe, principalmente, a que la expansión por red es mucho más costosa que la inversión en "servicios mejorados", y que los beneficios obtenidos por ambas soluciones no guardan la misma proporción con los respectivos costos.

   En este sentido, en los países o en zonas de menores recursos económicos, la instalación de servicios con menores estándares de calidad permitiría acortar el plazo requerido para alcanzar el acceso universal al agua segura y al saneamiento mejorado.

2. **Mejorar la sostenibilidad económica de la prestación y lograr una mayor racionalidad del régimen tarifario.**

   Actualmente, en numerosos servicios de grandes ciudades de la Argentina los ingresos tarifarios no alcanzan a cubrir los costos de OyM.

   La racionalidad del régimen tarifario está dada por su capacidad para sostener financieramente el servicio, que depende de la proporción con que los valores de las tarifas reflejan los costos de la prestación. La micromedición, como base para facturar en relación con el volumen consumido, contribuye a la sostenibilidad económica al incentivar una reducción de los consumos que no son esenciales.

   En Chile, en Colombia y en algunos de los más importantes operadores de Brasil (entre ellos el del estado de San Pablo) se han desarrollado procesos sistemáticos y prolongados de fijación de tarifas sobre la base de los costos que han llevado a un incremento significativo de los ingresos de los prestadores en términos reales. Además, han implementado la micromedición generalizada de los consumos. La facturación de los servicios de agua y alcantarillado de Santiago (Chile) y de San Pablo (Brasil) es del orden de US$ 1/m^3 mientras que en Bogotá (Colombia) es de alrededor de US$ 1,5. Los servicios del AMBA se facturan en promedio solamente en US$ 0,17/m^3.

   Mientras que en esos países la micromedición es prácticamente total, se estima que en los mayores conglomerados urbanos de la Argentina la micromedición de los consumos del abastecimiento de agua potable apenas alcanza a 20% de los volúmenes facturados. Una de las principales condiciones para que la micromedición resulte beneficiosa es que los

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

valores tarifarios estén fijados en un nivel que permita la recuperación de los costos de OyM y al menos una parte de los costos de inversión, en particular aquéllos asociados con el mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura.

Complementariamente, resulta necesario implementar sistemas de subsidios para asistir a los hogares más pobres o vulnerables que no estén en condiciones de pagar tarifas que cubran los costos.[7]

Resulta importante señalar que en un número importante de países –independientemente de su desarrollo económico– las inversiones en las obras básicas de agua y saneamiento son costeadas en una alta proporción por los gobiernos, sin expectativas de recuperar las inversiones a través de las tarifas, por su importantísimo impacto social y ambiental. Como ya fue mencionado, en países o regiones de bajo desarrollo socioeconómico es aconsejable asimismo reducir provisoriamente el estándar de calidad de los servicios para poder alcanzar más prontamente la tan necesaria cobertura universal.

3. **Incrementar los niveles de eficacia de la gestión de los operadores y de la coordinación entre sectores y jurisdicciones.**

La sostenibilidad de la prestación del servicio a través de la contribución de los ingresos tarifarios debe exigir el soporte de la minimización de los costos, producto de una mejora en la eficiencia de la gestión.

7 En el contexto de una evaluación crítica sobre la forma que se llevó a cabo el proceso de privatización de los servicios de abastecimiento de agua urbanos según "la solución predilecta en Washington", Sachs, J. (2008) sugiere: "Un concierto eficaz entre la gestión pública y la privatización puede ser la exigencia de que los proveedores privados ofrezcan una tarifa mínima vital que garantice a todas las familias una cantidad fija de agua gratuita todos los días, destinada a usos necesarios para vivir (beber, cocinar e higiene). El consumo superior a ese mínimo se cobra por metro cúbico a precio de mercado. De este modo todo el mundo, hasta el más indigente, tiene garantizado un mínimo."… "Dependiendo de cuál sea la estructura exacta del consorcio público-privado y de las normas sobre precios, el presupuesto del sector público podría reembolsar al proveedor de agua el abastecimiento gratuito del suministro mínimo de agua." (pp. 185 y 186).

Un área de particular interés que presenta el sector para la baja de costos o mejora de la eficiencia es la reducción de pérdidas físicas de la red o, en términos más amplios, la reducción del agua no contabilizada. Se considera que en los sistemas de los principales conglomerados urbanos del país las pérdidas se encuentran entre el 40 y el 45% de los volúmenes de producción de agua. Reducir ese nivel de pérdidas reportaría beneficios significativos debido a la dismunición en los costos operativos y a las menores necesidades de inversión en capacidad instalada de plantas, redes y otras instalaciones.

Cabe señalar que en la estimación de los beneficios se consideran solamente los impactos directos de las reducciones en costos operativos y de inversión (mayor disponibilidad de la capacidad instalada en plantas, redes y otras instalaciones) y se computa como costos a las inversiones requeridas y a los gastos de OyM incrementales.

Respecto de este punto, se debe considerar que la generalización de la micromedición ayudaría a detectar de manera más precisa las pérdidas de red y contribuiría a una gestión más eficiente de los operadores del servicio.

Para que las tarifas de los servicios reflejen costos eficientes, se requiere asimismo un marco legal e institucional específico e independiente y una regulación tanto técnica como económica que sirva de sustento a los objetivos de una prestación eficiente de los servicios.

4. **Perfeccionar el sistema de información sobre la gestión y resultados.**

La capacidad de reflejar los costos a través del sistema tarifario y de controlar la eficiencia de los mismos está en función de la calidad de la información contable y técnica correspondiente. Sobre el particular, en algunos países de América Latina se han realizado esfuerzos destacables. Entre ellos, cabe mencionar la implementación de sistemas de "contabilidad regulatoria" en Chile, Colombia, Perú y en Argentina, en los servicios del AMBA.

A nivel regional, también desde hace varios años, se están llevando a cabo esfuerzos para organizar un sistema de indicadores para análisis comparativo (*benchmarking*) a través de la Asociación de Entes

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Reguladores de Agua y Saneamiento de las Américas (ADERASA).

5. **Promover la participación de la sociedad civil y de las autoridades locales.**

El mejoramiento de la participación de la sociedad civil y de las autoridades locales es un mecanismo de control indispensable para que los servicios de agua y saneamiento se presten en las condiciones de calidad requeridos, para que éstos alcancen la cobertura universal en el menor plazo posible y para que los niveles tarifarios sean justos y razonables

La participación de la sociedad civil puede darse mediante el control general de la prestación realizado a través de organizaciones no gubernamentales o en forma puntual y mediante consultas a la opinión pública sobre los planes de inversión y otros aspectos relevantes de la prestación de los servicios para los usuarios, en audiencias públicas o en comisiones de usuarios organizadas en los entes reguladores.

También existen casos de participación directa por parte de la comunidad en la decisión de la expansión de los servicios, principalmente en áreas suburbanas y rurales.

Asimismo, se debe mencionar la organización de entidades operadoras como cooperativas de usuarios. En varias provincias de Argentina esta modalidad se encuentra muy difundida principalmente en localidades pequeñas y medianas.[8]

Acciones sugeridas para superar el desafío planteado:

- Fomentar y priorizar las inversiones en el sector teniendo en cuenta los beneficios resultantes del impacto que ellas tienen en la salud pública, en el medio ambiente, en la economía en general, en la reducción de la indigencia y la pobreza y en la cohesión social.
- Establecer mecanismos explícitos de incentivos para la gestión eficiente de las empresas operadoras y el uso racional de los servicios. Los regímenes tarifarios deberían contener incentivos para la racionalización del consumo y de la oferta del agua, lo que podría lograrse mediante un aumento significativo de la micromedición de los volúmenes consumidos por los usuarios, así como mediante inversiones para reducir las pérdidas en las redes de agua.
- Fijar niveles tarifarios que posibiliten la cobertura de los costos de OyM y por lo menos una parte de la amortización del capital, y considerar subsidios para aquellos usuarios que no tengan capacidad de pago.
- Fortalecer las funciones de regulación y control de la prestación de los servicios, así como asegurar la capacidad técnica e independencia de acción de los organismos responsables de tales funciones.
- Mejorar los mecanismos legales e institucionales relacionados con la participación de la sociedad civil y de las autoridades locales. Se incluye en ello la mejora en la difusión y comunicación de información sobre el desempeño de los operadores y autoridades de control, así como intensificar, fundamentalmente en las escuelas primarias y secundarias, las acciones de educación sobre la problemática del agua potable y saneamiento y su importancia para la preservación de la salud pública y el ambiente.

8 Se estima que las cooperativas de usuarios que prestan servicios de agua potable son alrededor de 750 y representan aproximadamente el 17% de la población que cuenta con servicio de agua por red en Argentina

5.3.2 Agua y energía

El desafío para el país es aumentar la participación de la hidroelectricidad dentro de la oferta de fuentes convencionales para la generación masiva de energía eléctrica (Hidroenergía + Térmica + Nuclear)

Esto plantea, entre otros, los siguientes retos:

1. **Fomentar el desarrollo de obras de generación hidroeléctrica en regiones del país donde existen sitios con características adecuadas para la generación hidroeléctrica y donde, además, existen beneficios asociados con el control de crecidas, la regulación de caudales y la incorporación de embalses.**

Ya se ha recordado que Argentina cuenta con un potencial hidroeléctrico de 130.000 GWh/año en proyectos inventariados con varios grados de desarrollo. De este potencial sólo unos 35.000 GWh/año corresponden a obras en operación. Además de la generación de energía limpia, el país se beneficiaría con la regulación de caudales y el control de crecidas particularmente en las zonas andinas y de la Patagonia donde el agua es escasa, lo que puede ser resuelto subsidiariamente mediante embalses dedicados a hidrogeneración.

2. **Promover obras de hidrogeneración que permitan contar con una matriz de oferta de energía más ba-**

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

lanceada que alcance una hidraulicidad conjunta promedio en el orden del 40% de la demanda.

La demanda actual de energía eléctrica en Argentina es del orden de 115.000 GWh/año. La participación de hidroelectricidad con el parque hoy disponible en un año de hidraulicidad conjunta promedio es de 35%. Admitiendo un crecimiento de la demanda de 4% anual, para lograr abastecer con hidroelectricidad 40% de la demanda (propuesta deseable sostenida por especialistas energéticos) y tener así una oferta energética más equilibrada, sería necesario incorporar en los próximo 15 años generación hidroenergética por 43.000 GWh/año adicionales a lo aportado por otros proyectos sobre ríos no compartidos como Cóndor Cliff, La Barrancosa, Paraná Medio, y El Chihuido I además de 5.000 GWh/año producto de elevar hasta cota 83 la operación de Yacyretá.

La potencia instalada prevista y los costos estimados de construcción de embalses en consideración sobre ríos no compartidos se presentan en el Cuadro 6.

Acciones sugeridas para superar el desafío planteado:

- Realizar los estudios y proyectos correspondientes para completar el diseño de las principales obras de embalse y generación tanto sea en ríos propios como compartidos con otros países.

  Corresponde mencionar que muchas de estas tareas significan actualizar ideas originales desarrolladas hace varias décadas para llevarlas a las condiciones actuales de las tecnologías de diseño y operación de embalses multipropósito para la generación de hidroelectricidad.

  En particular, hace falta incluir estudios actualizados y completos de evaluación de impacto ambiental a escala local de la obra, así como a escala de la cuenca en su conjunto.

- Integrar estos estudios con análisis de evaluación de proyecto que contemplen tanto los beneficios como los impactos directos e indirectos o externalidades para las actividades socioeconómicas y al ambiente.

  Estos elementos resultan necesarios para poder avanzar en las gestiones vinculadas con la viabilidad de las inversiones necesarias para desarrollar los proyectos, y para establecer su priorización con la participación y aprobación de los actores sociales involucrados.

- Realizar un análisis de las tarifas de energía eléctrica en relación con valores internacionales para hacer económicamente viable la generación de tal modo que se pueda establecer la financiación, aunque sea parcial, de las inversiones necesarias mediante las contribuciones generadas por las tarifas.

  Una evaluación general del mercado de la energía de nuestro país permite reconocer que los niveles tarifarios por la energía para consumo masivo están en órdenes inferiores a 20% de los valores promedio internacionales. Para los grandes consumidores de energía los valores son superiores pero sin superar el promedio de los precios internacionales, y representan menos del 5% de la demanda.

  A título de referencia comparativa se puede observar en el Cuadro 7 y en la Figura 10 los precios promedio de venta de la energía eléctrica (particularmente se citan empresas de generación térmica) en distintos países de América.

La hidroelectricidad es un recurso subestimado en nuestra matriz de generación eléctrica y es necesario impulsar el desarrollo de obras que aumenten la diversidad de la oferta, con los beneficios asociados a largo plazo, tales como reducir el futuro impacto de los incrementos del precio del petróleo y sus derivados, aportar energía de bajos niveles

Cuadro 6. Potencia instalada prevista y costos estimados de construcción

Río	Provincia	Obra de Embalse	Potencia instalada prevista (MW)	Inversión (en millones de U$S)	U$S/kW
Neuquén	Neuquén	Chihuido I	637	1.500	2,35
Santa Cruz	Santa Cruz	Cóndor Cliff y Barrancosa	1.740	4.000	2.30
San Juan	San Juan	Punta Negra	62	380	6,13
Grande	Mendoza	Portezuelo del Viento	90	265	2,94
Tunuyán	Mendoza	Los Blancos I y II	480	1.000	2,08

Fuentes: Ing. Luis Bergman (EBISA); Ing. Juan Lucchilo (CAMMESA)

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

de impacto ambiental y que no genera emisiones de GEI, y contribuir con beneficios asociados de relevancia para el desarrollo regional, tales como abastecimiento a poblaciones, disponibilidad de agua para riego, control de crecidas, posibilidad de desarrollo de actividades deportivas y turísticas.

Cuadro 7. Precio promedio de venta de la energía eléctrica en diferentes países de América

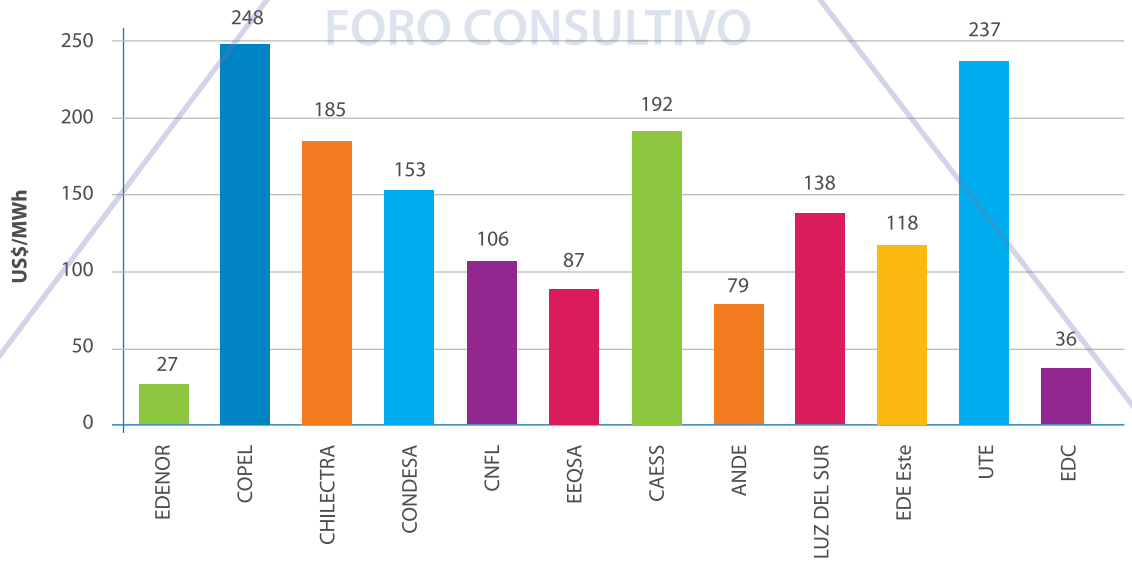
Principales características de las empresas referidas, y la zona de concesión correspondiente a la tarifa utilizada:

Empresa	País	Cantidad de clientes (diciembre 2009)	Densidad (clientes/km²) (diciembre 2009)	Zona de concesión
EDENOR	Argentina	2,626,000	566	Gran Buenos Aires Capital Federal
COPEL	Brasil	4,030,000	21	Paraná
CHILECTRA	Chile	1,579,000	746	Santiago
CODENSA	Colombia	2,364,000	168	Bogotá
CNFL	Costa Rica	487,000	540	San José
EEQSA	Ecuador	809,000	55	Quito
CAESS	El Salvador	521,000	114	San Salvador-Central
ANDE	Paraguay	1,159,000	3	Todo el país
LUZ DEL SUR	Perú	833,000	301	Lima Metropolitana-Zona Sur
EDE Este	Rep. Dominicana	348,000	30	Santo Domingo-Región Este
UTE	Uruguay	1,283,000	7	Todo el país
EDC	Venezuela	1,154,000	223	Caracas-Distrito Capital

Los clientes típicos utilizados son los siguientes:

	Cliente	Potencia	Consumo	Tensión
Residencial	Rd	Mínima admitida	200 kWh/mes	BT
	Re	Mínima admitida	400 kWh/mes	BT
Comercial	Cd	10 kW	1.000 kWh/mes	BT
	Cef	10 kW	2.000 kWh/mes	BT
Industrial	Ie	100 kW	25.000 kWh/mes	MT
	If	300 kW	50.000 kWh/mes	MT

Figura 10. Tarifa eléctrica residencial Rd, potencia mínima admitida 200 kWh/mes, BT, marzo de 2010



PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Sobre la base de estos criterios parece razonable orientar la inversión pública para financiar la construcción de las obras que cumplan con los mismos. Alinear las tarifas con estándares internacionales permitirá sumar más interés de participación de la inversión privada tanto en la construcción como en la operación de nuevos emprendimientos.

Trabajar de manera conjunta con Brasil y Paraguay en la planificación, construcción y usufructo de la energía generada por los aprovechamientos de Garabí en el río Uruguay, y de Corpus en el río Paraná, con el fin de garantizar su mejor de desarrollo, así como el beneficio de las partes.

Garabí. Éste es un proyecto sobre el Alto Uruguay que contempla la construcción de dos aprovechamientos (Garabí y Panambí) de 1.152 y 1.048 MW, respectivamente, y una energía media anual conjunta estimada en los 11.440 GWh que está siendo impulsado por EBISA y ELECTROBRAS. Se deberían acelerar los estudios de viabilidad técnica económica y geológica de estas dos futuras represas por levantarse sobre el tramo del Río Uruguay compartido con Brasil.

Corpus Christi. La represa hidroeléctrica de Corpus Christi se proyecta ubicar sobre el curso Superior del río Paraná, cercana a las localidades de Corpus en la provincia de Misiones (Argentina) y Puerto Bella Vista en el Paraguay, a unos 50 km al noreste de las ciudades de Posadas (Argentina) y Encarnación (Paraguay).

El proyecto hidroeléctrico de Corpus Christi consiste en la construcción de una represa en el Río Paraná Superior, con una cota de operación de 105 msnm, que trabajaría coordinadamente entre los aprovechamientos binacionales ya existentes de Yacyretá (Argentina-Paraguay) e Itaipú (Brasil-Paraguay) y con la construcción de la represa de Itacoráltatí (Argentina-Paraguay).

Actualmente, se considera el posible emplazamiento en Pindo-í. Las turbinas previstas son Kaplan de 140 MW cada una y la potencia instalada también se planea en los 2.880 MW, con una generación media anual de 20.175 GWH, con un área afectada total por el embalse de 13.966 hectáreas.

Comentarios adicionales

Está por demás demostrado, y en particular para un país con la concepción y estructura económica de Argentina, que será altamente improbable la construcción de obras hidroeléctricas de mediana y gran envergadura sin una participación preponderante del estado nacional o de los estados provinciales.

Aceptada esta premisa, ¿qué es lo que puede llevar al Estado a impulsar obras hidroeléctricas?:

a. Diversificar la matriz de oferta energética para aumentar la confiabilidad de suministro eléctrico.
b. Reducir la emisión de GEI del parque de generación.
c. Reducir el futuro impacto de un posible brusco incremento en los precios del petróleo y derivados.
d. Dar la oportunidad para que se concreten otros usos del recurso hídrico no menos importantes pero mucho menos rentables que la generación de energía (control de crecidas, riego, turismo, navegación, etc.).
e. Impulsar una región por razones de equilibrio con otras del país, evitar migraciones por motivos geopolíticos.

PARA USO RESTRINGIDO

No son entonces las futuras posibles tarifas elevadas las que podrían generar este tipo de inversiones de capital intensivo y de tan largo plazo de recupero, son más bien decisiones de gobierno, de convicción por el desarrollo y con suficiente poder político.

6. Recursos hídricos interjurisdiccionales e internacionales (Anexo I)

La Constitución Nacional establece que el dominio originario de los ríos es de las provincias (art. 124) y el Código Civil establece que el agua es un bien de dominio público (art. 2340, inc. 1º). Estos cuerpos legislativos no tipifican la relación que se establece entre las distintas provincias bañadas por la misma agua.

FORO CONSULTIVO

En consecuencia, cuando una cuenca abarca el territorio de distintas provincias o el de una provincia y la Ciudad de Buenos Aires, cada jurisdicción podría adoptar decisiones que perjudicasen a las otras o desaprovechasen la oportunidad de manejar la cuenca racional y equitativamente, sin estar al margen de la ley.

La gestión del agua con visión de cuenca se presenta como la forma más adecuada de lograr una gestión coordinada. Para coordinar la gestión del agua en las cuencas interjurisdiccionales, se practica habitualmente el acuerdo, si bien se ha propuesto y practicado en algunos casos la participación de la autoridad nacional.

La reforma constitucional de 1949 facultó al Congreso Nacional para legislar (art. 68, inc. 14) y al Poder Ejecutivo

para ejercer la policía de ríos interprovinciales (art. 83, inc. 2) y nacionalizar las caídas de agua (art. 40). Fue abrogada por una Convención Constituyente en 1957. La ley 13030 atribuyó a un organismo nacional facultades regulatorias sobre los ríos interprovinciales para asegurar su racional y armónica utilización en todo su curso, pero no se aplica.

En 1948 Tucumán y Salta celebraron un tratado para la construcción de un dique en el río Tala que compartían y el reparto del agua por mitades (ley nacional 956, promulgada el 7/8/48 y sancionada el 30/7/48). En 1956 la Comisión Técnica Interprovincial Permanente del Río Colorado, COTIRC (Tratado de Santa Rosa del 30/8/56), integrada por las Provincias de la Cuenca (Buenos Aires, Mendoza, La Pampa, Neuquén y Río Negro), impulsó un acuerdo interprovincial sobre el uso de las aguas del río, que fue suscripto en la Sexta Conferencia de Gobernadores del Río Colorado del 26/10/76, formalmente definido en febrero de 1977 y ratificado por la ley nacional 21611 del 1/8/77 y las leyes 8663 de la Provincia de Buenos Aires, 750 de la Provincia de La Pampa, 4116 de la Provincia de Mendoza, 964 de la provincia del Neuquén y 1191 de la Provincia de Río Negro. El acuerdo se basó en numerosos estudios, que culminaron en uno definitivo realizado en el Instituto Tecnológico de Massachussets de los Estados Unidos, cuyos resultados fueron considerados por los niveles técnicos y políticos de las cinco provincias de la cuenca como una base adecuada para alcanzar un acuerdo.

En 1983 se constituyó el Comité Interjurisdiccional del Río Colorado, organismo financiado por las provincias y el gobierno nacional, cuyo objetivo es velar por el cumplimiento del acuerdo (ley 22721).

Un convenio que celebró el Estado Nacional con las Provincias del Noroeste acordó la creación de Comités de Cuencas Hídricas para las cuencas de la región (San Salvador de Jujuy, 18/12/71, ratificado por el decreto nacional 4361/71). Este convenio dio origen a los Comités de Cuenca de los ríos Salí Dulce y Pasaje Juramento Salado. Por convenio también se creó el Comité de la Cuenca Hídrica del Río Bermejo (Resistencia, 14/4/72) y otro el de las cuencas del Gran Rosario, sobre bases similares. Otro, entre los Gobiernos de Córdoba, San Luis y el de la Nación, creó el Comité de la Cuenca del río Quinto-Conlara (10/9/79). Algunas de esas cuencas son subcuencas de la Cuenca del Paraná, a su vez tributario del Río de La Plata.

Su cometido fue simplemente formular recomendaciones, supervisar la recopilación y elaboración de datos relativos al agua y promover estudios e investigaciones para evaluar el uso de los recursos hídricos de cada cuenca. Eran organismos intrafederales descentralizados, plurijurisdiccionales y singulares con capacidad de derecho público, por tener origen en acuerdos interprovinciales y actos del Gobierno Nacional.

El Comité de Cuenca del río Salí Dulce se convirtió en el Comité Interjurisdiccional de la Cuenca del Río Salí Dulce en enero de 2007, al firmarse un Tratado Interjurisdiccional entre las cinco provincias de la cuenca y la Nación. Su objetivo principal es promover la formulación de un Plan de Gestión de la cuenca consensuado entre las partes, a ejecutar a través del fortalecimiento de los organismos provinciales de las áreas de Agua y Ambiente.

Los comités de cuenca de los ríos Juramento Salado y de la región noroeste de la llanura pampeana, que recibe los aportes extraordinarios del río Quinto, están cerca de firmar Tratados Interjurisdiccionales similares al de la cuenca del río Salí Dulce.

También se crearon con participación del Gobierno Nacional:

a. El Comité Intergubernamental Coordinador de la Cuenca del Plata, para coordinar la acción de las provincias de la cuenca, entre sí, con el Gobierno de la Nación y, a través de éste, con los Estados extranjeros que comparten la cuenca (ley 23027).
b. El Ente Ejecutivo Presa Embalse Casa de Piedra (Gobierno de la Nación, La Pampa, Río Negro, Buenos Aires), que construyó y administra la presa de Embalse Casa de Piedra.
c. La Comisión Regional del Río Bermejo (COREBE), una corporación de desarrollo regional, para llevar adelante los estudios y proyectos sobre el río Bermejo. La integran el Estado Nacional y las provincias de Chaco, Formosa, Jujuy, Salta, que se encuentran en su cuenca y, además, las de Santa Fe y Santiago del Estero que esperan beneficios de su gestión (Convenio de Buenos Aires del 2/10/811 ratificado por la ley nacional 22697).
d. La Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro que se creó por el acuerdo interjurisdiccional celebrado en Neuquén el 16/12/85 por el Estado Nacional y las provincias del Neuquén, Río Negro y Buenos Aires (ratificado por la ley nacional 23896). Cuenta con recursos provenientes de la generación de hidroelectricidad y desarrolla tareas de monitoreo hidrometeorológico y de coordinación. A pesar de su nombre, no tiene una expresa delegación de las facultades de los organismos provinciales con competencia en la gestión hídrica.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

e. La Autoridad de la Cuenca Matanza-Riachuelo (ACUMAR), ente de derecho público interjurisdiccional integrado por el Estado Nacional, la Provincia de Buenos Aires y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (ley 26168, art. 1º). Cumple funciones de regulación, control y fomento de actividades industriales, unificación del régimen de vertidos en cuerpos de agua y emisiones gaseosas, prestación de servicios públicos, otras actividades con incidencia ambiental, prevención, saneamiento, recomposición y utilización racional de los recursos naturales, planificación del ordenamiento ambiental de la cuenca y ejecución del Plan Integral de Control de la Contaminación y Recomposición Ambiental.

En cuanto a cuencas internacionales, por su situación en el tramo inferior de la Cuenca del Plata siempre la Argentina tuvo especial interés en que su aprovechamiento y desarrollo se basase en acuerdos. Cuando una cuenca abarca distintos Estados, cada uno de ellos podría adoptar decisiones que perjudicasen a los otros o desaprovechasen la oportunidad de manejar la cuenca integral y equitativamente.

La gestión del agua enfocada hacia cada cuenca se ofrece como la más adecuada para que pueda ser integral y equitativa, lo que requiere la concurrencia de la voluntad de esos Estados. Por ello es que impulsó la VII Conferencia Internacional Americana cuya Declaración de Montevideo (1933), relativa al uso y aprovechamiento de las cuencas internacionales americanas, que los gobiernos siempre han declarado observar, por lo que constituye un principio de derecho internacional y existen sucesivas declaraciones en el mismo sentido. Por ello impulsó la institución de un sistema regional para la Cuenca del Plata, que aprobó principios aplicables a las cuencas internacionales y algunas reglamentaciones específicas para obras determinadas. De las múltiples negociaciones realizadas en el marco del sistema de la Cuenca del Plata surgió la Resolución Número 25 de la IV Conferencia de los Cancilleres de Asunción, de fecha 3/6/71, que:

a. Supedita el aprovechamiento de los ríos contiguos al acuerdo previo entre sus ribereños.
b. Permite a cada Estado aprovechar los tramos sucesivos de ríos compartidos[9] en razón de sus necesidades, pero sin causar perjuicio a los otros Estados.

9 La citada Resolución, por "ríos internacionales de curso sucesivo" se refiere a los ríos que corren de un país a otro, como el Paraná y el Uruguay cuando van del Brasil a la Argentina. En cambio cuando separan a países los llaman contiguos.

En las Conferencias de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano (Estocolmo, 1972), la Argentina logró que se reconociese la obligación de notificar con anticipación la realización de "actividades importantes relativas a los recursos hidráulicos que puedan tener efectos ambientales en otro país" (Recomendación 51). En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Ambiente y Desarrollo (Río de Janeiro, 1992) logró que se recomendase no causar daño al medio ambiente de otros Estados ni a regiones que estén fuera de sus fronteras (Principio 2), así como proporcionar la información pertinente y notificar previamente y en forma oportuna a los Estados que posiblemente resultaren afectados por actividades que pudieran tener considerables efectos ambientales transfronterizos adversos y celebrar consultas con esos Estados en una fecha temprana y de buena fe (Principio 19). La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible (Johannesburgo, 2002) comprometió a los signatarios a aumentar el acceso a requerimientos básicos tales como agua limpia.

En el ámbito bilateral, la Argentina y el Uruguay generaron verdaderos modelos de conducta internacional. Para construir y operar las obras de Salto Grande celebraron diversos acuerdos (Tratados del 30/12/46, 26/11/58 y 20/10/72), dieron información oportuna al Brasil sobre los proyectos y acogieron sus observaciones para que el extremo del embalse no perjudicase su ambiente (Declaración conjunta Argentino-Brasileño-Uruguaya de Buenos Aires del 23/9/60). Para los ríos de la Plata y Uruguay acordaron estatutos (Tratados del 19/11/73 y 26/2/75, leyes 20645 y 21413) que norman el uso y la preservación de ambos ríos. La conducta ambientalmente respetuosa que siempre siguieron ambos países no logró impedir la controversia planteada por la Argentina contra el Uruguay por las plantas de pasta de celulosa que la Corte Internacional de Justicia de La Haya dirimió en el 2010.

Con el Brasil y el Paraguay, la Argentina acordó armonizar la presa brasileño-paraguaya de Itaipú con la proyectada argentino-paraguaya de Corpus (Acuerdo Tripartito de Puerto Presidente Stroessner, 19/10/79). Con el Brasil, acordó el aprovechamiento conjunto de los tramos limítrofes de los ríos Uruguay y Pepirí-Guazú y el uso por cada Estado de los tramos no compartidos en la medida de su interés y sin causar perjuicio sensible al otro, conforme a la apreciación y calificación que hagan conjuntamente ambas partes de ese perjuicio (Tratado de Buenos Aires del 17/5/1980, ratificado por la ley 22740).

Con el Paraguay y Bolivia crearon la Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo, facul-

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

tada para estudiar y ejecutar proyectos conjuntos en el río (La Paz, Bolivia, 9/2/95 aprobado por la ley 24677). Esta Comisión recibió un apoyo financiero muy importante de la Unión Europea, que le permitió contratar la formulación de un Plan Maestro para el desarrollo de la cuenca, que en el presente se está ejecutando al ritmo que lo permite la captación de fondos de diversas fuentes.

Con el Paraguay y Bolivia crearon la Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo, facultada para estudiar y ejecutar proyectos conjuntos en el río (La Paz, Bolivia, 9/2/95 aprobado por la ley 24677).

Con Bolivia crearon la Comisión Binacional para el Desarrollo de la Alta Cuenca del Río Bermejo y el Río Grande de Tarija (COBINABE), con las funciones de realizar estudios, investigaciones, proyectos y obras y ejercer ciertas funciones de autoridad y policía (Tratado de San Ramón de la Nueva Orán del 9/6/1995, aprobado por la ley 24639).

Con Chile, por el Acta de Santiago del 26/06/71 ambos países se comprometieron a no efectuar acciones unilaterales que pudieran causar perjuicio al medio ambiente del otro y a emprender acciones conjuntas en materia de protección, preservación, conservación y saneamiento ambiental.

7. Marco jurídico-administrativo del agua en la República Argentina (Anexo II)

La Constitución Nacional fija las bases de todo el derecho argentino, distribuye la competencia entre la nación y las provincias y obliga a la una y a las otras a respetar determinados principios de gobierno como el de separación de poderes, establecer el régimen municipal y someterse a los presupuestos mínimos ambientales que el Congreso Nacional imponga y a los tratados internacionales que apruebe.

La competencia que atribuye a la Nación en materia de agua prevalece sobre la provincial cuando faculta al Congreso Nacional para legislar –entre otros temas- sobre navegación, que declara libre para todas las banderas (art. 26, b), sobre comercio interprovincial e internacional (art. 75, inc. 13), los códigos de fondo (art. 75, inc. 12) y presupuestos mínimos de protección ambiental (art. 41). Además le atribuye competencia para aprobar los tratados internacionales que el Poder Ejecutivo celebre (art. 75, inc. 22) que deben ser acatados por las provincias y promover la construcción de canales navegables y la exploración de los ríos interiores. No puede normar las materias que la Constitución Nacional no delegó en el Congreso (art. 121). La Constitución Nacional faculta a las provincias para:

a. Crear regiones para el desarrollo económico y social y establecer órganos con facultades para cumplir sus fines (art. 125). La cuenca es una de esas regiones.
b. Celebrar tratados parciales con otras provincias para la administración de justicia, de intereses económicos y trabajos de utilidad común con conocimiento del Congreso (art. 125) que pueden normar la gestión de las cuencas interprovinciales.
c. Normar la gestión y el uso del agua bajo su jurisdicción. Les atribuye el dominio originario de los recursos naturales (art. 124). El Código Civil les acuerda el dominio público sobre la mayor parte del agua (art. 2340) y el poder de policía sobre el resto (las aguas que nacen y mueren en un mismo predio).
d. Sancionar las normas necesarias para proveer a la protección del derecho al ambiente, la utilización racional de los recursos naturales, la preservación del patrimonio natural y cultural, y la educación ambiental y complementar los presupuestos mínimos de protección ambiental que dicte la Nación, que la reforma de 1994 encomendó tanto al Estado nacional como a los estados provinciales (art. 41).

Si bien la Constitución Nacional no encomendó específicamente al Congreso Nacional sancionar normas relativas al agua, las funciones que atribuye al Congreso de la Nación de dictar el Código Civil le permitieron sentar principios uniformes en materia de agua.

El Código Civil de la Nación dispone que prácticamente toda el agua sea del dominio público, por lo menos toda la que interese a la comunidad, ya que incluye en el dominio público a los ríos, sus cauces, las demás aguas que corren por cauces naturales y a toda otra agua que tenga o adquiera la aptitud de satisfacer usos de interés general, los lagos navegables, sus lechos, las riberas internas de los ríos y las vertientes que nacen en un fundo de distinto propietario de aquel en que mueren.

También lo es la subterránea sin perjuicio del derecho del dueño del fundo suprayacente a extraerla en la medida de su interés y con sujeción a la reglamentación local. En casos especiales y con determinadas restricciones atribuye al propietario de la tierra el agua que no tenga ni adquiera la aptitud de satisfacer usos de interés general.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Para coordinar la política hídrica federal y la compatibilización de las políticas, legislaciones y gestión de las aguas de las respectivas jurisdicciones, las provincias y la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación promovieron la creación del Consejo Hídrico Federal (COHIFE) (ley 26438). El Consejo Federal del Medio Ambiente coordina las actividades de los gobiernos de la Nación y de los provinciales en materia de política del ambiente (ley 25675).

Los llamados "Principios Rectores de Política Hídrica de la República Argentina" proponen una base conceptual para la gestión eficiente y sostenible de los recursos hídricos de todo el país.

A instancias de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (originariamente creada como Secretaría de Recursos Hídricos), las provincias argentinas convocaron a los sectores vinculados con el uso, gestión y protección de sus recursos hídricos, con el fin de establecer lineamientos que articularan los valores sociales, económicos y ambientales que la sociedad le adjudica al agua. Su trabajo de varios años plasmó en la obra citada. En forma paralela, en los Fundamentos del Acuerdo Federal del Agua que dio origen al COHIFE se propuso que el Congreso de la Nación sancionara, conforme a sus recomendaciones, una Ley Marco de Política Hídrica, coherente y efectiva que, respetando las raíces históricas de cada jurisdicción, conjugase los intereses provinciales, regionales y nacional en una gestión integrada.

El dominio de las provincias sobre el agua es originario (Constitución Nacional, art. 124), público (Código Civil, art. 2340), residual y reconoce limitaciones, por cuanto ellas deberán gestionar el agua o permitir su gestión conforme al Código Civil (arts. 2636/2653) y en algunos casos está sometido a la jurisdicción nacional, como en el de la navegación y la interconexión eléctrica (ley 15336, art. 12)

Los derechos al uso del agua que el Código Civil atribuye a los particulares sobre el agua son los que la doctrina considera que se ejercen en virtud de la disposición legal que los instituye. Su policía corresponde, en principio, a la autoridad local en concurrencia con la que en materias de competencia federal ejerce el Gobierno Nacional.

Algunas provincias fijan los principios básicos de su política hídrica en sus constituciones, para hacerlos prevalecer sobre cualquier decisión en contrario de cualquiera de sus tres poderes. En ejercicio de su competencia normadora de la gestión, el uso y la preservación del agua tanto pública como privada bajo su jurisdicción, las provincias sancionaron leyes muchas veces superpuestas y otras, contradictorias y han atribuido su aplicación a pluralidad de organismos.

Para afrontar los inconvenientes de esa dispersión, algunas provincias aglutinan esas normas en códigos de agua y unifican su aplicación en un organismo central. Acogiendo el paradigma de la gestión del agua integrada y por cuencas, algunas provincias crearon organismos para gestionar ese desarrollo o ejercer la autoridad en alguna cuenca o en la parte de ella bajo su competencia.

La Constitución atribuye a las provincias el dominio originario de los ríos (art. 124) y el Código Civil el dominio público (art. 2340, inc. 1º), pero no tipifica la relación que se establece entre las distintas provincias bañadas por la misma agua (Anexo I).

En base a lo expuesto se pueden adelantar las siguientes conclusiones:

- El sistema jurídico del país atiende una multiplicidad de temas relativos al agua. La abundancia y dispersión de normas provenientes de 25 jurisdicciones y de algunas fuentes interjurisdiccionales, relativas a la preservación y mejoramiento de las cuencas hídricas y la atribución de su aplicación a pluralidad de organismos crea problemas de identificación y de interpretación de las normas, estimula determinadas actividades y limita otras, lo que no siempre resuelve sino más bien incrementa los conflictos de interés que la circulación permanente del agua por las cuencas genera, disminuye su disponibilidad y agrava el efecto de su exceso. En el orden nacional ello se hace más notorio por cuanto carece de un cuerpo nacional regulador del agua. En la presentación de los "Principios Rectores de Política Hídrica de la República Argentina", perspectiva de la Política Hídrica del 8 de agosto de 2003, se consideró que: "La normatización de los Principios Rectores a través de una Ley Marco, por parte del Congreso de la Nación, permitirá fijar reglas claras y equitativas que brinden seguridad jurídica, evitándose así la proliferación de legislaciones parciales, dispersas, con dispositivos superpuestos y a menudo contrapuestas".
- El consenso para sancionar un cuerpo nacional regulador del agua o, por lo menos, codificar la legislación hídrica federal existe desde hace mucho. La Constitución Nacional faculta al Congreso Nacional para condensar en un cuerpo nacional las normas nacionales relativas al agua.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

- Una Ley o Código Nacional del Agua proveería a la utilización racional del agua y recursos naturales y a la preservación del patrimonio natural conexos dispuesta por la Constitución. El "Consejo Hídrico Federal" (COHIFE), instancia federal de coordinación normativa se perfila como el órgano más adecuado para proyectarla, porque anticipa el consenso de todo el sistema político y administrativo y permite prever también sus obstáculos. Además es el promotor de los Principios Rectores de Política Hídrica de la República Argentina.
- La abundancia y dispersión de normas se repite en el derecho internacional de aguas, que se elabora a partir de coincidencias puntuales. Su ubicación en el tramo inferior de la Cuenca del Plata y las oportunidades que brindan los ríos cordilleranos obliga a la Argentina a seguir avanzando en la construcción de un sistema jurídico internacional del agua equitativo y solidario.

8. Glosario

Acuacultura
Cultivo comercial de organismos acuáticos, vegetales o animales (Tundisi, 2009).

Acuíferos
Un acuífero es aquel estrato o formación geológica permeable que permite la circulación y el almacenamiento del agua subterránea por sus poros o grietas. Dentro de estas formaciones podemos encontrarnos con materiales muy variados como gravas de río, limo, calizas muy agrietadas, areniscas porosas poco cementadas, arenas de playa, algunas formaciones volcánicas, depósitos de dunas e incluso ciertos tipos de arcilla. El nivel superior del agua subterránea se denomina tabla de agua, y en el caso de un acuífero libre, corresponde al nivel freático. Un acuífero artesiano es aquél en que el agua subterránea esta confinada por estratos superiores impermeables; su presión es mayor que la atmosférica.

Agua
El agua es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H_2O). Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. El término agua, generalmente, se refiere a la sustancia en su estado líquido, pero la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo, y en forma gaseosa denominada vapor.

Agua mejorada (fuente de)
Es el agua que proviene o se abastece de una fuente o toma que, por la naturaleza de su construcción y diseño, la protege contra la contaminación del exterior, especialmente contra la materia fecal. Entre las fuentes de agua mejorada se distinguen: a) servicios de agua por tubería en la vivienda, la parcela o el patio, b) grifos o fuentes públicos, c) pozo entubado/perforado, d) pozo excavado cubierto, e) fuente protegida y f) recolección de agua de lluvia. Dentro de las fuentes no mejoradas de agua potable se encuentran: a) pozo excavado no cubierto, b) fuente no cubierta, c) carro con un tanque/bidón pequeño, d) camión cisterna, e) agua de superficie (río, presa, lago, laguna, arroyo, canal, canal de irrigación), y f) agua embotellada (El agua embotellada se considera mejorada solamente cuando en el hogar se utiliza agua de otras fuentes mejoradas para cocinar y para la higiene personal; donde esta información no está disponible, el agua embotellada se clasifica caso por caso) (JMP, 2010).

Agua virtual
Concepto que surgió a principios de los años 90 dado que para producir bienes y servicios se necesita agua. Así, se denomina agua virtual del producto, ya sea éste agrícola o industrial, al agua utilizada para producirlo. El agua virtual es una herramienta para calcular el uso real del agua de un país, o su "huella hídrica" ("water footprint"), equivalente al total resultante de la suma del consumo doméstico y la importación de agua virtual del país, menos la exportación de su agua virtual a otros países. La huella hídrica de un país es un indicador útil del consumo del país respecto a los recursos hídricos del planeta.

Aluvionales
Origen de depósitos de materiales detríticos, como grava, arena, arcillas, entre otros, abandonados por una corriente de agua.

Antrópicos
Lo relativo, por estar asociado, influido, ser perteneciente o incluso contemporáneo al hombre, entendido como especie humana o ser humano.

Biodiversidad
Término por el que se hace referencia a la amplia variedad de seres vivos (vegetales y animales) sobre la Tierra y los patrones naturales que la conforman.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Biota
En su uso más habitual, el término biota designa al conjunto de especies de plantas y animales que ocupan un área dada. Se dice, por ejemplo, biota europea para referirse a la lista de las especies que habitan el territorio europeo. La biota puede desglosarse en flora y fauna. El concepto puede extenderse para designar al repertorio de especies de un compartimento del ecosistema, como el suelo, la rizosfera o el fondo en un ecosistema acuático.

Cadenas tróficas
Es el proceso de transferencia de energía alimenticia a través de un conjunto de organismos, en el que cada uno se alimenta del precedente y es alimento del siguiente.

Calado
El calado de un barco o buque es la distancia vertical entre el plano de la línea de flotación y la línea base o quilla, con el espesor del casco incluido; en el caso de no estar incluido, se obtendría el calado de trazado.

Ciclo hidrológico
Ciclo del agua en una cuenca hidrográfica, en los continentes o en el conjunto del planeta, constituyendo un proceso y un balance de precipitación, infiltración, evapotranspiración y flujo o retención del agua superficial y subterránea.

Cultivos de secano
La agricultura de secano es aquélla en la que el hombre no contribuye con agua, sino que utiliza únicamente la que proviene de la lluvia.

Déficit sanitario
Carencia de acceso a servicios básicos de saneamiento.

Depuración
En ingeniería ambiental el término tratamiento de aguas es el conjunto de operaciones de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales –llamadas, en el caso de las urbanas, aguas negras. La finalidad de estas operaciones es obtener unas aguas con las características adecuadas al uso que se les dará, por lo que la combinación y naturaleza exacta de los procesos varía en función tanto de las propiedades de las aguas de partida como de su destino final.

Desalinización
Proceso físico o químico para la eliminación de la sal del agua salada (del mar o de los lagos salinos) a fin de producir agua dulce.

Desarrollo sostenible
Proceso de mejoramiento creciente y estable (perdurable en el tiempo) de las condiciones de vida de una comunidad humana. Dicho mejoramiento puede darse en lo físico (salud, alimentación, vivienda trabajo, servicios, infraestructura), en lo economico, en lo ético, en lo espiritual y afectivo (educación, esparcimiento, arte, cultura, religión) o en varios de estos aspectos simultáneamente. En términos socioeconómicos y culturales hay desarrollo sostenible cuando los avances en calidad de vida se consolidan y no se reducen con el correr del tiempo. Desde la perspectiva de la prosperidad y equidad humana y la conservación del ambiente natural, según el Informe Brundtland de 1987, la sostenibilidad consiste en utilizar los recursos naturales para satisfacer las necesidades de la actual generación sin sacrificar la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades.

Dragado
Se entiende por dragado la operación de remoción de los sedimentos en cursos de agua, lagos, bahías, accesos a puertos para profundizar un canal navegable o de un río con el fin de aumentar la capacidad de transporte de agua (evitando así las inundaciones aguas arriba). O para facilitar el tráfico de embarcaciones, evitando el riesgo de encallamiento.

Embalse
Se denomina embalse a la acumulación de agua producida por una obstrucción en el lecho de un río o arroyo que cierra parcial o totalmente su cauce. La obstrucción del cauce puede ocurrir por obras construidas por el hombre para tal fin, como son las presas, o por causas naturales como, por ejemplo, el derrumbe de una ladera en un tramo estrecho del río o arroyo, la acumulación de placas de hielo.

Embalses estacionales
Es un tipo de embalses que, como su nombre lo indica, tienen capacidad de almacenar agua durante una temporada húmeda (estación lluviosa), para tratar de regularla en forma eficiente y ponerla de acuerdo con la demanda del periodo seco o de estiaje.

Escasez de agua
Un país tiene escasez de agua cuando el suministro anual de agua dulce renovable es inferior a 1.000 m^3 por persona. Esos países probablemente experimenten condiciones crónicas y extendidas de escasez de agua que han de dificultar su desarrollo.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Estrés hídrico
Se produce cuando la demanda de agua es más importante que la cantidad disponible durante un periodo determinado o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad. El estrés hídrico provoca un deterioro de los recursos de agua dulce en términos de cantidad (acuíferos sobreexplotados, ríos secos, etc.) y de calidad (eutrofización, contaminación de la materia orgánica, intrusión salina, etc.).

Eutrofización
En ecología el término eutrofización designa el enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema acuático. El uso más extendido se refiere específicamente al aporte adicional de nutrientes (nitrógeno o fósforo) provenientes de fuentes puntuales (descargas aisladas) o difusas (escurrimientos extensivos vinculados con distintos usos del suelo). Eutrofizado es aquel ecosistema o ambiente caracterizado por una abundancia anormalmente alta de nutrientes, acompañada por un consecuente aumento de su biomasa y su disposición.

Evapotranspiración
Se define la evapotranspiración como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Se expresa en mm por unidad de tiempo.

Externalidades
En economía, una externalidad es un beneficio o un costo, no reflejado en el precio, recibido o incurrido por una persona (física o jurídica) que provocó o no prestó su acuerdo a la acción que causó el costo o el beneficio. La externalidad puede ser positiva (beneficio) o negativa (costo).

Hidroarsenicismo
Enfermedad ambiental crónica cuya etiología está asociada al consumo de aguas contaminadas con sales de arsénico. En determinadas regiones del mundo es de carácter endémico.

Humedal
Es una zona de la superficie terrestre que está temporal o permanentemente inundada, regulada por factores climáticos y en constante interrelación con los seres vivos que la habitan. Se trata de zonas de alta biodiversidad y vulnerabilidad a la acción del hombre.

Índice de déficit sanitario
Combinación de atributos del individuo y su entorno, como son el acceso a servicios básicos de saneamiento y la accesibilidad al sistema de salud aplicados a la población, útil para clasificar la vulnerabilidad de la salud pública de una región.

Lixiviación
Proceso en el que un disolvente líquido se pone en contacto con un sólido pulverizado produciéndose la disolución de uno de los componentes del sólido.

Micromedición
Es el conjunto de actividades de medición que permiten conocer los volúmenes de agua consumidos por la población, pudiendo obtenerse en la actualidad estos datos por sistema, sector y eventualmente por subsector; además se pueden obtener volúmenes de consumo en las distintas categorías: comercial, residencial, industrial, etc.

Monitoreo
Proceso de determinación de variables físicas, químicas y biológicas de un ecosistema para permitir construir un banco de datos y un sistema de información (Tundisi, 2009).

Precipitación
En meteorología, la precipitación es cualquier forma de hidrometeoro que cae del cielo y llega a la superficie terrestre. Este fenómeno incluye lluvia, llovizna, nieve, aguanieve, granizo, pero no la virga, neblina ni rocío que son formas de condensación y no de precipitación. La cantidad de precipitación sobre un punto de la superficie terrestre es llamada pluviosidad, o monto pluviométrico. La precipitación es una parte importante del ciclo hidrológico, responsable del depósito de agua dulce en el planeta y, por ende, de la vida en nuestro planeta, tanto de animales como vegetales, que requieren del agua para vivir. La precipitación es generada por las nubes, cuando alcanzan el punto de saturación de vapor; en este punto las gotas de agua aumentan de tamaño hasta alcanzar el punto en que se precipitan por la fuerza de gravedad. Es posible inseminar nubes para inducir la precipitación rociando un polvo fino o un químico apropiado (como el nitrato de plata) dentro de la nube, acelerando la formación de gotas de agua e incrementando la probabilidad de precipitación, aunque estas pruebas no han sido satisfactorias prácticamente en ningún caso.

Recursos hídricos
Los recursos hídricos se constituyen en uno de los recursos naturales renovables más importante para la vida. Tanto es así, que las recientes investigaciones del sistema solar se dirigen a buscar vestigios de agua en otros planetas y satélites como indicador de la posible existencia de vida en ellos.

Régimen fluvial
El tipo de régimen fluvial viene determinado por la forma en que se alimenta el caudal de un río. Éste puede ser bási-

ACCESO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

camente de origen nival, también llamado glacial o de deshielo (cuando proviene de la fusión de nieves), o pluvial (cuando procede de las precipitaciones). De estos tipos se derivan formas mixtas, tales como las nivo-pluvial o pluvio-nival, según predominen las lluvias o las nieves. El tipo de régimen influye en las variaciones de caudal y la regularidad o no del río.

Un régimen nival o glacial presentará su caudal máximo en la primavera y comienzos del verano, por ser en esos meses en que se funden las nieves; mientras que el caudal mínimo tendrá lugar en el invierno.

El régimen pluvial aumenta su caudal con las lluvias y la temperatura, y su manifestación regular depende de la estación del año en que se producen las mayores precipitaciones. Son regímenes propios de la zona tropical, subtropical y parte de la zona templada.

Por su parte, el régimen mixto predomina en una gran parte de la zona templada, donde la época de menor caudal coincide con el otoño-invierno. Se trata de los ríos más regulares. La manifestación irregular de los regímenes pluviales depende de las precipitaciones esporádicas, que generan las corrientes torrenciales y de arroyada.

Salinización
La salinización se produce con frecuencia por el exceso de irrigación del suelo. El agua que se evapora en la superficie deposita las sales procedentes de rocas y capas subterráneas. Dichas sales cristalizan e interfieren en el desarrollo de las raíces.

Saneamiento mejorado
Una instalación mejorada de saneamiento se define como aquélla que garantiza de manera higiénica que no se produzca el contacto de las personas con los excrementos humanos. Sin embargo, no se considera que una instalación de saneamiento esté mejorada cuando la comparten varios hogares o está abierta al público.

Entre las instalaciones mejoradas se consideran: a) inodoro/letrina con cisterna o de sifón con conexión a (a.1) un sistema de alcantarillado con tuberías, (a.2) un tanque séptico, (a.3) una letrina de pozo; b) letrina de pozo mejorada con ventilación; c) letrina de pozo con losa, y d) inodoro de compostaje.

Entre las instalaciones no mejoradas se consideran: a) cisterna o sifón a otra parte, b) letrina de pozo sin losa o pozo abierto, c) cubo, d) inodoro colgante o letrina colgante, y e) ninguna instalación o arbusto o campo (defecación al aire libre) (JMP, 2010)

Sostenibilidad
En ecología, sostenibilidad describe cómo los sistemas biológicos se mantienen diversos y productivos con el transcurso del tiempo. Se refiere al equilibrio de una especie con los recursos de su entorno. Por extensión se aplica a la explotación de un recurso por debajo del límite de renovación del mismo.

Tensión hídrica
Un país tiene tensión hídrica cuando el suministro anual de agua dulce renovable está entre los 1.000 y los 1.700 m^3 por persona. Esos países probablemente experimenten condiciones temporales o limitadas de la escasez de agua.

Trasvases de cuenca
Los trasvases de cuenca son obras de derivación hidráulica cuya finalidad es la de incrementar la disponibilidad de agua en la cuenca receptora del trasvase.

9. Siglas

ADERASA: Asociación de Entes Reguladores de Agua y Saneamiento de las Américas

AMBA: Area Metropolitana de Buenos Aires

ANCE: Academia Nacional de Ciencias Económicas

ANCEFyN: Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

ANI: Academia Nacional de Ingeniería

APyS: Agua Potable y Saneamiento

Arg.Cap.Net: Red Argentina de Capacitación y Fortalecimiento de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos

AySA: Agua y Saneamientos Argentinos

EPA: Environmental Protection Agency (USA)

GIRH: Gestión Integrada de los Recursos Hídricos

GEI: Gases de efectos invernadero

INDEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

ILEC: International Lake Environment Committee

IANAS: Inter-American Network of Academies of Sciences

OMS: Organización Mundial de la Salud

OPS: Organización Panamericana de la Salud

OSN: Obras Sanitarias de la Nación

OyM (O&M): Operación y Mantenimiento

UNICEF: Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia

PARA USO RESTRINGIDO

10. Referencias

1. "2° Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo", 2006.
2. "2° Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", 2007.
3. IV Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua, 2004.
4. ADERASA. Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas, "Informe Anual de Benchmarking 2010. Informe Preliminar", 2010.
5. Aisiks, E. G. "La gran crecida del río Paraná de 1983", Organización Techint Boletín Informativo, 232, Buenos Aires, 1984.
6. Asociación Federal de Entes Reguladores de Agua y Saneamiento (AFERAS), 2010. Conclusiones de los Seminarios de Tarifas y Sistemas Tarifarios de AFERAS (2009-2010)
7. Banco Interamericano de Desarrollo."Agua Potable, Saneamiento y los Objetivos de las Metas del Milenio en América Latina y el Caribe", 2010.
8. Bereciartua, P. J. "Vulnerability to global environmental changes in Argentina: opportunities for upgrading regional water resources management strategies", Water Science & Technology, Vol 51, Nº 5, pp. 97-103, IWA Publishing, 2005.
9. Berz, G. "Flood disasters: lessons from the past worries for the future", Geoscience Research Group, Munich Reinsurance Company, Alemania, 1999.
10. Bianchi, H. y Lopardo, R. A. "Diagnosis and Mitigation of Groundwater Level Rise in a Highly Populated Urban System", XXX IAHR Congress, Vol. B, pp. 629-636, Thessaloniki, Grecia, 2003.
11. BID. "Water and Millennium Development Goals: Investment Needs in Latin American and the Caribbean", 2005, 2007
12. Boj, C. A. "Principales Consideraciones sobre la operación de Embalses Estacionales", Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala, C.A.
13. Calcagno, Mendiburo y Gaviño Novillo. "Informe sobre la Gestión del Agua en la República Argentina". World Water Vision, 2000
14. CEDLAS-Banco Mundial. Socio-economic Data Base for Latin America and the Caribbean-SEDLAC, 2009.
15. Chama, R. "Diagnóstico de la situación de los servicios de agua potable y saneamiento en relación con los objetivos de desarrollo del milenio", Banco Interamericano de Desarrollo, 2007.
16. Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (CIAMA), Dublin, 1992.
17. Del Castillo, Lilian. "Los pasos del agua" (De Mar del Plata a Estambul 1977-2009), CARI, Documento de trabajo Nº 86, Buenos Aires, 2009.
18. Escalante Sandoval, Carlos A. "La vulnerabilidad ante los extremos: la sequía", Revista Ingeniería Hidráulica de México, México, 2003.
19. Estudio Análisis de la Situación Sanitaria en el Área del Proyecto de Alcantarillado en el Partido de la Matanza, Provincia de Buenos Aires (Programa BID 1059-oc/ar) del Comité Ejecutor del Plan de Gestión Ambiental y de Manejo de la Cuenca Hídrica Matanza Riachuelo, 2004.
20. FAO. "AQUASTAT", 2005.
21. FAO. "Agua y Cultivos". Roma, 2002.
22. FAO/Banco Mundial. "Agricultura mundial: hacia 2015/2030", 1995.
23. FAO. "Programa de Acción Internacional sobre el Agua y el Desarrollo Agrícola Sostenible", Roma, 1990.
24. Fay, Marianne and Mary Robinson. "Infrastructure in Latin America and the Caribbean Recent Development and Key Challenges", The World Bank, 2006.
25. Fernández, D., Jouravlev, A., Lentini, E. y Yurquina, A. "Contabilidad regulatoria, sustentabilidad financiera y gestión mancomunada: temas relevantes en servicios de agua y saneamiento", Serie Recursos Naturales e Infraestructura Nº 146, CEPAL, Santiago, 2009.
26. Global Water Partnership, "Integrated water resources management", 2000.
27. Goniadzki, Dora, "Sistemas de información y alerta hidrológico. La prestación de un servicio esencial", Revista INA, Año 1, Nº 1, pp. 21-23, 1997.

FORO CONSULTIVO

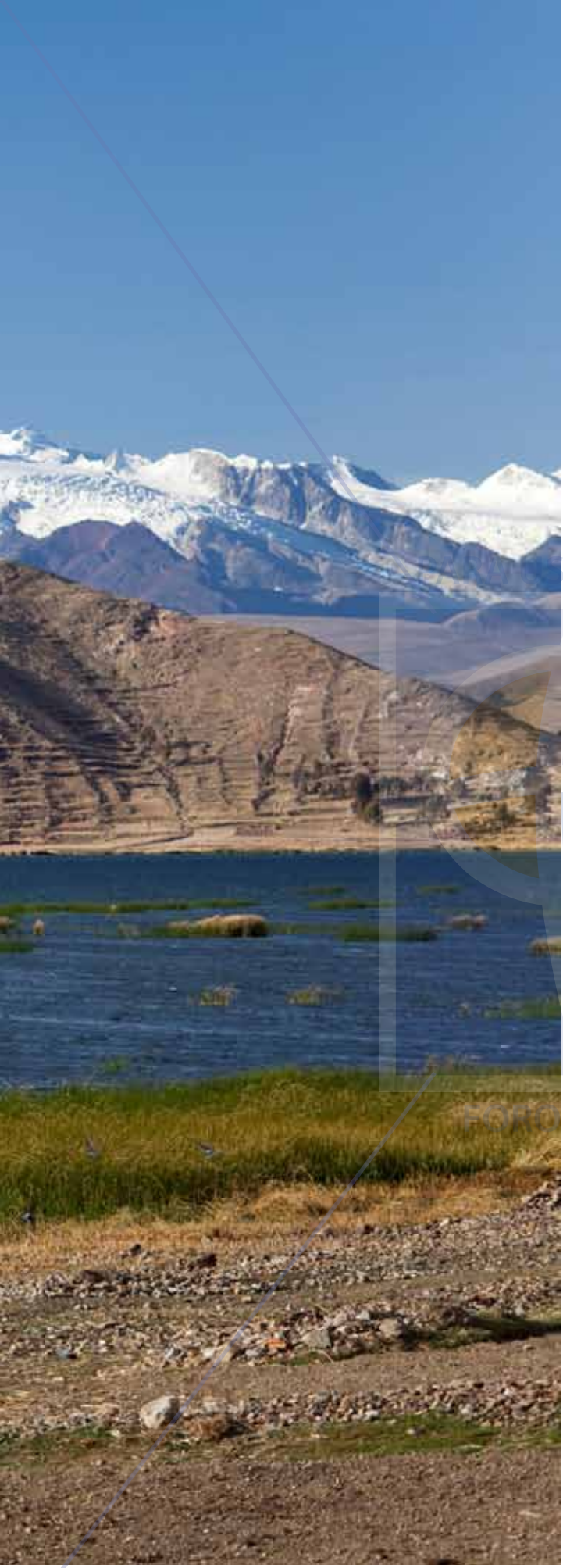
28. Grupo Banco Mundial. "El Banco Mundial y el suministro de agua y saneamiento en América Latina y el Caribe", 2006.
29. http://www.cavaargentina.com
30. http://www.expozaragoza2008.es
31. http://www.greenfacts.org
32. http://www.hydriaweb.com.ar
33. http://www.natureduca.com
34. Hutton, G. y Haller, L. "Evaluación de Costos y Beneficios por mejoras de los servicios de Agua y Saneamiento-Organización Mundial de la Salud", 2004.
35. HydroPower&Dams, World Atlas & Industry Guide, 2007.
36. INDEC. "Estadísticas de Población y Hogares", IV Trimestre, 2006.
37. Informe Bruntland. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, Naciones Unidas, 1987.
38. Informes Anuales. "Agua y Saneamiento Argentinos SA".
39. INCYTH-UNESCO. "Balance Hídrico de la República Argentina". Buenos Aires, Argentina, 1994.
40. JMP (Joint Monitoring Program), "Progres on Sanitation and Drinking-water: 2010" Update, 2010.
41. Lentini, E. "Servicios de agua potable y saneamiento: lecciones de experiencias relevantes", CEPAL, en edición, 2010.
42. Lopardo, R. A. y Seoane, R. "Algunas reflexiones sobre crecidas e inundaciones", Ingeniería del Agua, Vol. 7, Nº 1, isbn 1134-2196, pp. 11-21. Valencia, España, 2000.
43. Martinez, S. y Bauer C. "The lakes and environmental education", en Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia, pp. 39 a 54, Verbania Pallanza, Italia, 1993.
44. Martinez S., Bauer, C., Calcagno A. "Experiences of ILEC-PEAEL Project in Argentina", en "Guidelines of Lake Management: A focus on Lakes/Rivers in Environmental Education", pp. 63 a 67, Environment Agency, Government of Japan, Tokio, Japón, 1998.
45. Menéndez, A. "La comprensión de la fenomenología de las inundaciones como requisito para su control", Revista INA, Año II, diciembre, pp. 25-28, 1998.
46. Moreno, Ana Rosa. "Agua, Cambio Climático y sus Efectos en Salud Humana", México, Simposio Agua, Clima y Salud.
47. Murillo, J. A. "The scourge of scour, Civil Engineering", pp. 66-68, New York, 1987.
48. OMS/UNICEF: Organización Mundial de la Salud y Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. "Programa Conjunto de Monitoreo de Provisión de Agua y Saneamiento. Progresos en materia de agua y saneamiento: Enfoque especial en el saneamiento", Ginebra, 2008.
49. ONU. "El agua, una responsabilidad compartida", Segundo informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, 2006.
50. Ordoqui Urcelay, M. B. "Servicios de agua potable y alcantarillado en la ciudad de Buenos Aires, Argentina: factores determinantes de la sustentabilidad y el desempeño", Serie Recursos Naturales e Infraestructura 126, CEPAL, Santiago, 2007.
51. Organización de la Naciones Unidas. Declaración de Río Cumbre Mundial, 1992.
52. Paoli, C. "Inundaciones en ríos con creciente ocupación", Revista INA, Nº1, pp. 78-81, 1997.
53. PNUD. "Informe sobre Desarrollo Humano Más allá de la escasez: Poder, pobreza y la crisis mundial del agua", publicado para el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2006.
54. PNUMA. "Perspectiva mundial del medio ambiente 2000 recursos hídricos", Nairoby, Kenia, 1999.
55. Prüss-Üstün A., Bos R., Gore F., Bartram J. "Safer water, better health: costs, benefits and sustainability of interventions to protect and promote health", World Health Organization, Geneva, 2008.
56. RAMSAR. "Disponibilidad del agua", 2008.
57. Repetto, R. "Skimming the water: rent-seeking and the performance of public irrigation systems", Research Report, No 4, 1986.
58. Revista Hydria. "Arsénico. Desafíos sanitarios por un contaminante natural", Nº1, 2008.
59. Revista INA. "Inundaciones en ríos con creciente ocupación", Nº1, pág. 78-81. Paoli, C.. 1997
60. Sachs, Jeffrey. "Economía para un planeta abarrotado". Editorial Sudamericana. Buenos Aires, Argentina. 2008.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

61. Schneier-Madanes, G. "L'eau mondialisée: la gouvernance en question", La Découverte, París, 2010.
62. Segundo informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. "El agua, una responsabilidad compartida", 2006.
63. Triano, María Soledad. "Mapa de Población con déficit sanitario de la República Argentina, 2001", FLACSO/CEDES, 2006.
64. Tribunal Latinoamericano del Agua 2009.
65. Tundisi, J. G. y Matsumara Tundisi, T. "A Água", p. 106, Sao Paulo, Brasil, 2005.
66. PNUMA. "Perspectiva mundial del medio ambiente 2000 recursos hídricos", Nairoby, Kenia, 1999.
67. UNESCO. "2003, año internacional del agua dulce", 2003.
68. UNESCO. "Agua para el futuro: ¿Cuáles son las tendencias?", 2003.
69. UNESCO. "Engineering: Issues, Challenges and Oportunities for Development" Report published by UNESCO, Paris, France, 2010.
70. Zorrilla, S. "Lineamientos para la estrategia de apoyo al sector Agua potable y saneamiento", CETI-BID, 2008.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Vista de la cordillera de los Andes desde el Lago Titicaca, Bolivia



Los recursos hídricos en Bolivia

Un punto de vista estratégico sobre la problemática de las aguas transfronterizas

Fernando Urquidi Barrau, Ph. D.
Academia Nacional de Ciencias de Bolivia

ACCESO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

1. Introducción

En el ámbito internacional, la escasez de agua dulce (agua azul) ocupa el primer lugar en la lista de las amenazas que afectarán a la humanidad en el siglo XXI. El agua dulce se ha convertido en un recurso natural cada vez más escaso y vulnerable. Los cambios climáticos globales están causando deshielos de las nieves cordilleranas y de los hielos polares y alterando los ciclos hidrológicos locales y regionales. A nivel mundial, estos cambios han ocasionado un desequilibrio entre la sobreabundancia y la escasez del recurso hídrico de muy difícil manejo y solución. Esta dramática situación ha sido empeorada por la mala administración y la gestión irracional del hombre sobre los recursos naturales, incluida el agua.

Situada en la posición 20 entre los países con mayor disponibilidad de agua en el mundo, Bolivia tiene una gran disponibilidad de agua dulce. Asimismo, Bolivia es, en América Latina, uno de los países de mayor oferta de agua dulce por habitante, aproximadamente 50,000 m^3/hab./año. Sin embargo, su potencial hídrico en sus cuatro macrocuencas, tanto superficial como subterráneo, no ha sido completamente determinado ni explorado. La distribución espacial y temporal de este importante recurso no es homogénea en todo el territorio nacional. Existen zonas donde se halla una mayor disponibilidad de agua, con altas precipitaciones anuales, pero en casi la mitad del territorio este recurso es escaso y existe un déficit hídrico.

Adicionalmente, cada año el país es azotado por sequías, granizos, inundaciones y otros fenómenos climáticos que en muchos casos son impredecibles y agravados por fenómenos como El Niño y La Niña.

Bolivia es un país mediterráneo con una superficie de 1,098,581 km² y algo más de 9 millones de habitantes. Tiene 6,918 km de fronteras internacionales con cinco países limítrofes: el limite fronterizo con Brasil es de 3,424km de longitud; con Paraguay es de 741 km; con Argentina es de 773 km; con Chile es de 850 km, y con Perú es de 1,131 km. De ellos, 3,442 km (49.8% del total) son límites arcifinios acuáticos, fluviales o lacustres (Montes de Oca, 2005). Por esta extensa frontera acuática, los cuestionamientos sobre el derecho y uso del agua contigua y compartida son inevitables y dan lugar a una problemática de agua transfronteriza que requiere una permanente gestión y vigilancia para que exista una pronta solución a cualquier controversia o litigio.

Por ejemplo, la macrocuenca del río Amazonas ocupa 65.9% del territorio nacional y tiene una frontera de 2,464km, o sea, 35.6% del total de las fronteras internacionales. Cerca de 85% de esta frontera es un límite fronterizo arcifinio acuático con ríos de cursos contiguos. Se estima que alrededor de 70% de esta periferia fronteriza está prácticamente abandonada con escasísima población boliviana. Las ciudades de Cobija (38,000 habitantes), a orillas del río Acre, y Guayaramerín (47,000 habitantes), en las orillas del río Mamoré (río Madera), son los mayores centros poblaciones sobre este extenso límite acuático fronterizo.

Bolivia es simultáneamente un país de aguas arriba y de aguas abajo. Como país aguas arriba, sus aguas escurren hacia los países vecinos a través de las macrocuencas del río Amazonas (Brasil), del Río de la Plata (Argentina y Paraguay) y del Océano Pacífico (Chile). También recibe aguas abajo en la macrocuenca del Altiplano o endorreica, específicamente en el lago Titicaca (Perú) y los ríos Mauri (Maure en Perú) y Lauca (Chile), y en la macrocuenca amazónica, a través del río Madre de Dios (Perú). Por eso, lo que se decida sobre aguas arriba tendrá una incidencia directa en el momento que se negocie aguas abajo. Además, el continuo incremento de la demanda del recurso hídrico, especialmente en la industria minera, la agricultura e hidroenergética de los países vecinos, está causando conflictos hídricos transfronterizos.

Los recursos hídricos transfronterizos deben ser analizados desde varias perspectivas, incluidos los aspectos científico-técnico, jurídico, institucional y social. Asimismo, requiere un mayor involucramiento de los actores sociales en ambos lados de las fronteras. Desde la perspectiva científica-técnica, el país necesita un mayor conocimiento no sólo de las cuatro grandes cuencas hidrográficas nacionales, sino también de las que comparte con los países vecinos, tanto de aguas superficiales como subterráneas. Adicionalmente, el Gobierno y el Estado Boliviano tienen una escasa capacidad económica para solventar estudios científicos y tecnológicos para conocer en detalle las características físicas y químicas y los caudales de los recursos hídricos que se tienen en las fronteras. Sin embargo, esta perspectiva científica-técnica, con obvias limitaciones, es el tema principal de este trabajo sobre la problemática de las aguas transfronterizas bolivianas.

En el plano jurídico, el país tiene que considerar la nueva Constitución Política del Estado, promulgada el 7 de febrero de 2009, y la necesidad de analizar y promulgar leyes complementarias que regulen racionalmente los recursos hídricos. Estas nuevas leyes deben reemplazar la obsoleta Ley de Aguas del 26 de octubre de 1906 y compatibilizar los actuales y futuros tratados bilaterales y subregionales en esta materia. Del punto de vista institucional, se deben adecuar a las nuevas estructuras ejecutivas e instancias legislativas plurinacionales con las entidades internacionales y las comisiones bilaterales o trilaterales de los que el país forma parte.

Las actuales políticas gubernamentales expresadas en los Artículos 373 al 377 de la nueva Constitución Política del Estado consideran que el agua es un derecho fundamental para la vida, para la soberanía del pueblo, y tiene que ser utilizada de acuerdo con usos y costumbres ancestrales y originarias. Los recursos hídricos en todos sus estados, incluidas las aguas superficiales y subterráneas, son recursos finitos, vulnerables, estratégicos y cumplen una función social, cultural y ambiental. Estos recursos no podrán ser objeto de apropiaciones privadas, y tanto ellos como sus servicios no serán concesionados y estarán sujetos a un régimen conforme a ley (ley que deberá ser propuesta y promulgada en los próximos años para reemplazar la actual Ley de Aguas de 1906). En resumen, el agua no puede ser considerada como un bien comercial. Sin embargo, el crecimiento acelerado de la población urbana (65% de la población) y el de ciertas industrias han causado una alta sobredemanda de agua potable y sus servicios. Por lo tanto, esta disyuntiva es difícil de solucionar en un futuro cercano si el agua no se considera, de alguna forma, como un bien comercial.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Respecto a las relaciones internacionales con los países limítrofes, se debe cumplir en especial con el Artículo 377 de la nueva Constitución Política del Estado, el cual estipula que el Estado resguardará en forma permanente las aguas fronterizas y transfronterizas para conservar la riqueza hídrica que contribuirá a la integración de los pueblos.

Se debe resaltar que Bolivia es signataria del Acta de Montevideo de 1933 que se refiere al uso industrial y agrícola de los ríos internacionales. Es también signataria del documento Las Reglas de Helsinki de 1966 y del Convenio de Ramsar, o Convención relativa a los Humedales de Importancia Internacional, puesto en vigor desde 1975. Sin embargo, Bolivia no es signataria de las dos convenciones más importantes sobre aguas superficiales y sobre aguas subterráneas existentes. La primera, la Convención de Naciones Unidas sobre el Derecho de los Usos de los Cursos de Agua Internacionales para Fines Distintos a la Navegación (1977), que no ha sido suscrita por Bolivia, y la segunda, la Convención sobre Acuíferos Transfronterizos, que continúa en discusión y no ha sido aún aprobada ni implementada.

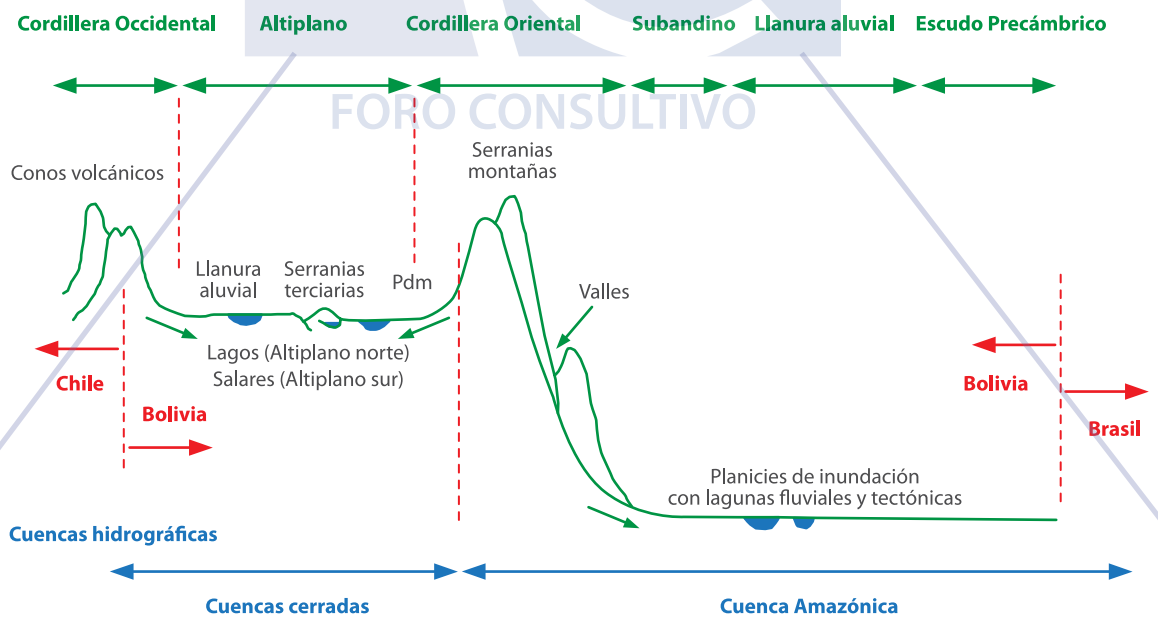
La problemática fronteriza de las aguas superficiales y subterráneas de Bolivia es de larga duración, desde la fundación de la república en 1825. Esta problemática debería ser encarada con estudios bilaterales conjuntos en cada caso específico y las respuestas políticas deberían ser totalmente coherentes con ellos.

Las acciones públicas que se tomen con relación al agua deberán ser garantizadas por los actores políticos y privados y por los movimientos sociales. Los recursos hídricos constituyen un elemento frágil y de alto contenido político y social, en parte porque la población rural campesina boliviana (35% de la población) considera el agua como un obsequio divino irrestricto (lluvia). El énfasis social y económico deberá ser analizado en una forma balanceada, justa e imparcial para sacar el mejor provecho de los recursos hídricos para todo el país en su conjunto.

El agua tiene un valor estratégico para el futuro de Bolivia y, por ello, los recursos hídricos deben ser un instrumento de poder y de negociación en las relaciones con los países vecinos. Los acuerdos bilaterales, trilaterales y subregionales que Bolivia ha suscrito en las últimas décadas deben servir de base y ejemplo para las futuras negociaciones. Estas negociaciones deben continuar con un fuerte énfasis medioambiental y servir para un desarrollo sostenible para las regiones y municipios del país involucrados o afectados en los mismos. El agua debe contribuir a la lucha de Bolivia contra la pobreza y la marginalidad. En síntesis, el agua no sólo en cantidad, sino en calidad, debe contribuir efectivamente al desarrollo y crecimiento sostenible del país.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 1. Perfil fisiográfico de Bolivia que incluye provincias fisiográficas y cuencas hidrográficas



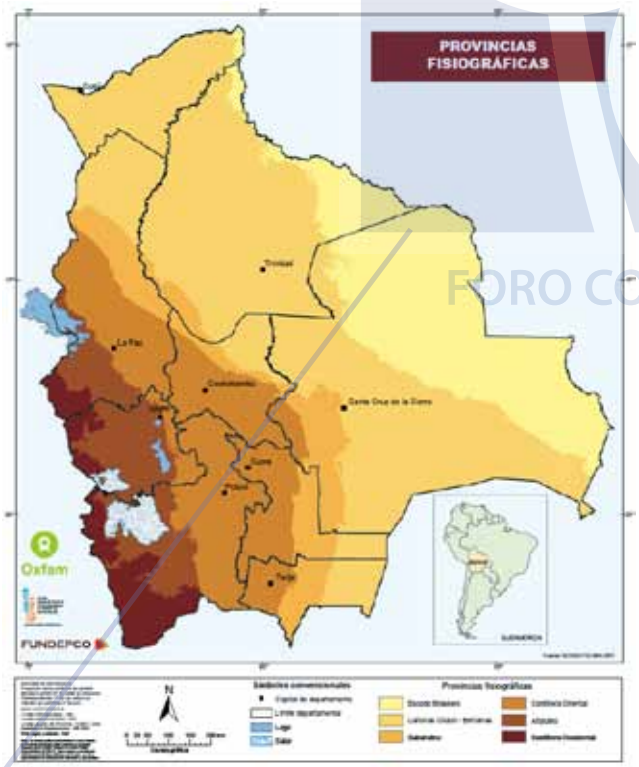
2. Disponibilidad de agua en Bolivia

Para exponer el aspecto científico-técnico estratégico sobre la problemática de las aguas transfronterizas de Bolivia, es primero necesario realizar una breve descripción de los recursos hídricos con los que cuenta el país, así como describir los marcos geográficos referenciales utilizados y la relación de los mismos con los países vecinos. Asimismo, es importante definir bien las unidades más adecuadas para el manejo y gestión de los recursos hídricos dentro de los marcos hidrográficos existentes.

2.1 Hidrografía de Bolivia

El panorama hidrográfico de Bolivia está constituido por dos unidades mayores y siete provincias fisiográficas. El occidente del país está conformado por la cordillera de los Andes Centrales (38% del territorio) y el resto del país por las llanuras bajas o planicies aluviales amazónicas y chaqueñas (62% del territorio). El bloque andino se conforma por dos cordilleras: la Cordillera Occidental (o volcánica) y la Cordillera Oriental. Entre ambas cordilleras se encuentra el Altiplano Boliviano, una planicie con un promedio de 4,000 metros de altura. Al este de la Cordillera Oriental se sitúan las Sierras Subandinas y los Valles. En la zona oriental y nordeste del país se encuentran los llanos aluviales amazónicos sobre el Escudo Brasilero, y en el sudeste la llanura chaqueña conocida como el Chaco Boliviano. Las provincias fisiográficas que se presentan en la Figura 1 y en el Mapa 1 están subdivididas en subunidades, las cuales son un resumen de manera generalizada de las características del relieve y la geología del territorio.

Mapa 1. Provincias Fisiográficas



Fuente: Atlas de amenazas, vulnerabilidades y riesgos de Bolivia, 2008

2.2 Condiciones climáticas

La disponibilidad de agua en Bolivia está directamente relacionada con su posición geográfica en la zona ecuatorial septentrional y con las condiciones climáticas existentes en las diferentes unidades hidrográficas. Estas unidades hidrográficas son influenciadas por fenómenos macroclimáticos, climáticos locales y microclimáticos. Las condiciones macroclimáticas se caracterizan por la marcada estacionalidad de las precipitaciones pluviales. En todo el país, el régimen de lluvias es de tipo tropical con un máximo de lluvias en los meses más cálidos del año. Bolivia está situada entre dos fajas atmosféricas zonales: la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y el Cinturón Subtropical de altas presiones permanentes del hemisferio sur. Este mecanismo climático global está influenciado por las advecciones frontales frías del Polo Sur (surazos) y las variaciones térmicas del Océano Pacífico oriental conocidas como los fenómenos de El Niño y de La Niña.

De las 855 estaciones meteorológicas existentes en el país, 496 se encuentran ubicadas en la vertiente amazónica, 142 en la vertiente endorreica y 217 en la vertiente del Río De La Plata. En la vertiente del Pacífico se tenía una sola estación meteorológica en la población de Laguna Colorada que operó por 13 años (1985-1997).

De acuerdo con Montes de Oca (2005), la distribución de las temperaturas medias en el país es una función de las altitudes; varía anualmente desde cerca de 25°C en los llanos, hasta 18°C en los valles y 10°C en el altiplano. La amplitud térmica anual tiene poco cambio, ya que la duración del día y el ángulo de los rayos solares son casi similares entre el invierno y el verano. Las temperaturas medias más bajas tienen lugar en junio y julio, en pleno invierno, al fin de la noche.

Los mecanismos generales del clima son modificados notablemente por fenómenos locales y microclimáticos, como la orientación de las cordilleras, la presencia de la-

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

gos, la cobertura vegetal, etc., que afectan las temperaturas y las precipitaciones pluviales.

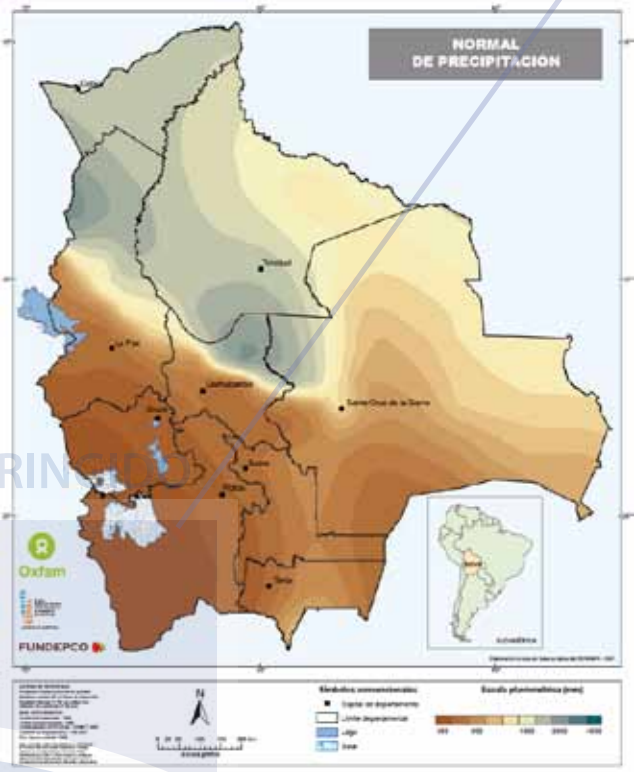
En todo el territorio nacional se presentan dos períodos de precipitaciones pluviales, uno más lluvioso durante el verano (debido al descenso de la zona de convergencia intertropical), y otro con precipitaciones menores en el invierno (la dislocación hacia el norte de la zona de convergencia intertropical que ocasiona un movimiento de aire seco y estable). La estación lluviosa se concentra en el verano, que generalmente inicia en diciembre y concluye en marzo, con un máximo en enero y con un segundo lugar en febrero. De 60 a 80% de las precipitaciones ocurren durante estos cuatro meses. La estación seca es en invierno, con un mínimo de mayo a agosto. Hay dos períodos de transición que separan estas dos épocas, uno en abril y otro de septiembre a octubre.

En el Mapa 2 de Normal Precipitación se observa que el sudoeste del país es la región más seca con menos de 100 mm de lluvia al año (mm/año). El Altiplano Boliviano es seco con una precipitación entre 100 y 350 mm/año. La Cordillera Occidental recibe precipitaciones entre 350 y 500 mm/año. La zona aledaña al lago Titicaca recibe excepcionalmente entre 500 y 700 mm/año. La cantidad de lluvia aumenta hacia el oriente del país con valores hasta de 1,800 mm/año. En el norte del país, la región amazónica (Pando), la precipitación alcanza valores de 2,220 mm/año. El Chapare (Cochabamba) y la región fronteriza con Maldonado (Perú) son las zonas con mayor precipitación en el país sobrepasando valores de 4,500 mm/año.

En el conjunto total de las cuencas de Bolivia, la precipitación media ha sido estimada en 1,419 mm/año. Las cuatro macrocuencas del país muestran importantes diferencias en cuanto a su pluviosidad media. La macrocuenca amazónica recibe 1,814 mm/año, mientras que en la del Río De La Plata se precipitan 854 mm/año. La macrocuenca endorreica o del Altiplano recibe 421 mm/año. La cuenca amazónica recibe el doble de precipitación que la del Río De La Plata y cuatro veces más que la del Altiplano (Balance Hídrico de Bolivia, 1990). En cambio, la precipitación en la macrocuenca del Pacífico es mínima: en el período 1983-1995 tuvo un promedio anual de 59.1 mm (Urquidi, 2002a).

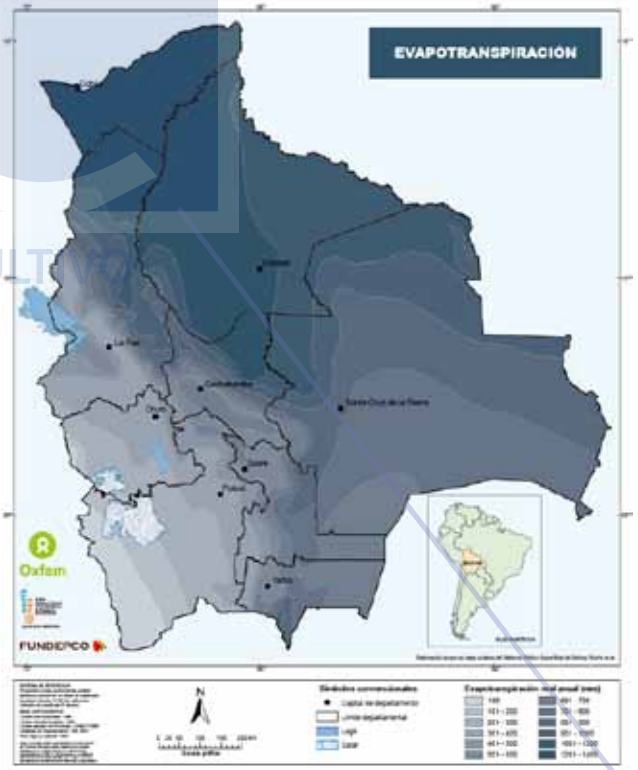
Los caudales anuales de los principales ríos tienen importantes variaciones que dependen de las alteraciones de los parámetros climatológicos. Además, los cambios climáticos influyen en los niveles de evapotranspiración, escurrimiento y caudal específico (Mapas 3 a 5). La utilidad de la

Mapa 2. Mapa de Normal Precipitación



Fuente: Atlas de amenazas, vulnerabilidades y riesgos de Bolivia, 2008

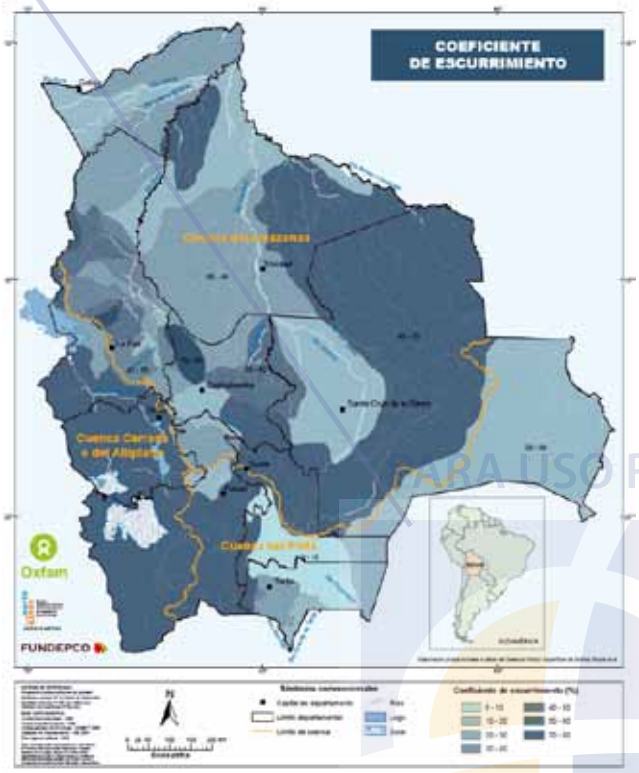
Mapa 3. Evapotranspiración



Fuente: Atlas de amenazas, vulnerabilidades y riesgos de Bolivia, 2008

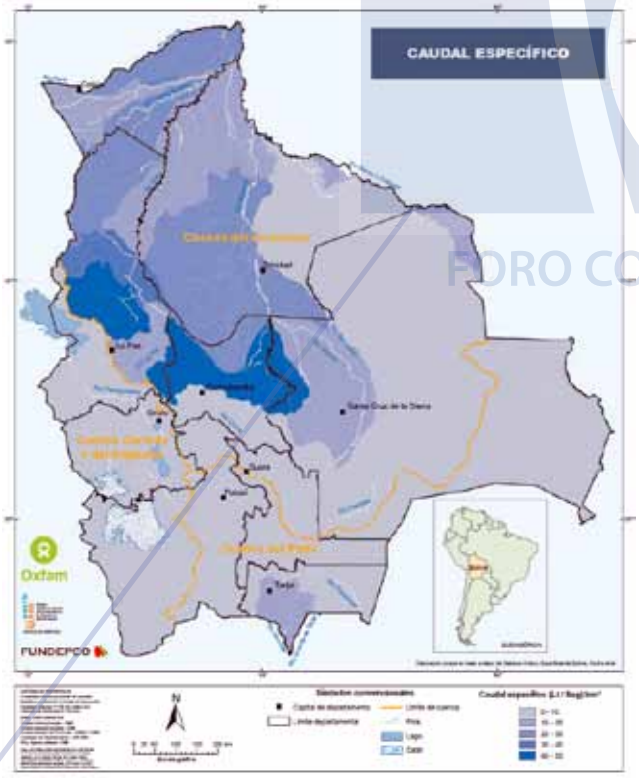
PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Mapa 4. Coeficiente de Escurrimiento



Fuente: Atlas de amenazas, vulnerabilidades y riesgos de Bolivia, 2008

Mapa 5. Caudal Específico



Fuente: Atlas de amenazas, vulnerabilidades y riesgos de Bolivia, 2008

evapotranspiración real anual mostrada en el Mapa 3 es la de un indicador de aridez de las distintas regiones del país. Como era de esperar, es casi concordante con el Mapa 2 de Normal Precipitación, con las regiones de la Cordillera Occidental y el Altiplano Boliviano como las más áridas del país y los llanos orientales cubiertos con un contenido alto de vegetación como las más húmedas y con los valores más altos de evapotranspiración.

El coeficiente de escurrimiento, que es la relación entre la lámina de agua precipitada sobre una superficie y la lámina de agua que escurre superficialmente, es presentado en el Mapa 4. Si bien la escorrentía se manifiesta en magnitudes importantes en la zona de llanura de la cuenca amazónica, ella resulta negativa cuando se producen las inundaciones que suceden anualmente y que afectan de manera nociva la actividad productiva y la infraestructura vial y urbana.

El Mapa 5 muestra el caudal específico y la comparación entre los comportamientos de las diferentes cuencas de Bolivia. Permite evaluar aproximadamente sus valores, a partir de datos estadísticos en una sección aforada, y la capacidad de aporte en secciones no aforadas de la misma cuenca o en otras similares en proporción a sus áreas. El mapa de caudal específico, que es la cantidad de agua derivada por unidad de superficie de una cuenca y en un intervalo de tiempo dado, muestra que las regiones con las mayores precipitaciones, al oeste de la Cordillera Oriental norte y central (regiones de los Yungas y del Chaparé), están cubiertas con los valores más altos (40 a 50 l/s/km^{-2}); que todas las cuencas de la macrocuenca amazónica están cubiertas con valores de 10 a 20 l/s/km^{-2} hasta 30 a 40 l/s/km^{-2}; que la cuenca del río Bermejo está cubierta con valores de 10 a 20 l/s/km^{-2}, y que las cuencas del resto del país están cubiertas con valores de 0 a 10 l/s/km^{-2}.

3. Disponibilidad de aguas superficiales

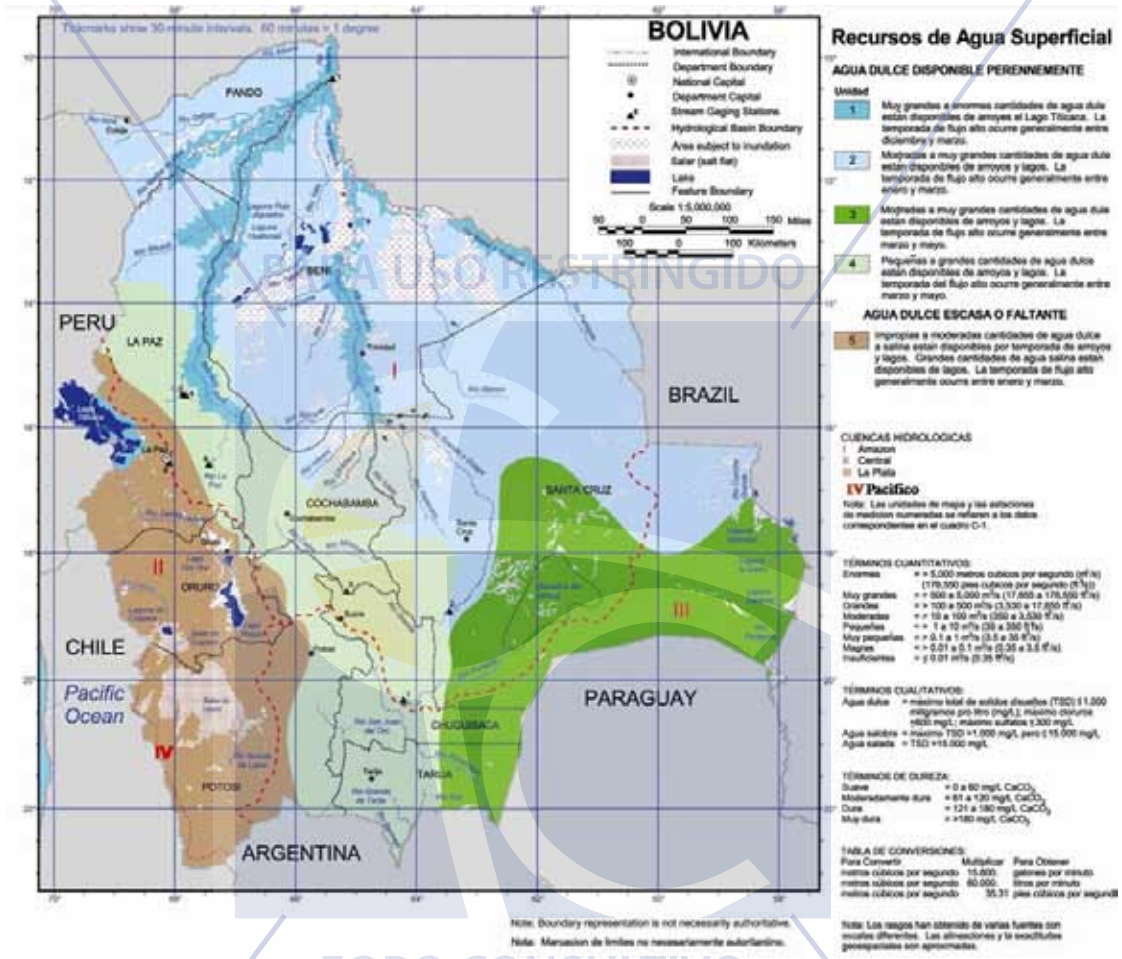
En el territorio de Bolivia, las aguas superficiales se escurren a través de un complejo sistema de ríos, lagos, lagunas, humedales y otros cuerpos de agua. Los recursos hídricos superficiales de una determinada región provienen de la precipitación pluvial en su cuenca de alimentación y de los manantiales (descarga de agua subterránea). Montes de Oca (2005) describió detalladamente las cuencas de aguas superficiales de Bolivia, incluyendo los caudales de algunos ríos.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

El Mapa 6 y el Cuadro 1 muestran la abundancia regional del agua dulce disponible en el territorio boliviano, el cual ha sido dividido en dos áreas, la de agua dulce disponible perennemente y otra de agua dulce escasa o faltante.

A escala nacional, se estima la oferta de agua (agua azul) en más de 500,000 Mm³/año y la demanda actual es alrededor de 2,000 Mm³/año, es decir, menos de 0.5% de la oferta total. Se estima que la demanda de agua nacional

Mapa 6. Recursos de agua superficial



Cuadro 1. Unidades de agua dulce disponible

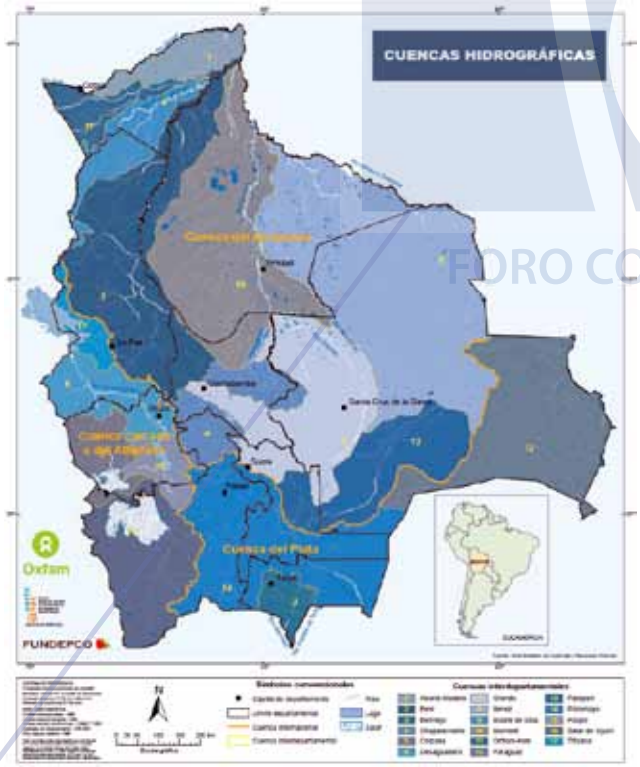
Sector	Unidad	Descripción
Agua dulce disponible perennemente	1	Varias cuencas de la macrocuenca del río Amazonas con grandes (>100 m³/seg a 500 m³/seg) a enormes (>5,000 m³/seg) cantidades de agua. La temporada de flujo alto ocurre generalmente entre diciembre y marzo.
	2	Macrocuenca del río Amazonas con moderadas (>10 m³/seg a 100 m³/seg) a muy grandes (>500 a 5,000 m³/seg) cantidades de agua. La temporada de flujo alto ocurre generalmente entre enero y marzo.
	3	Sur de la macrocuenca mazónica y aguas abajo de la macrocuenca De La Plata con moderadas (>10 m³/seg a 100 m³/seg) a muy grandes (>500 a 5,000 m³/seg) cantidades de agua. La temporada de flujo alto ocurre generalmente entre marzo y mayo.
	4	Cabeceras de las macrocuencas del Amazonas y del río De La Plata con pequeñas (>1 m³/seg a 10 m³/seg) a grandes (>100 a 500 m³/seg) cantidades de agua. La temporada de flujo alto ocurre generalmente entre marzo y mayo.
Agua dulce escasa o faltante	5	Toda la macrocuenca del Altiplano con moderadas (>10 m³/seg a 100 m³/seg) a muy grandes (>500 a 5,000 m³/seg) cantidades de agua. Grandes cantidades de agua salina disponible. La temporada de flujo alto ocurre generalmente entre enero y marzo.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Mapa 7. Hidrografía

Fuente: Atlas de amenazas, vulnerabilidades y riesgos de Bolivia, 2008

Mapa 8. Cuencas hidrográficas



Fuente: Atlas de amenazas, vulnerabilidades y riesgos de Bolivia, 2008

crecerá en 18% hasta el año 2012. Esta relativa abundancia de agua es una gran ventaja comparativa para el país con relación a los países limítrofes. Sin embargo, la variabilidad espacial y temporal de las condiciones climáticas, descritas anteriormente, es elevada y con frecuentes sucesos hidrológicos y meteorológicos extremos, como lluvias intensas, sequías, granizadas, nevadas, heladas, etc.

Asimismo, los mayores asentamientos humanos y sus actividades productivas están concentrados en las regiones de menor precipitación pluvial del país, lo que, paradójicamente, genera escasez crónica de agua en varias áreas, problema que es agravado por la falta de obras de regulación plurianual. La cabecera de las cuatro macrocuencas del país está en la región occidental o andina (38% del territorio nacional), donde llueve menos y donde vive alrededor de 70% de la población nacional.

Bolivia cuenta con 260 humedales inventariados, de los cuales ocho son sitios Ramsar. Este tema debe ser enfrentado en un futuro cercano con prioridad y de manera ordenada. Alrededor de 20% del territorio nacional está protegido ecológicamente, ya sea por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas o por la protección o servidumbres ecológicas contempladas en la Ley Forestal.

3.1 Cuencas hidrográficas de Bolivia

Las cuencas hidrográficas son consideradas como las unidades más adecuadas para la gestión de los recursos hídricos. Dividir el país en macrocuencas (grandes cuencas), cuencas, subcuencas y microcuencas es un paso hacia un ordenamiento más racional del agua. En el año 2007, el entonces Ministerio del Agua propuso el Plan Nacional de Cuencas para "un desarrollo de la transversal cultural en cuencas como espacios de vida e innovación de la gobernabilidad hídrica" (Plan Nacional de Cuencas, 2007).

Roche *et al.* (1992) fueron los primeros en proponer una división del país en tres grandes cuencas hidrográficas que fue adoptada por el Instituto Geográfico Militar (IGM) en 1998. El MAGDR-PRONAR (2001) también propuso una división en tres grandes cuencas (del Amazonas, De La Plata y Endorreica), 10 cuencas y 36 subcuencas. Sin embargo, el presente trabajo propone cuatro grandes cuencas hidrográficas: 1) la macrocuenca del Amazonas (65.9% del territorio nacional), 2) la macrocuenca del Río De La Plata (20.9% del territorio), 3) la macrocuenca Endorreica o Cerrada del Altiplano (11.4% del territorio) y 4) la macrocuenca del Océano Pacífico (1.8% del territorio). La propuesta de incluir la macrocuenca del Océano Pacífico se basa en los

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 2. Macrocuencas, cuencas y subcuencas de Bolivia

Macrocuencas	Cuencas	Subcuencas y cuencas menores*
Amazonas (724,000 km^2)	Acre (2,340 km^2)	
	Abuna (25,136 km^2)	Manú Madera
	Beni (169,946 km^2)	Orthon Madre de Dios (*Manuripi/*Manurimi) Madidi Tuichi Kaka Boopi Biata Quiquibey Colorado
	Mamoré (261,315 km^2)	Yata Rapulo Apere Isiboro Ibare Río Grande (*Yapacani)
	Iténez (265,263 km^2)	Itonomas Blanco (*San Martín) Paragua7 San Miguelito
De La Plata (229,500 km^2)	Pilcomayo-Bermejo (100 300 km^2)	Bermejo Tarija Pilcomayo Pilaya-Tumusla (*San Juan del Oro/*Cotagaita)
	Ríos muertos del Chaco (32,100 km^2)	
	Alto Paraguay (97,100 km^2)	Bahía Caceres Pantanal (Curiche Grande) Otuquis río Negro
Endorreica o Altiplánica (125,733 km^2)	Lagos (45,948 km^2)	Titicaca Desaguadero Mauri Caracollo Márquez Poopó
	Salares (79,785 km^2)	Río Grande de Lípez Puca Mayu Lauca (*Turco) Barras
Océano Pacífico (19,348 km^2)	Norte (4,890 km^2)	Carangas–Todos Santos Pisiga Cancosa
	Sur (14,458 km^2)	Salar de Empexa Salar de Laguáni Salar de Chiguana Cañapa Pastos Grandes Salar de Chalviri Laguna Verde Zapaleri Manantiales del Silala (**)

Nota: (**) No es subcuenca hidrográfica

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

últimos estudios de los recursos hídricos existentes en la frontera entre Bolivia y Chile. El Cuadro 2 y el Mapa 8 muestran las cuatro macrocuencas o grandes cuencas, 12 cuencas y 53 subcuencas y cuencas menores.

Todas las macrocuencas de Bolivia son transfronterizas, por lo que es relevante considerar el carácter compartido de las aguas. En la mayoría de los casos, Bolivia se ubica en las partes altas o cabeceras de las macrocuencas y los países vecinos en las partes medias y bajas. En ese marco, se ha avanzado en procesos de gestión compartida de los recursos hídricos, y el ejemplo más relevante es la cuenca transfronteriza binacional del lago Titicaca, donde se ha avanzado más "jurídicamente" en este concepto. Las aguas de la cuenca del lago Titicaca están bajo el régimen de condominio, es decir, que cualquier acción en la cuenca por parte de Bolivia o del Perú debe ser consultada y acordada entre ambos países.

Debido a la irregular distribución de las precipitaciones pluviales, y en función de la magnitud de las cuencas receptoras, se puede indicar que la macrocuenca del Amazonas tiene la mayor disponibilidad de aguas superficiales, y la macrocuenca del Océano Pacífico la menor. Se estima que por la macrocuenca del Amazonas fluyen 180,000 millones de metros cúbicos al año (Mm^3/año), por la macrocuenca del Plata 22,000 Mm^3/año, y por la macrocuenca Cerrada o Endorreica cerca de 1,650 Mm^3/año (Montes de Oca, 2005). En contraste, se estima que por la macrocuenca del Océano Pacífico fluyen de 10 a 12 Mm^3/año. El Cuadro 3 presenta el balance hídrico de algunas cuencas hidrográficas del país.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 3. Balance hídrico de algunas cuencas de Bolivia

Cuenca	Estación	Área (Km^2)	Precipitación (mm)	Evapotranspiración (mm)	Escurrimiento (mm)	Infiltración (mm)
		Macrocuenca del Amazonas				
Parapeti	Andes bolivianos	7,500	920	600	320	-
Izozog	Llanura	45,000	887	875	12	57
Parapeti+Izozog	Total	52,500	892	836	56	49
Alto Beni	Confluencia río Kaka	31,240	1,385	741	644	-
Kaka	Confluencia río Alto Beni	21,040	1,586	777	809	-
Beni	Confluencia río Madre de Dios	122,380	1,805	1,092	713	-
Madre de Dios	Confluencia río Beni	125,000	2,715	1,107	1 607	-
Mamoré	Confluencia río Iténez	222,070	1,685	1,060	625	-
Iténez	Confluencia río Mamoré	303,280	1,512	1,227	285	-
Mamoré+Iténez	Confluencia río Mamoré-Iténez	525,350	1,585	1,156	429	-
Madera (Total)	Salida de Bolivia	724,000	1,818	1,170	648	-
		Macrocuenca Endorreica del Altiplano Boliviano				
Lago Titicaca	Orilla del Lago	48,590	653	470	183	-
Lago Poopó	Orilla del Lago	27,740	370	438	0	
Salar Coipasa	Orilla	30,170	298	298	0	-
Salar Uyuni	Orilla	46,625	190	190	0	-
Desaguadero	Chuquiña	29,475	414	361	53	-
Total Altiplano	Cerrada	125,733	463	390	83	9
		Macrocuenca De La Plata				
Pilcomayo	Misión La Paz	98,300	506	439	67	-
Bermejo	Juntas de San Antonio	11,981	1,159	714	418	-
Alto Paraguay	Puerto Suárez	119,219	1,056	830	226	-
Total De la Plata		229,500	829	530	299	-
		Macrocuenca del Océano Pacífico				
Manantiales Silala	Laguna Colorada	150	59	914	0	14
Total Pacífico		19,348	94	630	0	-
Total nacional		**1,098,581**	**1,419**	**958**	**461**	**19**

Cuadro 4. Sistemas de riego por fuente de agua por departamento

Departamento	Ríos		Vertientes		Pozos		Embalses		Total
	Sistemas (No.)	Área (ha)	Sistemas (No.)	Área (ha)	Sistemas (No.)	Área (ha)	Sistemas (No.)	Área (ha)	Área (ha)
Chuquisaca	615	18,059	28	587			5	2,522	**21,168**
Cochabamba	415	48,979	95	3,310	469	13,442	56	21,270	**87,001**
La Paz	661	23,271	258	4,166	13	163	29	8,393	**35,993**
Oruro	224	8,513	84	722	4	107	5	4,697	**14,039**
Potosí	735	10,840	208	4,829	9	68	4	503	**16,240**
Santa Cruz	225	11,099	3	25	1	380	3	3,735	**15,239**
Tarija	523	33,771	26	230			1	2,350	**36,351**
Totales	**3,428**	**154,582**	**702**	**13,869**	**496**	**14,160**	**103**	**43,470**	**226,031**

PARA USO RESTRINGIDO

El Mapa 7 de hidrografía muestra que la macrocuenca amazónica consiste de cuatro grandes cuencas (ríos Madre de Dios, Beni, Mamoré e Iténez) que confluyen para formar el río Madeira (Brasil). El río Parapeti pertenece a la cuenca del río Iténez, con el cual se comunica en época de crecidas. En época seca, gran parte de sus aguas evapora o infiltra hacia la cuenca del río Paraguay. La macrocuenca del Río De La Plata consiste de tres cuencas en el sur del país (ríos Paraguay, Bermejo y Pilcomayo).

En adición a los ríos, el país cuenta con un alto número de lagos y lagunas. Existen seis grandes lagos con superficies mayores a los 200 km^2: Titicaca, Poopó, Uru Uru, Coipasa, Rogagua y Rogaguado. El volumen de agua embalsado de 8,966 x 1011 m^3 del lago Titicaca está determinado por la precipitación pluvial en su cuenca, que varía mucho de año tras año (Baldivieso, 2005). El régimen hidrológico del lago Poopó, por otra parte, depende de los aportes del río Desaguadero, que a su vez depende de la variación del nivel del agua del lago Titicaca.

FORO CONSULTIVO

En las macrocuencas del Altiplano y De La Plata existen innumerables lagunas de altura que son cabeceras de la mayoría de los ríos de las mismas. Estas lagunas son alimentadas por el deshielo de las ya no nieves eternas (calentamiento global) de las cumbres andinas.

3.2 Usos y calidad de los recursos hídricos

La oferta nacional de agua está estimada en más de 500,000 Mm^3/año y la demanda consuntiva actual estimada es tan sólo de 2,000 Mm^3/año. El riego para la agricultura con canales y acequias abiertas es el mayor consumidor del agua, alrededor de 94% de la demanda total. El Cuadro 4 muestra el total de área regada, las fuentes de agua y el número de sistemas por departamento.

El agua para consumo humano ocupa el segundo lugar, con una demanda estimada de 104.5 Mm^3/año. El mayor consumo de agua en las zonas urbanas es doméstico y sólo cinco de las nueve ciudades capitales de departamento cuentan con servicio de agua potable permanente las 24 horas del día. La ciudad de Cochabamba enfrenta los mayores problemas de abastecimiento de agua potable, seguida de las ciudades de Potosí, Sucre y Cobija. El Cuadro 5 muestra el tipo de fuente y caudal ofertado en las nueve capitales departamentales de Bolivia.

A pesar del notable incremento en la cobertura de servicios de agua potable en el sector urbano y rural nacional, aún 30% de la población boliviana no cuenta con agua potable. En el área rural se tienen muchas dificultades de abastecimiento de agua potable especialmente por la dispersión poblacional, la poca capacidad municipal para generar y canalizar proyectos, y la falta de interés de inversión del sector privado. En el área rural, además de tener bajos porcentajes de cobertura, en la mayoría de los casos el abastecimiento se realiza a través de fuentes públicas y no de conexiones domiciliarias, como ocurre mayormente en el área urbana.

La industria y la minería son los otros usuarios importantes de agua con 31.5 Mm^3/año, lo que equivale a 1% de la demanda total del país.

Los recursos hídricos no consuntivos están en 8,000 km de ríos navegables (vías fluviales o hidrovías), la mayoría ubicados en el sistema fluvial amazónico y la hidrovía Paraguay-Paraná.

En el sector energético, existe en el país un total de 68 centrales hidroeléctricas, desde pequeños sistemas del orden de 0.006 MW de potencia instalada, hasta sistemas de 72

MW. La capacidad instalada en centrales hidroeléctricas es de 308.4 MW, que se encuentra entre 2.8% y 1.5% de la potencia económicamente utilizable. A principios del año 2000, la Empresa Nacional de Electrificación (ENDE) inventarió otros 81 aprovechamientos hidroeléctricos con un potencial hidroeléctrico teórico nacional que alcanza los 190,000 MW de potencia instalada equivalente, un potencial técnicamente útil de 57,000 MW y una potencia técnicamente utilizable que puede encontrarse en el rango de 11,000 MW y 20,000 MW.

En cuanto a la calidad del agua, la actividad minera, la industrial y la ciudadana en las grandes ciudades originan la contaminación de cursos de agua importantes, que luego son utilizados aguas abajo principalmente en actividades agrícolas. En estos ríos, la carga contaminante es extremadamente grande, y los valores de materia orgánica están por encima de 100 mg/l. La minería genera un drenaje de ácido de rocas (DAR) con metales pesados que es difícil de controlar en los sistemas hídricos superficiales y subterráneos.

En los cursos de agua mayores de la vertiente amazónica, el deterioro de la calidad del agua se manifiesta por la elevada concentración de sedimentos, originados por los procesos de erosión laminar y movimiento de masas en las cuencas altas, así como por los altos niveles de concentración de sustancias utilizadas en la explotación aurífera. La misma situación se presenta en los ríos de la vertiente De La Plata, donde la actividad minera es predominantemente por la explotación de estaño, zinc y plomo.

4. Disponibilidad de aguas subterraneas en Bolivia

Las aguas subterráneas no siempre son tomadas en cuenta en los planes de manejo de cuencas, lo cual es extraño y nada práctico cuando se conoce que el mayor porcentaje del abastecimiento de agua potable y agua de riego en las zonas rurales y urbanas proviene de acuíferos subterráneos.

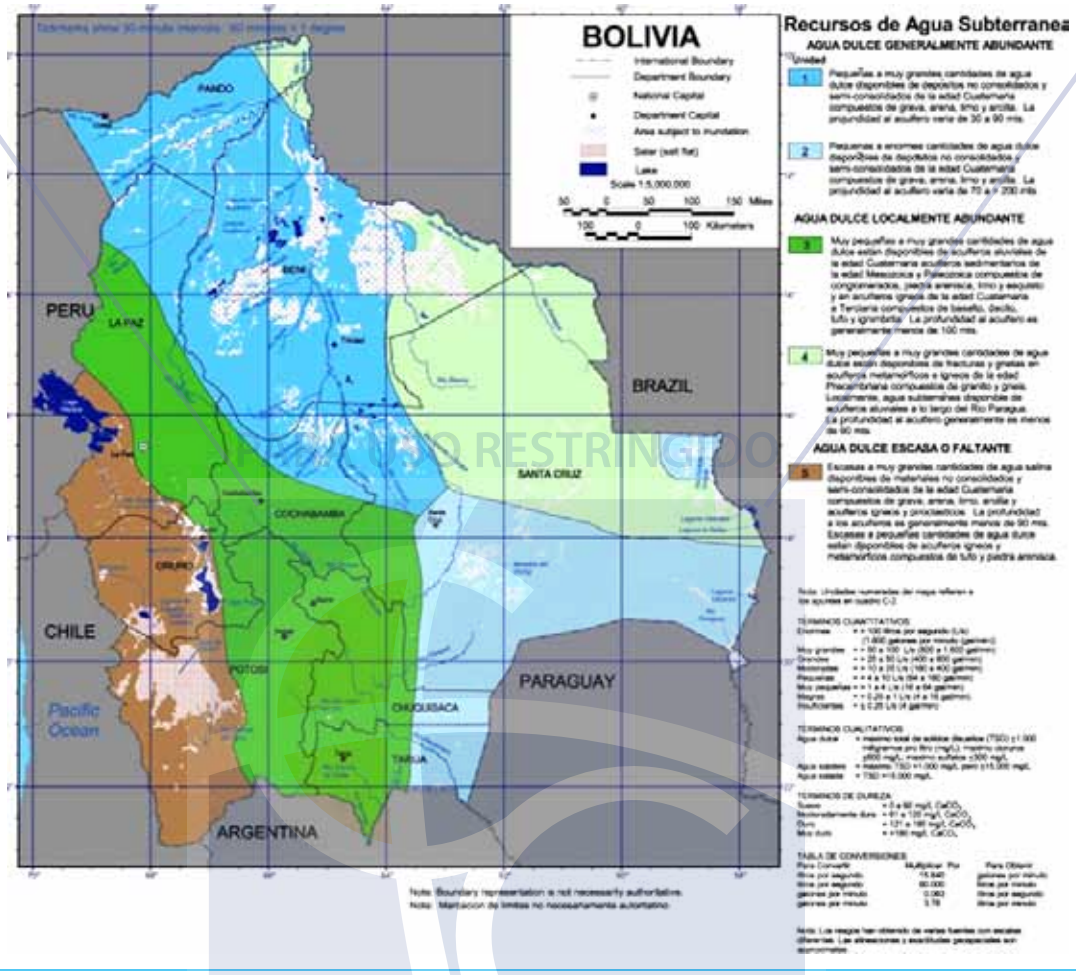
La disponibilidad de aguas subterráneas depende de varios factores, como puede ser la naturaleza de las rocas por donde fluyen los acuíferos, es decir, el tipo de roca, ya sean éstas sedimentarias o rocas ígneas efusivas altamente fracturadas. También depende de las condiciones hidrodinámicas y las condiciones de carga y recarga. La calidad de las aguas subterráneas tiene una relación directa con los volúmenes de precipitaciones de lluvia, así como con el tipo y la composición de las rocas donde se aloja o acumula el agua de lluvia o de deshielos luego de percolar hacia ellas.

Cuadro 5. Tipo de fuente y caudal ofertado en las capitales de departamento

Ciudad	Empresa	Fuente	Caudal-Q (l/s)
La Paz/El Alto	EPSAS (Empresa estatal mixta)	Ocho fuentes superficiales ubicadas en la Cordillera Real (Tuni, Condoriri, Huayna Potosí, Milluni, Choqueyapu, Incachaca, Ajan Khota, Hampaturi Bajo)	Entre 2,011 y 4,525
Santa Cruz	SAGUAPAC (Cooperativa)	Acuíferos subterráneos (Tilala) (30 pozos)	347 – 2,067
	Nueve cooperativas pequeñas		722
Cochabamba	SEMAPA (Empresa municipal)	Fuentes superficiales (Escalerani, Wara Wara, Chungara, Hierbabuenani)	Entre 191 y 404
		Acuíferos subterráneos	462
Sucre	ELAPAS (Empresa municipal)	Fuentes superficiales (sistema Cajamarca que comprende los ríos Cajamarca, Safiri y Punilla)	82
		Fuentes superficiales (sistema Ravelo que comprende los ríos Ravelo, Peras Mayum Jalaqueri, Murillo y Fisculco)	389
Oruro	SELA-Servicio Local de Acueductos y Alcantarillado (Empresa municipal)	Fuentes superficiales (ríos Sepulturas y Huayña Porto)	34
		Fuentes subterráneas (Pozos en Challa Pampa, Challa Pampita y Aeropuerto)	528
Potosí	AAPOS (Empresa municipal)	Fuentes superficiales (Lagunas Khari Khari)	195
Trinidad	COATRI (Cooperativa)	Fuentes subterráneas	118
Tarija	Cooperativa	Fuentes superficiales (ríos Rincón La Victoria, Guadalquivir, San Jacinto)	574
		Fuentes subterráneas	279
Cobija	Empresa municipal	Fuente superficial (Arroyo Bahía)	24

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Mapa 9. Recursos de agua subterránea



Existen varias otras razones por las cuales se deben considerar las aguas subterráneas en todo análisis de gestión de aguas. Una de ellas es que, en muchos casos, las aguas subterráneas y superficiales están interconectadas. Las principales zonas de recarga de los acuíferos son los humedales, los abanicos aluviales u otras zonas con suelos permeables. En la macrocuenca alta del Río de la Plata, estas infiltraciones parecen ser muy importantes (Roche *et al.*, 1992). En períodos de torrenteras, el río alimenta el acuífero, mientras que el acuífero descarga al río en épocas de estiaje. Este fenómeno ha sido observado en el Chaco Paraguayo con el acuífero Yrenda-Toba-Tarijeño. En general, en todo el territorio nacional, las zonas de descarga superficiales son cada vez más escasas, debido a que los niveles freáticos están descendiendo y las zonas de recarga están sufriendo alta contaminación. Los bofedales andinos son descargas de aguas subterráneas que no escurren, por lo que, al mantenerse, forman pastizales que son aprovechados por los auquénidos.

Los recursos hídricos subterráneos no han sido aún cuantificados a nivel nacional. Se cuenta con estudios locales muy limitados y su información técnica no está organizada ni nada sistematizada. En 1985, el Servicio Geológico de Bolivia (GEOBOL) desarrolló y publicó el Mapa Hidrogeológico Regional de Bolivia y definió en el país cinco provincias hidrogeológicas que presentan diferencias fundamentales en la conformación litológica y estructural.

El Mapa 9 de los recursos de agua subterránea muestra las cinco grandes unidades hidrogeológicas con una descripción de la abundancia existente de agua dulce en cada una de ellas.

El Cuadro 6 tiene una descripción detallada de la abundancia de agua dulce disponible en los distintos sectores y unidades mostrados en el Mapa 9 de los recursos de agua subterránea, con un detalle de los diferentes tipos de depósitos, su edad geológica y la composición de los mis-

mos. Además indica la variación de la profundidad de los acuíferos encontrados en la unidad.

Se estima que los acuíferos con mayor potencial se encuentran en las provincias hidrogeológicas de la vertiente Amazonas, del Pantanal-Chaco Boreal y del Altiplano Norte.

Un segundo grupo lo constituyen los acuíferos en rocas consolidadas altamente fisuradas de productividad mediana a alta y algunos con recursos de aguas subterráneas notables. En este grupo son consideradas algunas rocas ígneas volcánicas (ignimbritas) altamente fisuradas o diaclasadas del Neógeno Superior al Cuaternario. Este tipo de acuíferos son encontrados en la macrocuenca del Océano Pacífico, a pesar de que su distribución no es muy amplia. La ocurrencia de las vertientes o manantiales en superficie está condicionada a dos factores principales: el grado de soldadura de la ignimbrita y la presencia de fracturas regionales y locales.

5. Problemática de las aguas superficiales transfronterizas

Al ser Bolivia un país de aguas arriba y aguas abajo con caudales importantes, la problemática transfronteriza de las aguas superficiales es algo compleja y es presentada en el Mapa 10. Los detalles de la misma son resumidos en los párrafos siguientes.

5.1 Caso de los ríos Madera y Beni

La cuenca del río Madera (parte de la macrocuenca amazónica) es la mayor en importancia de todo el sistema hidrográfico nacional. Su área, que es un amplia extensión de 720,057 km², representa el 65.5% del territorio nacional y el 99.7% de la superficie de la vertiente amazónica. La forman numerosos ríos con importantes volúmenes de agua, lo que la constituye en la columna vertebral del nordeste boliviano.

El río Madera es un curso de agua internacional, de curso contiguo, puesto que sirve de límite entre las repúblicas de Brasil y Bolivia. En territorio boliviano, el río Madera se origina de la confluencia de los ríos Beni y Mamoré. Al ingresar en territorio brasileño, toma el nombre de río Madeira y se constituye en el principal afluente del río Amazonas. El río Madera no es navegable a lo largo de sus 98 km en territorio boliviano por las numerosas afloraciones rocosas (Escudo Brasileño) que se dan en su lecho denominadas "cachuelas". Sus afluentes por la margen derecha, en territorio brasileño, son los ríos Dos Araras y Ribera, y por la margen izquierda, en territorio boliviano, son los ríos Mamoré, Abuná, Arroyo La Gran Cruz y el río Beni.

Casi todos los ríos amazónicos del país sostienen un transporte fluvial importante y una pesca de subsistencia para las poblaciones ribereñas. Además, algunos ríos (Ichilo, Mamoré, Iténez, Beni, Madre de Dios) también sostienen una pesca comercial. Se han identificado un total de 389 especies piscícolas en la Amazonía Boliviana.

Cuadro 6. Unidades de agua subterránea

Sector	Unidad	Descripción
Agua dulce generalmente abundante	1	Pequeñas a muy grandes cantidades de agua dulce disponible de depósitos no consolidados y semiconsolidados de edad Cuaternaria, compuestos de grava, arena, limo y arcilla. La profundidad de los acuíferos varía de 30 a 90 m.
	2	Pequeñas a enormes cantidades de agua dulce disponible de depósitos consolidados y semiconsolidados de edad Cuaternaria, compuestos de grava, arena, limo y arcilla. La profundidad de los acuíferos varía de 70 a 200 m.
Agua dulce localmente abundante	3	Muy pequeñas a grandes cantidades de agua dulce están disponibles de acuíferos aluviales de edad Cuaternaria, acuíferos sedimentarios de edad Mesozoica y Paleozoica, compuestos de conglomerados, areniscas, limo y esquistos, y en acuíferos ígneos de edad Cuaternaria a Terciaria compuestos de basaltos, dacita, tobas e ignimbritas. La profundidad de los acuíferos es generalmente de menos de 100 m.
	4	Muy pequeña a grandes cantidades de agua dulce están disponibles en fracturas y grietas en acuíferos metamórficos a ígneos de edad Precámbrica, compuestos de granitos y gneis. Localmente, agua subterránea disponible de acuíferos aluviales a lo largo del río Paraguay. La profundidad de los acuíferos es generalmente de menos de 90 m.
Agua dulce escasa o faltante	5	Escasas a muy grandes cantidades de agua salina disponibles de materiales no consolidados y semiconsolidados de edad Cuaternaria, compuestos de grava, arena, limo, arcilla y acuíferos ígneos y piroclásticos. La profundidad de los acuíferos es generalmente de menos de 90 m. Pequeñas a muy grandes cantidades de agua dulce están disponibles de acuíferos ígneos y metamórficos compuestos de tobas y areniscas.

PARA USO INTERNO DEL FORO CONSULTIVO

Durante los años 2001 y 2002, con licencia del Gobierno del Brasil, las empresas brasileras Furnas Centrais Eléctricas SA y la Constructora Noberto Odebrecht SA realizaron un estudio del inventario hidroeléctrico del río Madera, en territorio boliviano, y del río Madeira, en territorio brasileño, y determinaron la ubicación de cuatro plantas hidroeléctricas.

En el año 2004 se concluyeron los estudios de factibilidad de las plantas, y en 2005 la empresa Leme Engenharia presentó el Estudio de Impacto Ambiental (EIA). Luego de varios cuestionamientos por agencias ambientalistas brasileras y del Gobierno de Bolivia, el EIA es aprobado en el año 2007 por el Instituto Brasilero del Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables (IBAMA). En agosto de 2008 se otorgó la licencia para la construcción del embalse de la hidroeléctrica de San Antonio en el río Madeira.

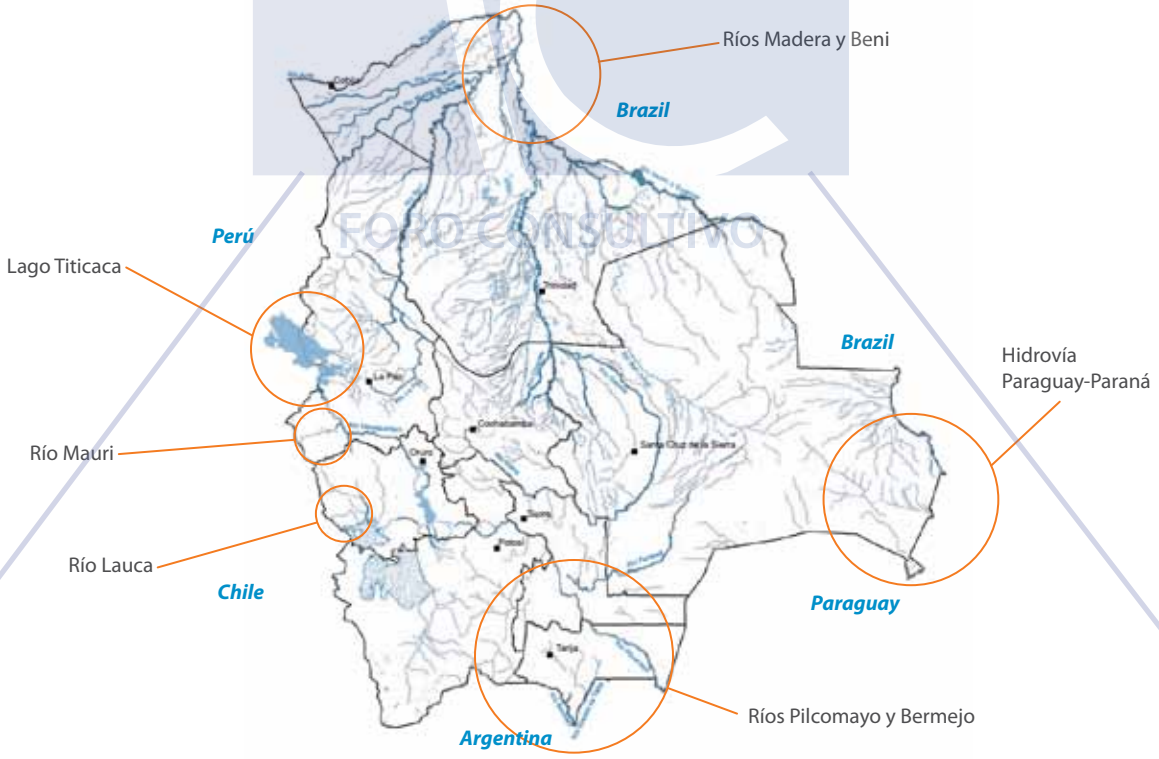
Problemática:

- Se planifica la construcción de cuatro embalses en los ríos Madeira, Madera y Beni para suministrar agua a un número similar de plantas hidroeléctricas y elevar el nivel del agua para asistir el transporte fluvial. Dos de las represas se construirían en territorio boliviano y dos en territorio brasilero. El Cuadro 7 muestra algunas características de las plantas que se tiene planeado construir.
- Estos embalses provocarían graves impactos ambientales y sociales por inundaciones extensas calculadas en más de 2.6×10^5 de km^2.
- Se programa un devastador talado de foresta amazónica para expansión de cultivos de soya con una producción estimada de 24×10^6 TM de soya por año.
- Brasil compensaría los daños ecológicos y el uso

Cuadro 7. Plantas eléctricas proyectadas

Planta hidroeléctrica	Caída (m)	Potencia instalada (MW)	Energía anual (GWh)
Santo Antonio	18	3,580	19,000
Jirau	20	3,800	20,000
Abuna-Guayaramerín	20	4,200	25,000
Esperanza	15	3,800	20,000

Mapa 10. Problemática transfronteriza de las aguas superficiales



PARA USO RESTRINGIDO
FONDO EDITORIAL

del agua con el necesario financiamiento para la pavimentación del Corredor Vial Norte La Paz-Guayaramerín-Cobija.
- Bolivia necesitaba insistir en la importancia de realizar un proceso de análisis y discusión técnica de los proyectos que se construirán en Bolivia y Brasil.
- Contaminación con mercurio metálico por operaciones mineras auríferas.

5.2 Caso del lago Titicaca

El lago Titicaca es compartido con la República Peruana y tiene una extensión de 8,030 km² con un espejo de agua a una altura promedio de 3,809 msnm. La profundidad media del lago mayor es de 135 m y del lago menor de 23 m. El volumen de agua calculado es de 8,966.3 x 10^{11} m³.

La pesca en el lago Titicaca es dirigida a la trucha y a especies nativas. En la parte boliviana del lago Titicaca las tasas de capturas alcanzan un máximo de 2,600 toneladas/año. Sin embargo, existen indicaciones de sobrepesca de las especies exóticas y hay preocupación en cuanto al futuro de la trucha y la supervivencia de algunas especies nativas. Los recursos pesqueros del lago Titicaca sostienen entre 1,500 y 3,500 pescadores del lado boliviano, ya sea de tiempo completo, medio tiempo u ocasionales.

Entre Perú y Bolivia se tiene firmado el Acuerdo del Lago Titicaca (ATL) y se ha conformando el Organismo Binacional del Lago Titicaca que, a través de la Autoridad del Lago Titicaca, regula toda la actividad del lago. La Unidad Operativa Boliviana de la Autoridad Binacional del Lago Titicaca (UOB-ALT) se constituye en el brazo técnico de dicho Organismo Binacional. La UOB-ALT está orientada a la realización de la cartografía temática con levantamientos integrados; la medición de caudales en los principales cursos fluviales de la cuenca; la conservación y el manejo de los recursos naturales; la conclusión y actualización permanente de los estudios de las cuencas hidrográficas del Lago Titicaca-Río Desaguadero-Lago Poopó-Salar de Coipasa (TDPS), y a la ejecución del Plan Director de construcción de a) puentes de riego, b) obras hidráulicas, c) dragado del río Desaguadero y d) construcción de compuertas para control de desagüe.

Problemática:

- La cuenca del lago Titicaca es compartida con el Perú.
- Es necesario resolver el tema de inundaciones y regulación de las aguas.
- El aporte total de los ríos es de 66.7 x 10^9 m³ y es cuestionado por el Perú, ya que más del 80% del agua que converge en el lago proviene de ríos del Perú.
- Se ha estimado que las aguas desaguadas o pérdidas por el río Desaguadero es de un volumen de 0.66 x 10^9 m³.
- La contaminación de las aguas del lago causada por los desechos no tratados vertidos por las poblaciones establecidas en sus orillas (Puno, Copacabana y otras) es una situación preocupante. Se tiene un componente de medio ambiente que debe ser implementado por ambos países.

5.3 Caso del río Mauri (Maure)

El río Maure nace en la Laguna de Vilacota en la Cordillera Occidental del Perú, para luego ingresar a Bolivia a la altura de la población de Charaña (Urquidi, 2005b) con el nombre de río Maure. Forma parte del sistema TDPS (Titicaca, Desaguadero, Poopó, Salares) que drena las aguas del Altiplano Boliviano central. La cuenca del río Maure-Mauri cubre

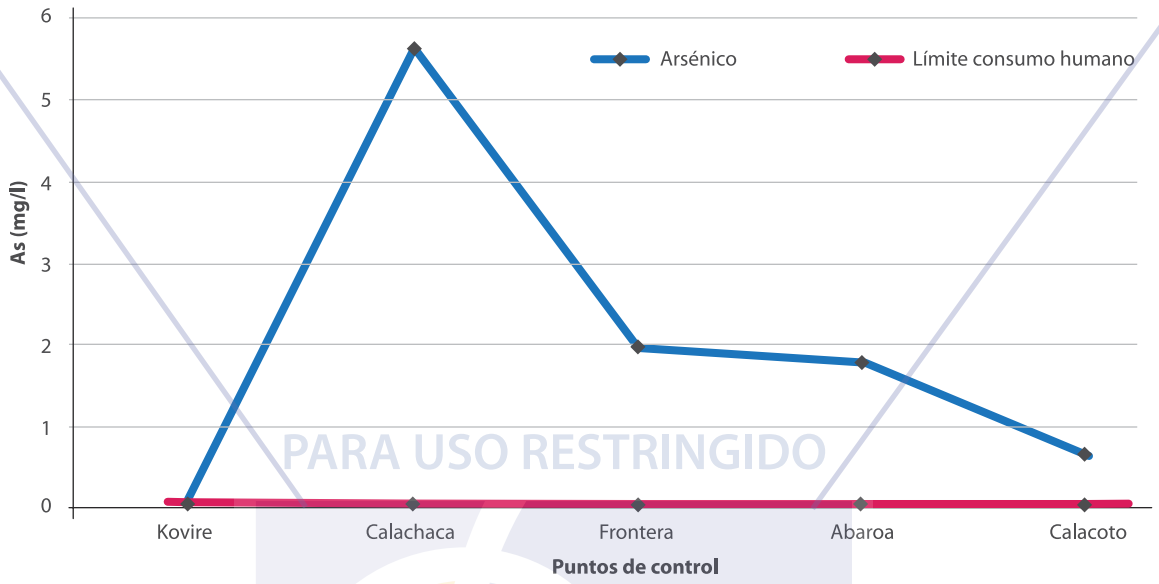
PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 8. Elementos tóxicos y aptitud de las aguas del Río Maure-Mauri

Sitio	B (mg/l)	As. (mg/l)	Uso poblacional	Uso en riego
Kovire	1.43	< 0.10	Aceptable	C1S1
Calachaca	30.5	5.63	No	C3S3
Frontera	12.5	2.0	No	C3S2
Abaroa	13.5	1.81	No	C3S2
Calacoto	10	0.69	No	C3S1
Caquena 1	8.82	0.13	No	C3S1
Caquena 2	16	0.5	No	C4S3
Blanco			No	C2S1
M. Calachaca			No	C2S1
M. Mamuta			Aceptable	C1S1

*El incremento el Calachaca se debe a las aguas contaminadas de la Quebrada Putina.

Figura 2. Variación del arsénico en el río Maure-Mauri



PARA USO RESTRINGIDO

parte de los departamentos de Puno y Tacna (Perú), de los departamentos de La Paz y Oruro (Bolivia) y de la provincia de Parinacota de la Región I (Chile).

Para tratar la problemática del río Mauri (Maure) se conformó entre Bolivia y Perú la Comisión Binacional del Río Mauri con bases operativas en La Paz y Tacna. Se considera a la Comisión como parte del Acuerdo del Lago Titicaca (ALT).

Problemática:

- Tratar el problema de contaminación natural de boro y arsénico causada por el afloramiento de aguas termales en la Quebrada de Putina (Cuadro 8 y Figura 2).
- Solicitud del Perú para disminuir el caudal que transporta el río Maure hacia Bolivia al cortar los flujos de los afluentes al río Maure.
- Construcción de canales en el lado peruano para evitar la contaminación de las aguas de los ríos afluentes al río Maure. Se realizará un *by pass* de las aguas a través de los canales.
- Compensación monetaria del Perú a Bolivia y posible compensación de Bolivia por el uso de las aguas del lago Titicaca a través del río Desaguadero.

5.4 Caso del río Lauca

El río Lauca nace en territorio chileno en las Ciénagas de Parinacota y la Laguna Cotacotani (4,400 m) y desemboca en la Laguna de Coipasa, cerca de la población de Santa Ana de Chipaya en territorio boliviano (3,760 m). Cruza la frontera chileno-boliviana en la Portezuela de Macaya (3,892 m), en el Hito XX, y desemboca en la Laguna de Coipasa, cerca de la población de Santa Ana de Chipaya en territorio boliviano (3,760 msnm) (Urquidi, 2005a).

Desde la década de 1930, el Gobierno de Chile considera el río Lauca como un río internacional (transfronterizo) de curso sucesivo, con derecho al uso del 50% de su caudal en territorio chileno.

El desvío unilateral y trasvase de 50% de las aguas en el año 1962 hacia el valle de Azapa, Arica, sin compensación, dio lugar al rompimiento de relaciones diplomáticas por parte de Bolivia.

Los caudales medidos en territorio boliviano son los siguientes:

- Río Lauca (frontera): 2.60 m^3/s
- Río Sajama: 4.99 m^3/s
- Río Cosapa: 3.00 m^3/s
- Río Turco: 2.45 m^3/s
- Desembocadura Laguna Coipasa: 13.0 a 15.0 m^3/s

Problemática:

- Bolivia necesita conocer el caudal real del río en territorio chileno para así poder solicitar la compensación necesaria y asegurar que reciba el 50% del caudal que le corresponde. No se tiene información sobre el caudal en cabecera ni al final del túnel de trasvase al Valle de Azapa.
- Reanudación de relaciones diplomáticas entre ambos países.

FORO CONSULTIVO

5.5 Caso de los ríos Pilcomayo y Bermejo

La Cuenca del Pilcomayo es trinacional (Bolivia-Argentina-Paraguay) con 1.5 millones de habitantes, de los cuales 1 millón viven en territorio boliviano. La Cuenca del Bermejo es binacional (Bolivia-Argentina) con una población de 1.12 millones de habitantes, de los cuales 243,000 son ciudadanos bolivianos.

La vertiente del Plata se encuentra situada al sudeste del país; ocupa una superficie de 224,918 km² aproximadamente, y constituye geográficamente la segunda en extensión. Comparten la vertiente los departamentos de Tarija, Santa Cruz, Chuquisaca, Potosí y Oruro.

Para el manejo de las cuencas de los ríos Pilcomayo y Bermejo se han conformado las siguientes organizaciones en acuerdos firmados por Bolivia, Paraguay y Argentina:

- Comité Interamericano de la Cuenca del Plata.
- En 1989 se creó la Comisión Nacional de los Ríos Pilcomayo y Bermejo para concertar y coordinar políticas y acciones de negociación internacional de ambas cuencas. Este órgano colegiado tiene una Oficina Técnica Nacional (OTNPB), con sede en Tarija, que es el órgano operativo y de aporte técnico.
- En 1995 se crearon las Comisiones Trinacional y Binacional para el desarrollo de cada una de las cuencas.
- La OTNPB tiene los siguientes programas:
  - Programa Estratégico de Acción (PEA) para la Cuenca Binacional del Río Bermejo.
  - Programa de Construcción de las Presas de Las Pavas, Arrazayal y Cambarí.
  - Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la Cuenca del Río Pilcomayo.

Problemática:

- Bolivia es cabecera de cuenca (cuenca vertiente).
- Maximizar el uso de sus aguas en el país (caudal regulado).
- No causar perjuicios sensibles a los países aguas abajo.
- Se deberán reconsiderar proyectos de presas (financiamientos y usos).
- Continuar con los proyectos de restauración ambiental y deposición de sedimentos.

5.6 Caso de la Hidrovía Paraguay-Paraná

La Hidrovía Paraguay-Paraná cuenta con Puerto Aguirre y el puerto Gravetal que reciben carga tanto nacional como internacional. Esta hidrovía se constituye en la más importante de las vías que provee a Bolivia acceso al Océano Atlántico. El sistema hidrográfico Paraguay-Paraná tiene una extensión de 3,442 km desde sus cabeceras en el Estado de Mato Grosso hasta el delta de los ríos Paraná. La superficie del área de influencia directa de la hidrovía es de aproximadamente 1,750,000 km², con una población que sobrepasa los 17,000,000 habitantes. En Bolivia, el área de influencia cubre 370,000 km² (departamento de Santa Cruz y parcialmente Tarija y Chuquisaca). Hoy, la hidrovía ya tiene una gran importancia para el comercio de soya y minerales de hierro.

Para el manejo de la hidrovía se han conformado las siguientes organizaciones:

- Comité Intergubernamental de la Hidrovía Paraguay-Paraná (CIH).
- Tratado de la Cuenca del Plata.
- Acuerdo de Transporte Fluvial por la Hidrovía Paraguay-Paraná (Puerto Cáceres-Puerto de Nueva Palmira).
- Siete protocolos adicionales y sus reglamentos sobre: a) navegación y seguridad, b) seguros, c) condiciones de igualdad de oportunidades para una mayor competitividad, d) asuntos aduaneros, e) cese provisorio de bandera y f) solución de controversias. El séptimo protocolo es la prórroga del acuerdo por 15 años.

Problemática:

- Existen limitaciones en el número de barcazas que pueden ser transportadas hasta los puertos bolivianos por la infraestructura brasilera cerca del canal.
- Por el tramo Puerto Cáceres-Corumbá navegan convoyes menores de 2 x 2 (2,500 a 3,000 TM).
- Por el canal Corumbá-Canal Tamengo navegan convoyes de cuatro barcazas con remolcador de popa y un secundario de proa.
- Radios de curvatura demasiado restringidas.
- Puertos nacionales de Central Aguirre y de Gravetal.

6. Problemática de las aguas subterráneas transfronterizas

Las aguas subterráneas se deben considerar en todo análisis de gestión de aguas. En muchos casos, las aguas subterráneas y superficiales están interconectadas. Como ya se

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

señaló, las principales zonas de recarga de los acuíferos son los humedales (bofedales), los abanicos aluviales u otras zonas con suelos permeables. En períodos de torrenteras, el río alimenta el acuífero, mientras que el acuífero descarga al río en épocas de estiaje. En el territorio nacional, las zonas de descarga superficiales son cada vez más escasas, debido a que los niveles freáticos están descendiendo y las zonas de recarga están sufriendo alta contaminación.

Los recursos hídricos subterráneos en el país no han sido aún cuantificados. Únicamente se cuenta con estudios locales muy limitados y con información técnica sistematizada de pozos perforados en el Valle Alto de Cochabamba y en el Norte del Altiplano. En 1985, el Servicio Geológico de Bolivia (GEOBOL) desarrolló y publicó el Mapa Hidrogeológico de Bolivia.

En la actualidad, las prefecturas departamentales, con asistencia de financiamiento internacional, tienen varios programas de perforación de pozos para proveer agua a poblaciones rurales. Sin embargo, estas instituciones no están registrando la información de los pozos perforados ni sus caracteristicas hidrogeológicas, lo que significa que la información será una pérdida y que no podrá ser utilizada en el futuro para ubicar, calificar y cuantificar las numerosas cuencas subterráneas que se encuentran ubicadas en todo el territorio nacional.

Por obvias circunstancias, la problemática transfronteriza de las aguas subterráneas es más complicada que la problemática de las aguas superficiales.

6.1 Caso de las aguas subterráneas en el sudoeste de Bolivia: manantiales del Silala

La manifestación de agua en superficie de los manantiales del Silala proviene de un acuífero transfronterizo ubicado en la frontera de Bolivia-Chile con un gradiente hidráulico que determina el movimiento de las aguas de este a oeste. El acuífero transfronterizo en el área del Silala está emplazado en las Ignimbritas Silala (7.8 ± 0.3 Ma, Mioceno Sup.) y probablemente en formaciones geológicas infrayacentes que no afloran en el área. Las Ignimbritas Silala están altamente fracturadas y afloran en el área debido a una erosión diferenciada de las rocas volcánicas y a fallas que han dado lugar a la formación de quebradas ensanchadas por procesos fluvio-glaciales. Las ignimbritas (rocas ígneas volcánicas), por su relativo bajo grado de soldadura y su alta fracturación, permiten una buena transmisividad y permeabilidad del acuífero.

La totalidad de los manantiales que afloran en el área del Silala, tanto en el lado boliviano como en el chileno, son descargas del acuífero de las Ignimbritas Silala. En muchos casos se observan manantiales que surgen directamente de las diaclasas y fisuras (mayormente en el lado chileno). Los bofedales saturados del área (mayormente en el lado boliviano), conformados por sedimentos finos Cuaternarios y Recientes y que cubren las ignimbritas, son alimentados y saturados por el agua que surge del acuífero de origen ígneo subyacente.

Mediante la Escritura Pública No. 48 del 23 de septiembre de 1908, la Prefectura del Departamento de Potosí dio en concesión el uso de las aguas de las vertientes del Silala a la empresa ferroviaria The Antofagasta (Chili) and Bolivian Railway Company Limited. Desde entonces hasta hoy día, empresas chilenas aprovechan el agua que se produce en los Manantiales del Silala. Estas aguas fueron concedidas para su uso en las locomotoras de vapor de la empresa ferroviaria. Desde principios del año 1960, estas locomotoras fueron cambiadas a locomotoras de diesel, mucho más eficientes. A partir de entonces, el uso del agua concesionada ha sido cambiado para satisfacer las demandas de recursos hídricos de las ciudades de Antofagasta, Calama y otras, así como la demanda de la industria cuprífera chilena.

Bolivia considera que las aguas que escurren del Silala hacia Chile, a través de canales abiertos, provienen de los manantiales o vertientes que afloran en la superficie formando bofedales andinos. Por su parte, Chile considera las aguas que escurren del Silala como un río de curso continuo transfronterizo. Ambas posiciones diplomáticas han sido expresadas en cartas reversales cursadas en el año 1999 y no han cambiado en su contexto hasta el presente.

A principios de 1908, los manantiales fueron canalizados mediante canales recolectores abiertos de piedra construidos por la empresa The Antofagasta (Chili) and Bolivian Railway Company Limited. En la actualidad, el agua escurre hacia Chile a través de estos canales abiertos.

De acuerdo con análisis por métodos del C^{14} realizados a fines del año 2006, las aguas del Silala son antiguas (fósiles), de 9,300 a 10,000 años de edad.

En un resumen de la hidrogeoquímica y características físicas del agua que aflora en los manantiales del Silala, tanto en los bofedales como en las paredes de las ignimbritas, es del tipo bicarbonato de sodio. Geoquímicamente se encontró una relación de los cationes de rNa › rCa › rMg y de los aniones $rHCO_3$ › rCl › rSO_4.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

El RAS determinado es de la clase C1S1, o sea, de baja salinidad y baja relación de Na. El TSD está entre 111 mg/l y 192 mg/l, y el pH es de 7.40 a 8.35. La conductividad eléctrica muestra dos tipos de agua, una localizada en el bofedal sur de 209 a 240 µs/cm, y la otra en el bofedal norte, coincidente con el agua que aflora de los manantiales del lado chileno, de 95 a 120 µs/cm. La temperatura del agua que aflora es de 13°C a 16°C.

Los caudales medidos en ambos lados de la frontera son los siguientes:

- **Lado boliviano**
  - Caudal promedio: 200 l/s
  - Nivel piezométrico: 0.40 a 0.67 m
  - Número de manantiales: más de 70
- **Lado chileno**
  - Caudal promedio: 300 l/s
  - Número de manantiales: más de 30

Problemática:

- En los últimos 100 años, Chile ha recibido agua proveniente de los Manantiales del Silala que afloran en el lado boliviano.
- Desde 1997, el Gobierno de Chile ha ofrecido comprar el 50% de la producción de agua en el lado boliviano, o sea 100 l/s, a un precio aún no determinado. Esta oferta ha sido reiterada recientemente por el Gobierno de Chile y, de acuerdo con publicaciones en los medios de comunicación nacionales, el gobierno del presidente Evo Morales la está considerando.

6.2 Caso del acuífero Yrenda-Toba-Tarijeño

El acuífero denominado Yrendá-Toba-Tarijeño por los tres países Paraguay, Argentina y Bolivia tiene una superficie aproximada de 300,000 km² y se encuentra alojado en sedimentos multicapas no consolidados del Cuaternario y del Terciario. No es un acuífero confinado, sino un sistema acuífero en muchas capas permeables que tienen contenidos variables de agua. El sector boliviano del acuífero tiene un área que comprende el sector del Chaco tarijeño, del Chaco de Chuquisaca y también de Santa Cruz de la Sierra. El límite oeste es el subandino, es decir, la serranía de Aguaragüe, y el límite este todavía no está definido, pero es aproximadamente en el sector de Mariscal Estigarribia, en el sector del Chaco Central de Paraguay. Tampoco se han definido los límites norte y sur (Pasig, 2005).

Para estudiar este acuífero se ha creado la Comisión Binacional en la Gestión del Sistema Acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño, que será la encargada de estudiar y recolectar la información técnica que deberá obtenerse.

Problemática:

- Es un acuífero multicapa sobreexplotado por usuarios en territorio paraguayo.
- Paraguay cuestiona el uso de aguas en zonas de recarga (serranías de Aguaragüe).
- El potencial hidrogeológico del acuífero es aún poco conocido.
- La necesidad de uso sustentable del recurso.

PARA USO RESTRINGIDO

6.3 Caso de los acuíferos Jacy-Paraná y Parecis

Bolivia carece de información técnica de estos acuíferos transfronterizos que se alojan en rocas alteradas del basamento del Escudo Central (edad Arqueana). Están ubicados en la frontera noroeste entre Bolivia y Brasil en áreas denominadas de reconocimiento. Sin embargo, no se conocen los límites occidentales en territorio boliviano.

Problemática:

- Existe poca información en ambos lados de la frontera y no se tiene claro el grado de acuífero "transfronterizo".
- Las zonas de descarga y recarga son desconocidas en territorio boliviano.
- El potencial hidrogeológico de los acuíferos no son conocidos.
- El área tiene un alto potencial hidroeléctrico.
- Se tiene un uso intensivo de sus aguas para riego agrícola en el lado brasilero.
- Se tiene la necesidad de una proyección de uso sustentable del recurso en ambos acuíferos.

FORO CONSULTIVO

6.4 Caso del acuífero Pantanal

Este acuífero transfronterizo cenozoico está ubicado en la frontera sureste de Bolivia con Brasil. Desde el punto de vista ecológico, económico y social, es uno de los sistemas continentales más importantes. En Brasil, en el Estado de Rondonia, tiene una extensión mayor a los 160,000 km²; sin embargo, no se conoce su extensión hacia el oeste donde ingresa hacia Bolivia. Se manifiesta en territorio boliviano formando extensos "curiches" e inundaciones en

una extensión mayor a los 150 km paralelo a la frontera. La información técnica del acuífero es inexistente en territorio boliviano.

Problemática:

- Se tiene muy poca información disponible sobre el acuífero del lado boliviano.
- Las zonas de descarga son desconocidas en territorio boliviano.
- En el lado brasilero la variación de nivel de agua en superficie es de 6 a 8 metros.
- Se encuentra dentro de una región ecológica importante, el Pantanal.
- Se presenta como una frontera agrícola conflictiva, especialmente en el lado brasilero.
- Es una zona con un futuro desarrollo minero importante, especialmente de minerales de hierro, el Mutun en el lado boliviano y el Urucum en el lado brasilero.

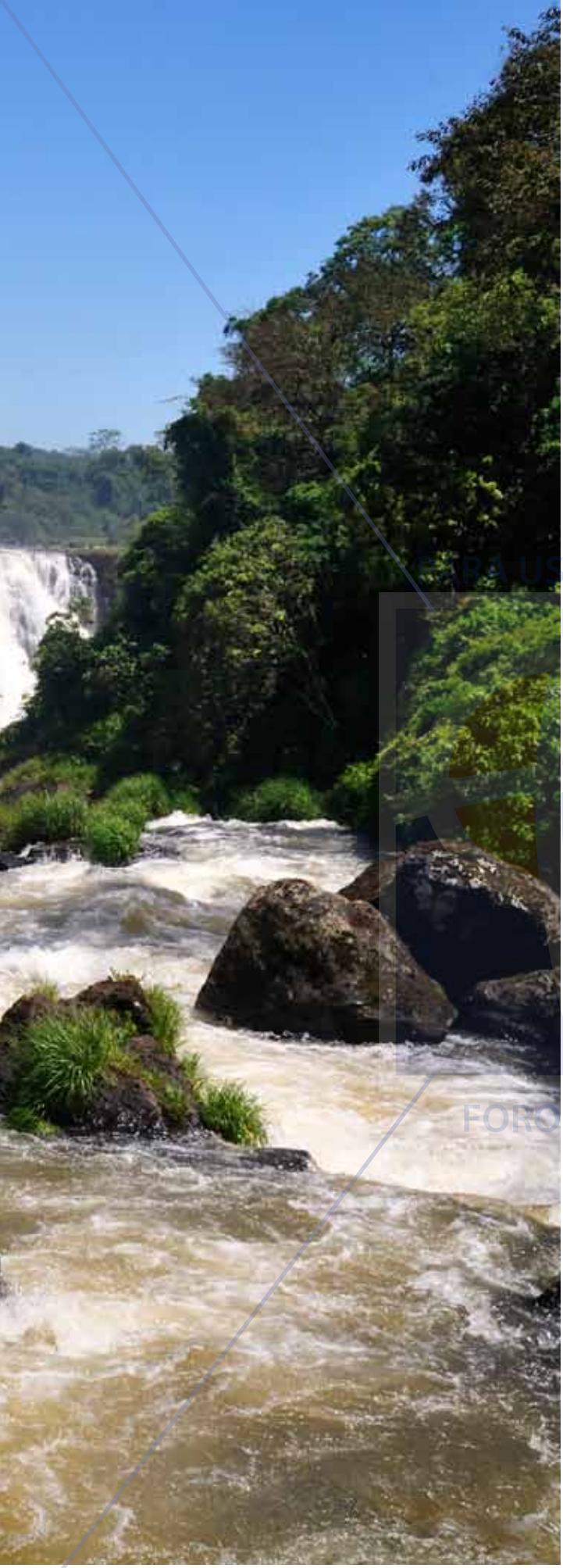
7. Referencias

PARA USO RESTRINGIDO

1. Baldivieso Manrique, G. (2005). Bolivia es una Potencia Hídrica Amenazada por la Desertificación. La Razón. La Paz, Bolivia.
2. Constitución Política del Estado. Promulgada el 7 de febrero de 2009. Impresión Oficial, Gaceta Oficial.
3. INE (2001). Encuesta de Hogares, 1999. La Paz, Bolivia. 235 p.
4. Liebers Baldivieso, A. (2002). Agua: de elemento de conflicto a fuente de integración (El caso boliviano). La Paz, Bolivia. 38 p.
5. MAGDR-PRONAR (2001). Mapa de Ordenamiento Hidroecológico de Bolivia, Correlación con niveles de pobreza y degradación de recursos naturales renovables. La Paz, Bolivia.
6. Mattos, R. y Crespo, A. (2000). Informe nacional sobre la gestión del agua en Bolivia.
7. Maurice-Bourgoin, L. (2001). El mercurio en la Amazonía Boliviana. La Paz, Bolivia. 75 p.
8. MDSP-JICA (1999). Estudio de evaluación del impacto ambiental del sector minero en el departamento de Potosí. Mitsui Mineral Development Engineering Co., Ltd., Unico International Corporation.
9. MDSP (2001). Estrategia nacional de biodiversidad. 193 p.
10. Montes de Oca P., I. (2005). Geografía y Recursos Naturales de Bolivia. Editorial Offset Boliviana Ltda. La Paz, Bolivia.
11. Pasig, R. (2005). Aguas Subterráneas en el Sudeste de Bolivia. Política Exterior en Materia de Recursos Hídricos. UDAPEX (Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto)-PNUD. EDOBOL. La Paz, Bolivia.
12. Quiroga B., R., Salamanca, L. A., Espinosa, J. C., Torrico, G. (2008). Atlas de amenazas, vulnerabilidad y riesgos de Bolivia. Plural Editorial. La Paz, Bolivia.
13. Rebouças, A. da C. (2006). Águas Subterrâneas. Águas Doces no Brasil. Escrituras. 3ra. Edic. São Paulo, Brasil.
14. Roche, M. A. *et al*. (1992). Balance Hídrico Superficial. Publicación PHICAB. La Paz, Bolivia.
15. Urquidi Barrau, F. (2005a). Recursos hídricos en la frontera boliviano-chilena (Silala y Lauca). Política Exterior en Materia de Recursos Hídricos. UDAPEX (Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto)-PNUD. EDOBOL. La Paz, Bolivia.
16. Urquidi Barrau, F. (2005b). Recursos hídricos en la frontera boliviano-peruana (Mauri). Política Exterior en Materia de Recursos Hídricos. UDAPEX (Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto)-PNUD. EDOBOL. La Paz, Bolivia.

FORO CONSULTIVO

Cataratas del Iguazú, Parque Nacional del Iguazú, estado de Paraná, Brasil



La política hídrica en Brasil

José Galizia Tundisi[1] y Marcos Cortesão Barnsley Scheuenstuhl[2]

[1] Instituto Internacional de Ecología, São Carlos, Brasil.
[1] Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología en Recursos Minerales, Agua y Biodiversidad (Ministerio de Ciencia y Tecnología).
[1] Feevale University, RS. Academia Brasileña de Ciencias.
[2] Academia Brasileña de Ciencias

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Palabras clave: recursos hídricos, disponibilidad del agua, calidad del agua, ciclos hidrológicos, contaminación, gestión, política hídrica

1. Introducción

En este documento los autores describen la distribución, disponibilidad y contaminación de los recursos hídricos del Brasil, así como la política del agua necesaria para manejar estos problemas. También se presenta la organización institucional para la gestión integral del agua en Brasil y se discuten los retos para el desarrollo posterior de la política del agua.

Estos retos van desde mejorar el cumplimiento del marco legal a nivel de cuenca, reducir la contaminación y los desastres que suceden como consecuencia de los cambios hidrológicos y la degradación de las cuencas, hasta el desarrollo de tecnologías para el manejo ecológico de los recursos hídricos en cuanto a la protección, restauración, prevención y deterioro de las cuencas. Se requiere de una estrategia vigorosa y de largo plazo para la inversión en ciencia, innovación y tecnología dedicada a los recursos hídricos para poder sostener un mejoramiento permanente en la política del agua. Las regiones que necesitan especial atención con respecto a esta política en Brasil son la región del Amazonas y del Noreste.

2. Los recursos hídricos en Brasil

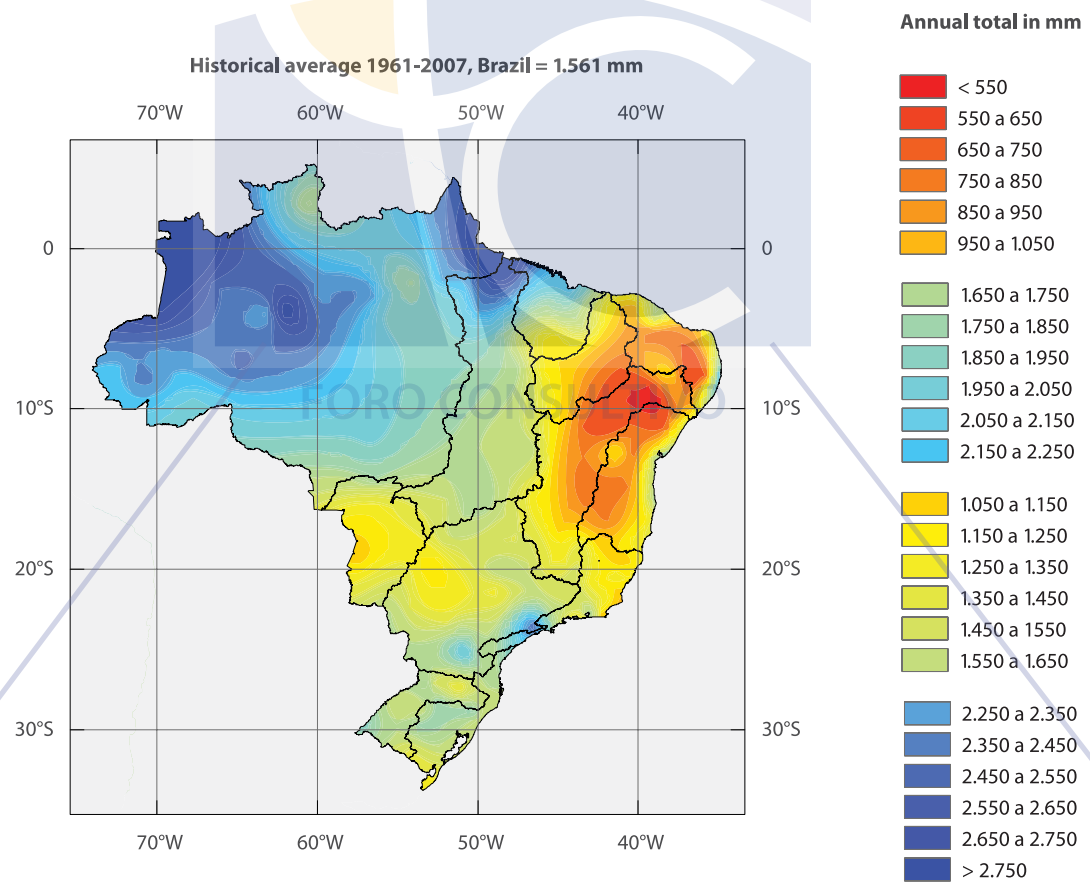
Brasil tiene el 12% del agua dulce del planeta Tierra. Este recurso se distribuye de forma desigual a lo largo del territorio nacional, cuya extensión va de 5° latitud norte hasta los 34° latitud sur, e incluye una variedad de climas e influencias climatológicas desde la región ecuatorial hasta los frentes fríos que se originan en la zona antártica. La precipitación promedio en el país (datos históricos de 1961-2007) es de 1.765 mm, variando desde 500 mm en las regiones semiáridas del noreste del Brasil hasta 3000 mm en la zona del Amazonas (Figura 1).

Las principales cuencas del Brasil están representadas por 12 regiones hidrográficas. Las tres más importantes son la cuenca del Amazonas, la cuenca del Paraná y la cuenca del Río São Francisco (Figura 2). En la Figura 3 se observa la distribución espacial de las descargas específicas de agua desde menos de 2 l/s/km² (en la región semiárida del noreste) hasta más de 30 l/s/km². Actualmente, las estaciones fluviométricas a lo largo de todo el Brasil proporcionan datos representativos de la descarga específica en las 12 cuencas.

La distribución de aguas subterráneas en Brasil también es variable. Existen regiones con abundante disponibilidad de agua (tales como el acuífero Guaraní en el sur de Brasil y otros acuíferos sedimentarios) y regiones con baja disponibilidad (como aquéllas de rocas cristalinas en las regiones semiáridas). Los acuíferos sedimentarios ocupan el 48% del área total del Brasil. La Figura 4 muestra el área de recarga de los acuíferos en relación con las 12 cuencas hidrográficas. El número de pozos nuevos construidos para la explotación de aguas subterráneas es de alrededor de 10,500/año en el país, lo que demuestra la importancia económica de este recurso.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 1. Precipitación promedio en Brasil



Fuente: ANA 2009

3. Usos del Agua

Tal como sucede en otros países y regiones del mundo, los usos que se le dan al agua en Brasil son diversos y la intensidad de su uso, específicamente en Brasil, está relacionada con el desarrollo económico, social y agrícola en las 12 cuencas. Entre los usos consuntivos se encuentran el abastecimiento público (tanto urbano como rural), la industria y el riego. En cuanto a los usos no consuntivos podemos citar la hidroelectricidad, pesca, navegación, agricultura, turismo y recreación (Figura 5).

Un aspecto importante en Brasil es la descarga de agua usada hacia embalses, ríos y lagos. Cuando el agua no recibe tratamiento (como sucede con frecuencia) se vuelve un problema que se debe considerar seriamente, ya que el agua resulta inservible para cualquier otra actividad que dependa del agua limpia.

Las plantas hidroeléctricas generan el 68% del total de la energía producida en Brasil (ANEEL, 2008). El potencial hidroeléctrico en el sureste del país está casi agotado actualmente, por lo que un gran porcentaje del potencial hidroeléctrico permanece en la región del Amazonas (70% del potencial hidroeléctrico total del Brasil). Este es un asunto que la política hídrica del Brasil deberá tomar en cuenta en el futuro (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2010a; Tundisi y Campagnoli, en preparación).

4. Usos múltiples del agua y los conflictos que generan

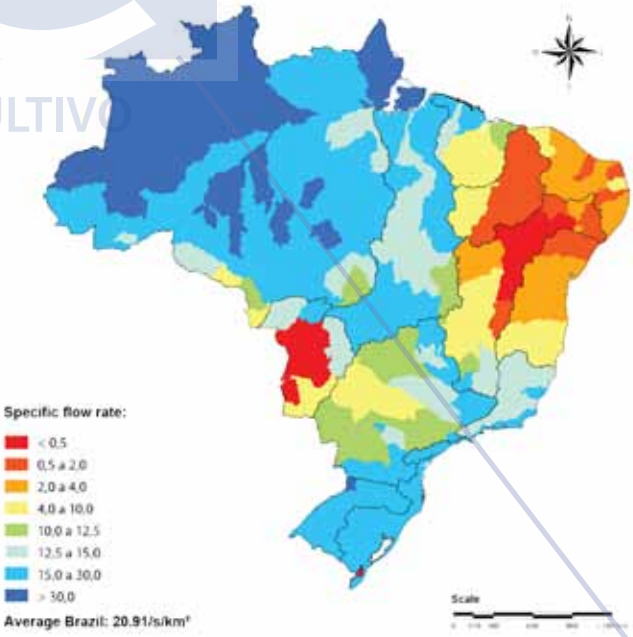
Los múltiples usos que tiene el agua en Brasil, junto con el desarrollo económico de la nación, han generado conflictos en las siguientes áreas:

1. El uso del agua para la agricultura y el abastecimiento de agua en áreas urbanas.
2. El aumento en la producción agroindustrial y la deforestación que han afectado el abastecimiento público del agua, que a su vez ha alterado las áreas de recarga de los acuíferos y la calidad del agua en las fuentes.
3. El aumento de los desechos sólidos no tratados de origen urbano y la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.
4. El incremento del impacto de las plantas hidroeléctricas en los afluentes del río Amazonas y la interrupción del ciclo hidrosocial.
5. La fuerte contaminación por metales tóxicos, eutrofización, uso excesivo de fertilizantes en la agricultura, descarga de agua de origen doméstico sin tratamiento y los costos del tratamientos del agua.
6. El aumento en el costo del tratamiento del agua debido a la degradación de las fuentes, la deforestación y la contaminación de acuíferos.
7. El impacto del agua degradada en la salud humana, principalmente en regiones urbanas y metropolitanas.

Figura 2. Las 12 cuencas hidrográficas del Brasil

Fuente: ANA 2009

Figura 3. Caudal específico. Promedio para Brasil 20.9 l/s/km²



PARA USO RESTRINGIDO
CORPO CONSULTIVO

5. La calidad del agua en Brasil

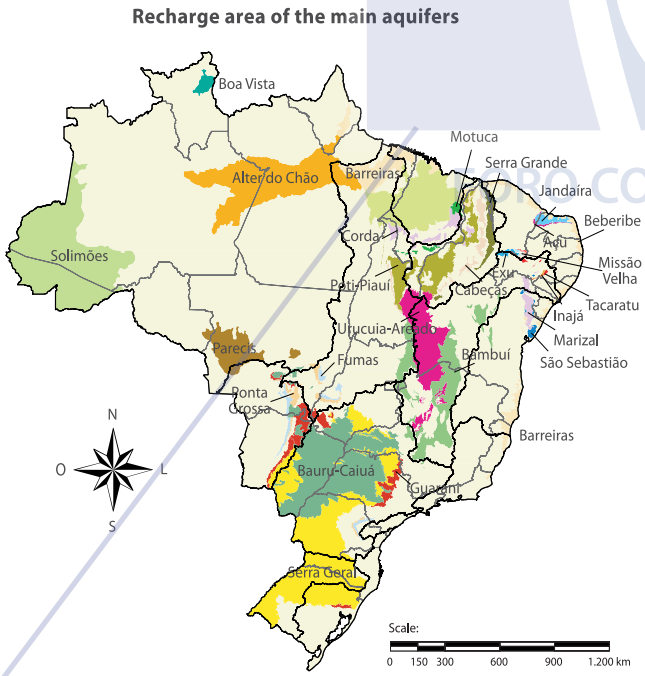
La condición actual de la calidad del agua en Brasil resulta de diversos efectos que han dado lugar a las siguientes situaciones:

1. La urbanización y la descarga de aguas residuales sin tratamiento en los ríos, lagos y presas (UNESCO, UNEP, 2008).
2. La eliminación inadecuada de los desechos sólidos que afecta las aguas superficiales y subterráneas.
3. Las actividades agrícolas incluyendo el uso excesivo de fertilizantes, pesticidas y herbicidas.
4. Las actividades industriales que producen aguas residuales con metales tóxicos; la deforestación y el aumento del transporte de materiales suspendidos que, al reducir el volumen de los embalses, cambian la morfometría de los ríos y lagos naturales; la minería que degrada las aguas superficiales y subterráneas; la producción hidroeléctrica y la construcción de presas que modifican el flujo de los ríos así como su biodiversidad y que causan diversos impactos sobre cuencas importantes como la del Paraná, São Francisco y los afluentes del río Amazonas (Straskraba & Tundisi, 2008; Tundisi & Matsumura-Tundisi, T., 2008).

Los principales problemas de contaminación y deterioro del agua que surgen como consecuencia de las diversas actividades económicas y los múltiples usos del agua son el aumento de la toxicidad de aguas superficiales y subterráneas; la eutrofización de ríos y embalses que produce crecimiento excesivo de cianobacterias que a su vez provoca la contaminación orgánica de las fuentes de agua, especialmente cerca de los grandes centros urbanos y las regiones metropolitanas; el azolve, y la emisión de gases invernadero a partir de aguas eutróficas (Azevedo 2005; Jorgensen *et al.*, 2005; Tucci & Mendes 2006; Straskaba y Tundisi 2008; Tundisi *et al.*, 2006; Abe *et al.*, 2009; Sidagis Galli *et al.*, 2009; ANA, 2009; Bicudo, Tundisi y Cortesão S., 2010).

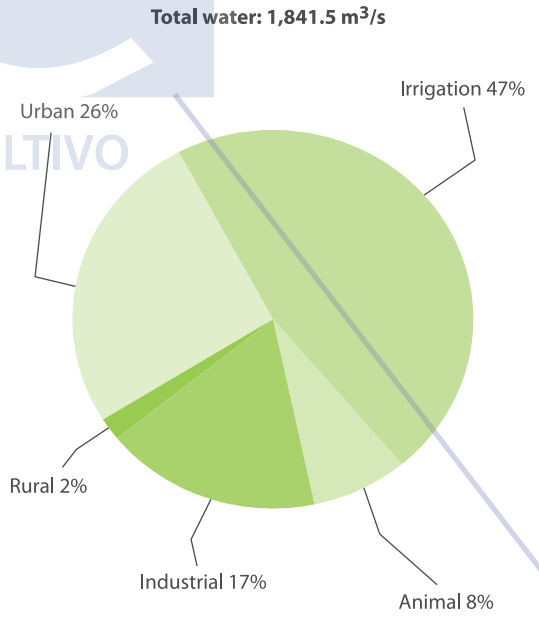
En las regiones sur y sureste, la cuenca del alto Paraná (ríos Tietê e Iguaçu) muestra valores críticos negativos en el Índice de Calidad del Agua y el costo del tratamiento del agua en las cuencas de estas regiones es muy alto (más de US$200/1000 m3). Por otra parte, el sur y sureste además presentan un Índice de Estado Trófico de Brasil alto. No sólo resulta muy costoso el tratamiento de las aguas eutróficas e hipereutróficas en estas regiones, sino también los usos tales como los recreativos, el turismo y la pesca se encuentran restringidos (Tundisi *et al.*, 2006).

Figura 4. Área de recarga de los principales acuíferos en Brasil



Fuente: ANA 2009

Figura 5. Usos del agua en Brasil



Fuente: ANA 2009

AGUA USO RESTRINGIDO
PORTAL CONSULTIVO

Como tendencia general, las aguas superficiales y subterráneas de las regiones sur, sureste y noreste tienen un bajo índice de calidad y un alto índice eutrófico como resultado de las actividades humanas y la concentración de aguas residuales, así como sustancias y elementos tóxicos (Figura 6 y Figura 7).

En ciertas regiones del país, tales como algunos embalses de las cuencas del Paraná y São Francisco, la elevada contaminación ha obligado a prohibir el uso de agua en la industria pesquera, la recreación y el abastecimiento a la población.

Por otra parte, el deterioro de la calidad del agua en Brasil también puede agravarse por eventos hidrológicos extremos. Las fuertes lluvias y descargas en las regiones urbanas y metropolitanas, por ejemplo, pueden incrementar la contaminación tres a cuatro veces más de lo habitual (Tucci & Mendes, 2006; IIEGA/PMSP, 2009). Durante eventos extremos de sequía en el noreste, la eutrofización en los embalses, usados para el almacenamiento de agua potable y para satisfacer la sed de los animales, frecuentemente puede ser fuente de degradación de la calidad del agua.

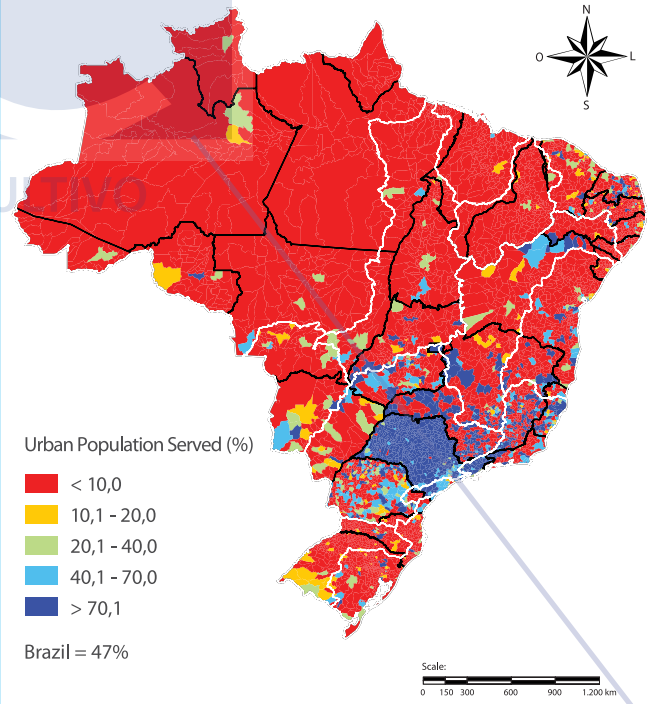
La perspectiva general y la tendencia en cuanto a la capacidad de asimilación de los residuos orgánicos muestran una imagen que va de la mano con el Índice de Calidad del Agua y el Índice de Estado Trófico; es decir, las aguas superficiales y subterráneas de las cuencas localizadas en las regiones sur y sureste tienen una baja capacidad de asimilación de los residuos orgánicos, a diferencia de las cuencas de la región del Amazonas que tienen una alta capacidad de asimilación de los mismos (78% de los ríos amazónicos) (ANA 2009).

6. Desarrollo institucional del manejo de recursos hídricos

La Ley Aguas del Brasil fue promulgada por el Gobierno Federal en 1997 (ley 9433 del 8 de enero de 1997), y a partir de entonces y hasta 2007, cada uno de los 27 estados del Brasil ha promulgado su propia ley de aguas. Esta ley ha promovido el progreso en el manejo integral de los recursos hídricos. Por una parte, ha permitido que se ponga en práctica un proceso amplio de descentralización, en el que cada estado implementa sus propios comités de cuenca y así consolida sus planes y organismos de cuenca; mientras que por otra ha promovido la creación de un plan para el desarrollo económico de las cuencas y el uso del agua, así como la formación de organismos estatales responsables de controlar la contaminación y polución del agua. Además, los avances en la legislación se dieron en las regiones o estados donde existían conflictos por los usos y disponibilidad del agua (ANA, 2002), por ello el proceso de institucionalización está más avanzado en las cuencas del sur, sureste y noreste. El Sistema Nacional de Gestión Integral del Agua en Brasil consiste del Consejo Nacional de Recursos Hídricos, la Secretaría de Recursos Hídricos del Ministerio del Medio Ambiente, la Agencia Nacional del Agua, los Consejos Estatales de Recursos Hídricos, las Agencias Estatales y los Comités de Cuencas y Agencias de Cuencas (Braga *et al.*, 2006).

La consolidación del marco institucional en Brasil también se debe al establecimiento de mecanismos de apoyo a la investigación y desarrollo en el sector del agua. Un logro importante en este rubro fue la implementación de fondos sectoriales para recursos hídricos, mediante los cuales las empresas privadas dedicadas al agua aportan 1% de sus ganancias para apoyar proyectos de investigación en minería, hidroelectricidad y problemas ambientales. Estos fondos sectoriales, establecidos en 1999, han permitido el desarrollo científico y tecnológico que sostiene el trabajo de los comités y organismos de cuencas. Como consecuencia, los recursos económicos son ahora adecuados para la expansión de la investigación y los avances tecnológicos del agua.

Figura 6. Porcentaje de tratamiento de aguas residuales en Brasil



Fuente: ANA 2009

DOCUMENTO DE USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

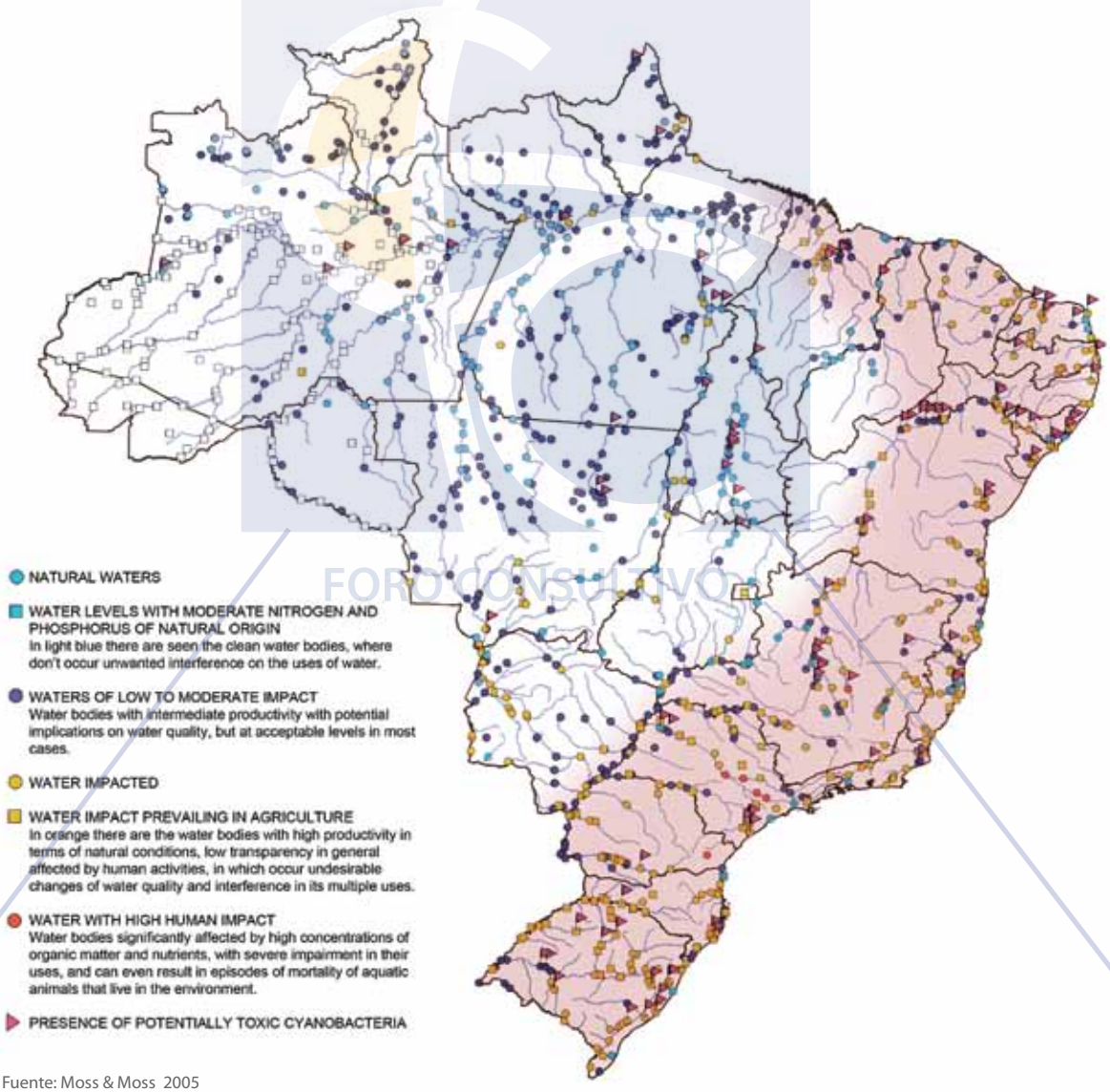
Desgraciadamente, los adelantos a nivel federal y estatal no han sido acompañados por la organización de la gestión hídrica a nivel municipal, y éste es uno de los mayores retos que se deberá atender a través de la política hídrica del Brasil. Otro reto relevante es el de establecer mecanismos adecuados para fijar tarifas. Un ejemplo es el fuerte subsidio al uso agrícola del agua, que impide el uso mejor y más eficiente del agua en la producción de alimentos.

En cuanto a las cuencas interestatales, a pesar de que los planes para el manejo de recursos hídricos están en desarrollo, el progreso ha sido lento. De igual manera ha sido la especificación de los estándares deseados de calidad del agua de ríos, lagos, y embalses, considerando la presión económica para mayor extracción del agua en los distintos sectores productivos.

A partir de la promulgación de la Ley del Agua en 1997, se han otorgado licencias para su extracción. Esta autorización es otorgada por la Agencia Nacional del Agua e incluye todos los usos del agua, desde el abastecimiento público, la extracción de aguas subterráneas para distintos usos y plantas hidroeléctricas, hasta la producción agrícola. A la fecha se han otorgado licencias para la extracción de 3,520 m^3/s agua en varias de las 12 cuencas del Brasil (ANA, 2009), siendo las licencias para las mayores cantidades en la cuenca del Paraná (1,300 m^3/s).

PARA USO RESTRINGIDO

Figura 7. Escenario de la calidad del agua en Brasil (2007)



Fuente: Moss & Moss 2005

FORO CONSULTIVO

El Sistema Nacional para la Información de los Recursos Hídricos en Brasil está coordinado por la Agencia Nacional del Agua y se comenzó a implementar en el año 2000. Este sistema consiste de cuatro componentes principales: el subsistema de uso y regulación, el subsistema de planeación y gestión, el subsistema de calidad y cantidad y el subsistema de "inteligencia del agua" (información geográfica/territorial y documentación sobre los recursos hídricos).

Actualmente se fijan precios por el uso del agua en cuatro cuencas brasileñas, y la fijación de cuotas tiende a mejorar y establecerse en los ríos federales y estatales.

7. Retos para la política del agua en Brasil

7.1 Retos sociales

A pesar del progreso institucional que se ha dado en la organización del manejo integral de los recursos hídricos en Brasil, aún existen problemas enormes en la provisión de servicios de agua y saneamiento a toda la población. La disponibilidad del agua es relativamente buena, siendo que cerca del 80% de la población recibe agua potable. Sin embargo, el problema de saneamiento es enorme y complejo. Sólo el 30% de las aguas residuales reciben tratamiento y los sistemas de eliminación y retiro de desechos sólidos son muy pobres, por lo que la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas es alta y tiene un grave impacto en la salud humana (ANA, 2009). Como lo expresa la OCDE (2003), "muchos de los asuntos sociales involucrados en el manejo del agua, (pág. 33 'tendencias y retos clave') se pueden analizar en términos de la "equidad". Esto se refiere a la equidad en cuanto a la categoría de ingresos económicos. En Brasil se puede observar que los consumidores más pobres pagan más por el agua debido a un sistema de distribución deficiente. Además, en los alrededores de todas las áreas metropolitanas de Brasil (São Paulo, Río de Janeiro, Salvador, Recife, Porto Alegre, Belém, Fortaleza y Manaus), cerca de 30 millones de personas requieren de saneamiento adecuado (eliminación de residuos sólidos y tratamiento de aguas residuales) (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2010c). La situación actual de los ríos urbanos es una muestra de este problema, ya que la mayoría de ellos, tanto en ciudades grandes como pequeñas, están contaminados y degradados y requieren proyectos urgentes para su restauración y recuperación (Tucci y Mendes, 2006).

El acceso a servicios de agua y tratamiento de aguas residuales también muestra disparidad en las distintas regiones del país, siendo las poblaciones rurales las que en muchas partes de Brasil tienen un acceso limitado a estos servicios. Asimismo, los niveles de consumo en las diferentes regiones de la nación también son contrastantes (Rebouças *et al.*, 2006).

Tomando en consideración que la incidencia de las enfermedades generadas por la mala distribución del agua o la falta de tratamiento de aguas residuales es alta, el déficit a gran escala en los servicios de saneamiento en Brasil es un reto social de la más alta prioridad que se deberá afrontar para disminuir la vulnerabilidad de las poblaciones periurbanas.

Por último, los cambios en el ciclo hidrosocial que surgen como consecuencia de las actividades humanas como la construcción de embalses, todavía no se entienden del todo en Brasil, y es necesario tanto medir su impacto como reducirlo o eliminarlo, considerando sobretodo la expansión de la producción hidroeléctrica (Tundisi y Campagnoli, en preparación).

7.2 Manejo integral de cuencas y recursos hídricos

Es necesario promover los esfuerzos necesarios para implementar una política integral de gestión de recursos hídricos a nivel de cuenca en Brasil a través del apoyo al programa de descentralización a gran escala actualmente en curso. Esto deberá incluir la atención al manejo de aguas superficiales y subterráneas y la promoción de la integración de datos biogeofísicos, uso de suelo, actividades agrícolas y la calidad del agua de arroyos, ríos mayores, embalses y lagos (Braga *et al.*, 2006, Tucci, 2007). También es necesario considerar que la presión para aumentar la producción agrícola se ha convertido en una amenaza para las áreas naturales de bosques, vegetación riparia y humedales. Así, la eliminación de la vegetación para aumentar el área dedicada a la agricultura es uno de los problemas urgentes que deberá ser resuelto tanto por los municipios, como por los organismos federales y estatales. A pesar de que recientemente se demostraron los efectos de la remoción de los bosques riparios, los mosaicos de vegetación y humedales en la calidad del agua superficial (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2010b), el Congreso Brasileño actualmente discute una modificación a la ley de protección forestal que beneficia a la producción agrícola. Esto ha movilizado a la sociedad, a la Academia Brasileña de Ciencias y a los científicos, con el fin de evitar los cambios que dañarán no sólo la disponibilidad y calidad del agua, sino también la biodiversidad.

USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

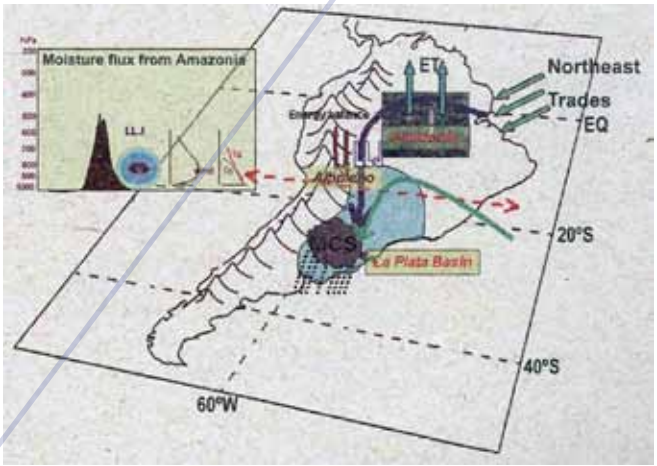
Por otra parte, existen varias iniciativas para mejorar la reforestación mediante la promoción de incentivos para los campesinos. Estas iniciativas a nivel municipal están siendo adoptadas en muchas regiones del Brasil y sin duda constituirán contramedidas al proceso de deforestación y a los posibles cambios en la ley federal. En muchas localidades brasileñas de entre 200,000 y 500,000 habitantes se han hecho propuestas para proteger las áreas de importancia para el suministro de agua y recarga de los acuíferos, creando nuevas oportunidades para mejorar la gestión del agua.

El mejoramiento de las prácticas de gestión de las cuencas de los ríos, mediante la adopción de la perspectiva del ecosistema, es un paso que se está incorporando a las iniciativas de gestión del agua en Brasil. Aunque éste es aún un proceso relativamente lento, el concepto ya se ha establecido en varios estados y regiones, reflejando una tendencia positiva (IIEGA/PMSP, 2009).

7.3 Protección y restauración de aguas superficiales y subterráneas

La contaminación y deterioro a gran escala en Brasil es una consecuencia del proceso a largo plazo de degradación de cuencas, descarga de aguas residuales, uso excesivo del suelo e impacto tóxico. La degradación de los valores y servicios ecológicos de los ecosistemas de agua dulce va seguido de un aumento general en la vulnerabilidad de la población, tanto urbana como rural, a sustancias tóxicas y patógenos. La capacidad de producción pesquera en ríos, embalses y lagos se ha visto dañada por este deterioro, ya sea directamente al producir mortandad masiva, o bien indirectamente al suspender el consumo de peces, crustáceos y moluscos contaminados (Tundisi *et al.*, 2006). Otra prioridad de gestión es hacer frente a especies invasoras. Los moluscos tales como *Limnoperna fortunei* (mejillón) y peces que han sido introducidos desde otros continentes o incluso de otras cuencas brasileñas están cambiando considerablemente la estructura de cadenas de alimentación y redes ecológicas en ríos, lagos y embalses, teniendo así impacto sobre la pesca (Rocha *et al.*, 2005).

Figura 8. Flujo de humedad de la Amazonia hacia el sureste de acuerdo al modelo conceptual de Marengo *et al* (2004 a)



Además, el desarrollo intensivo de la acuacultura con especies no nativas ha afectado de manera considerable a varias cuencas del Brasil y es necesario introducir tecnologías a gran escala para restaurarlas (Zalewsky, 2007). Las tecnologías ecohidrológicas en combinación con procesos ecológicos pueden disminuir los costos de la restauración, evitar inundaciones y podrían convertirse en una nueva tecnología alternativa para aplicarse en muchas regiones del país (Straskaba & Tundisi, 2008). Las tecnologías ecohidrológicas están en curso en regiones urbanas y metropolitanas (IIEGA/PMSP, 2009), aunque todavía se limitan a unas cuantas experiencias.

7.4 Cambio climático y recursos hídricos

Durante los últimos 10 años, los estudios sobre la variabilidad y cambio climático en América del Sur y Brasil han tenido un desarrollo intenso. Las variaciones en precipitación pluvial y descarga en la región del Amazonas y el noreste de Brasil muestran patrones interanuales y por década. Estas variaciones son más importantes que la tendencia constante a la reducción de la precipitación (Marengo, 2006). La variabilidad está asociada a los patrones de oscilación relacionados con El Niño (ENOS), la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP), la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y la variabilidad del Atlántico Sur y Tropical.

Se han observado los efectos de El Niño o La Niña en las regiones brasileñas del norte y noreste (períodos secos) y el sur (sequía durante La Niña y exceso de lluvia e inundaciones durante El Niño). Con el aumento en frecuencia o intensidad de El Niño, Brasil estará sujeto a más períodos de sequía, inundaciones o temporadas más cálidas (Marengo & Nobre, 2001; NAE, 2005 a,b; Marengo & Silva Dias, 2004a).

Los fenómenos de El Niño y La Niña en el Pacífico ecuatorial y el gradiente meridional de temperatura (temperatura a nivel del mar) sobre el Atlántico tropical son responsables en gran medida de la variabilidad interanual del clima en América del Sur. Los frentes fríos de la Antártida afectan

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

el clima de las regiones sur y sureste, así como el funcionamiento ecológico y limnológico de lagos, ríos y embalses (Tundisi *et al.*, 2004, 2006, 2010). Un logro importante en los estudios de flujo del agua en Brasil fue la comprensión del papel fundamental que juega la región del Amazonas en el equilibrio hídrico y el ciclo hidrológico de las áreas central y sureste del Brasil. En este sentido, Marengo *et al.*, (2004 a) han propuesto un modelo conceptual, con chorros de humedad que se transportan del Amazonas a la cuenca del sureste y de la Plata (Figura 8).

El cambio climático en Brasil y su impacto en el ciclo hidrológico, distribución del agua, periodos de inundación y sequía deben entenderse en función del uso de suelo a gran escala y la deforestación, así como el aumento de residuos sólidos y su inadecuada eliminación. Por ejemplo, una sinergia entre las aguas residuales no tratadas y el incremento de la temperatura superficial en lagos y embalses podría resultar en grandes floraciones de cianobacterias y el aumento en la frecuencia de floraciones tóxicas, tal como lo analizan Tundisi *et al.*, (2010).

La "sabanización" del amazonas podría dar como resultado una disminución del 30% en el agua de las regiones brasileñas del sur y sureste, causando un enorme impacto social y económico. Los cambios en la descarga de los ríos del Pantanal (el humedal más grande del mundo con una extensión de 200,000 km^2) ya fueron observados por Tucci (2003) y Tucci & Braga (2003). El impacto de los cambios en el clima puede afectar la salud humana por el incremento en el número de estanques temporales y el crecimiento de los vectores de enfermedades transmitidas por el agua (NAE, 2005 a,b).

La política hídrica en Brasil está abordando algunos de los problemas relacionados con los posibles cambios en el clima y sus efectos sobre la cantidad de agua y su distribución. El Nucleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República –el *Núcleo de Estudio Estratégico de la Presidencia de la República*– ha desarrollado estudios, escenarios y análisis de tendencias con el fin de promover políticas que logren por un lado mitigar los efectos del cambio climático, como son las grandes inundaciones en áreas urbanas, o los períodos largos de sequía en ciertas regiones, y por otro, adaptarse a estos efectos (Tucci y Mendes, 2006; Tucci, 2007).

Diversos seminarios sobre cambio climático y sus posibles efectos en los recursos hídricos han llevado a discusiones y propuestas con el fin de intensificar los esfuerzos de modelación para desarrollar escenarios más precisos de las consecuencias del cambio climático en el ciclo hidrológico y la economía (Tundisi, 2010, en prensa).

Figura 9. Frente frío en el sureste de Brasil el 13 de enero del 2011

Fuente: http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/loop/?idFonte=14. 13 de enero de 2011

7.5 Los eventos hidrológicos extremos y sus efectos en Brasil

En los últimos cinco años, los eventos hidrológicos extremos así como el uso inadecuado de la tierra y el deterioro de cuencas han causado muchos desastres en Brasil con pérdida de vidas y propiedades. En enero de 2011 los deslaves causados por fuertes precipitaciones, muy por arriba del promedio para el sureste de Brasil, cobraron la vida de 1000 personas y provocaron perdidas por US$500 millones (Figura 9).

La Figura 9 muestra la extensión del frente frío en el sureste de Brasil que produjo el desastre del 13 de enero de 2011. Éste fue el resultado de los frentes fríos de la Antártida que junto con el exceso de humedad del Amazonas provocaron fuertes lluvias y exceso de escurrimiento. Es urgente la prevención de estos desastres retirando a las personas de las áreas potenciales de impacto, educando a las personas que toman decisiones para que apliquen correctamente las políticas públicas, así como creando humedales artificiales y áreas de retención de agua (Tucci y

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

Braga, 2003; Tucci, 2007). La población brasileña potencialmente expuesta a estas catástrofes y que viven en áreas de riesgo es de 20 millones de personas. La prevención de estos desastres debe ser una prioridad de la política hídrica del Brasil y debe estar articulada con estudios territoriales y regionales, así como con la gestión del agua.

7.6 Contaminación de aguas costeras

La concentración de poblaciones humanas en áreas urbanas y metropolitanas ha resultado, como se muestra, en la contaminación de ríos, lagos y embalses a una escala sin precedentes. Debido a que la mayoría de la población brasileña además está concentrada en las áreas costeras o cerca de ellas, también está aumentando la contaminación de estuarios, bahías y aguas costeras. Lacerda *et al.*, (2008) han demostrado que el nitrógeno y fósforo de fuentes antropogénicas están causando un sobreenriquecimiento de los estuarios a lo largo del Ceará, costa estatal del noreste de Brasil. Ello se debe principalmente al impacto que tienen el escurrimiento urbano y la eliminación de desechos sólidos sobre las aguas superficiales. La evidencia de la contribución de emisiones no puntuales con cadmio y zinc en la bahía Sepetiba (sureste de Brasil) confirma la importancia cuantitativa de estas fuentes (Lacerda y Molisari, 2006). Es urgente la recuperación de los estuarios afectados por fuentes puntuales y no puntuales de contaminantes así como por nutrientes originados en regiones urbanas cercanas a las áreas costeras.

7.7 Mejoramiento de la calidad del agua potable, control de riesgos y reducción de la vulnerabilidad

La contaminación del agua potable debido a la pobre infraestructura es una realidad en localidades brasileñas grandes y pequeñas. La causa más común es la contaminación de los sistemas de distribución. El brote de enfermedades de origen hídrico está determinado tanto por la corrosión de tuberías, daños a las mismas debido a la construcción o reparación y la baja presión en ellas, como por la falta de control de sustancias químicas y la filtración inadecuada.

Es necesario mejorar la calidad técnica de distribución del agua y de los sistemas para su tratamiento. La introducción en el año 2000 de la política de monitoreo de la calidad del agua a nivel de cuenca, implementada para controlar la contaminación del agua en Brasil, ha sido significativa y ha ayudado a determinar el tratamiento adecuado para la potabilización. Esta ley es obligatoria y se ha puesto en práctica en todo el Brasil (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2010c).

El control de la calidad del agua potable también requiere de la implementación e introducción de tecnología avanzada para poder establecer los límites de los contaminantes orgánicos persistentes (POP-persistent organic pollutants). Al desarrollar nuevas técnicas moleculares, se deben tomar en cuenta el mayor riesgo y vulnerabilidad de la población humana a las sustancias orgánicas y los virus.

7.8 Estudios estratégicos

7.8.1 Hidroelectricidad

Los estudios estratégicos sobre el uso de la hidroelectricidad deben abordar la región del Amazonas ya que potencialmente puede proporcionar el 70% de la hidroelectricidad en Brasil en el futuro. Para ello se deben tomar en cuenta los efectos que se tendrían en cuanto a la pérdida de biodiversidad, la emisión de gases invernadero y los cambios en el ciclo hidrosocial en la morfología y caudal del río. Un ejemplo sería el efecto de los embalses sobre la fauna, específicamente sobre los grandes bagres que habitan los afluentes del Amazonas y que podrían correr el riesgo de su depleción e incluso de su extinción. Por ello la localización, ingeniería, tiempo de retención, volumen y áreas inundadas deben ser estudiadas estratégicamente para preservar importantes áreas de megabiodiversidad así como el ciclo hidrosocial (Tundisi y Campagnoli, en preparación).

7.8.2 Agua y economía

La relevancia de los recursos hídricos nacionales para el desarrollo económico del Brasil es bien conocida. El agua es fundamental para la producción de alimentos, la hidroelectricidad, navegación, recreación y la pesca. Por ello es necesario estudiar la relación entre los límites del desarrollo económico y la disponibilidad de aguas superficiales y subterráneas. Por otra parte, el uso de instrumentos económicos (tal como el principio que establece que aquél que contamine el agua o aquél que la consuma debe pagar por ella) requiere de estudios estratégicos adicionales (Canepa *et al.*, 2006; Hartman, 2010).

7.8.3 El impacto social y económico de los cambios hidrológicos y la condiciones climáticas extremas

Según lo reporta Tucci (2007), el manejo de riesgos relacionados con los desastres naturales tiene implicaciones sociales y económicas que merecen ser analizadas. Entre 1994 y 2003, las pérdidas por desastres naturales ascendieron a US$6.8 billones en todo el mundo. La reciente tendencia al aumento de estos eventos se debe a un incremento en la población que habita áreas de riesgo, el aumento del crecimiento urbano y la variabilidad del ciclo hidrológico asociado al cambio climático. Siendo que en Brasil el 80%

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

de la población humana se localiza en regiones metropolitanas o áreas urbanas, la infraestructura y el uso de suelo se han deteriorado especialmente en las áreas periurbanas medianas (< 1,000,000 habitantes) o en la metrópolis de mayor tamaño (> 5,000,000 habitantes). Las áreas de riesgo son extensas y la población que se considera vulnerable es de unos 20 millones de habitantes. La fragmentación de las cuencas por la urbanización es una realidad que genera consecuencias en el ciclo del agua, las inundaciones y el deterioro de la calidad del agua. Es urgente hacer estudios estratégicos de estos efectos, desarrollar sistemas de alarma y retirar a la población de las áreas en riesgo para mejorar la política hídrica nacional.

7.9 Agua y salud humana

PARA USO RESTRINGIDO

En Brasil todavía persisten las enfermedades de origen hídrico a pesar de los esfuerzos gubernamentales y las acciones regionales. La esquizomatosis, la leptospirosis, la intoxicación por toxinas producidas por cianobacterias y el dengue son enfermedades que afectan a millones de personas en todo el Brasil, especialmente en áreas periurbanas y poblaciones rurales (hubo 700,000 casos de dengue en 2008 y 8,000,000 infecciones por esquizomatosis en todo el país [Confalonieri *et al.,* 2010]); mientras que, por otra parte, las enfermedades de origen hídrico afectan a un gran número de niños de entre uno y cinco años de edad causando gran mortalidad infantil. Un avance relevante en el área de recursos hídricos y salud humana es el manejo de la contaminación y la implementación de metas para reducir la morbilidad y mortalidad debido a la falta de saneamiento. El desarrollo de un índice de agua/salud humana/medio ambiente podría ser de gran ayuda para fijar metas con base en acciones y medidas concretas (Confalonieri *et al.*, 2010).

7.10 Las regiones del Amazonas y noreste del Brasil

FORO CONSULTIVO

El manejo integral de los recursos hídricos en la región del Amazonas es una prioridad, ya que las características de esta región, como son su alta precipitación, abundante descarga de los ríos (para el río Amazonas es de 225,000 m^3/s), la interacción de ríos y bosques y su elevada biodiversidad constituyen bienes naturales de gran importancia para el Brasil. También es indispensable invertir en ciencia y tecnología en el Amazonas, así como en el desarrollo adicional de estudios ecológicos en coordinación con evaluaciones económicas del "capital natural" y servicios en los ecosistemas, además de un mejor conocimiento del ciclo hidrosocial como sería la interacción de *Homo sapiens* con el agua y los ecosistemas. Los esfuerzos para capacitar el personal técnico de científicos y administradores del agua también son esenciales (Val *et al.,* 2010).

Un reto igualmente relevante es la región semiárida del noreste del Brasil que da hogar a 30 millones de personas que sufren diariamente de la escasez de agua. El río São Francisco, la fuente más importante de agua en el noreste, actualmente sufre de un proceso de agotamiento, contaminación por metales pesados y sustancias tóxicas, así como descarga de aguas. Sus aguas ahora están siendo transferidas a las áreas orientales y occidentales de la región noreste, a través de una serie de canales artificiales (26 m^3/s). Esto podría cambiar la economía y la calidad de vida de millones de personas; sin embargo, el éxito de este proceso depende de la evaluación cuidadosa de los programas de desarrollo y el fomento de la capacidad humana.

7.11 Cuencas internacionales

Brasil y otros cuatro países (Argentina, Bolivia, Paraguay, Uruguay) comparten la cuenca de La Plata que tiene 3,000,000 km^2 y 120 millones de habitantes. Por su parte, la cuenca del Amazonas la comparte Brasil con Ecuador, Perú, Colombia, Venezuela, Guayana Francesa, Guyana y Surinam, y tiene 5,000,000 km^2, una población escasa y un suministro de agua abundante.

Es indispensable para el desarrollo económico y diversos usos en el futuro, que las políticas hídricas de Brasil integren a estos países con los que se comparten recursos hídricos.

7.12 Necesidades de investigación

Por ser componentes esenciales en el proceso de gestión integral del agua, es imprescindible incluir la ciencia, la tecnología y la innovación en la planeación e implementación del manejo integral de los recursos hídricos. El mejoramiento de la tecnología para abatir la eutrofización y contaminación, el desarrollo de nuevas tecnologías para la desalinización y el reúso del agua, y la implementación de bancos de datos a nivel nacional y regional son retos importantes. Se requiere de la integración de ecólogos, ingenieros y limnólogos para lograr estos avances (Hespanhol, 2010; Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2010a). Además es necesaria la investigación para apoyar los criterios técnicos en la adopción de medidas de protección de los acuíferos y superar su vulnerabilidad (Hirata *et al.,* 2010). Por otra parte, también es indispensable desarrollar lineamientos de contaminación basados en bioindicadores, así como en estudios de ecología y limnología en diferentes cuencas (Bere y Tundisi 2010; Tundisi, *et al.,* 2010a).

8. Conclusiones

En este documento se ha analizado la política hídrica en Brasil considerando las perspectivas presentes y del futuro. Brasil es un país con abundantes recursos hídricos que están distribuidos inequitativamente en relación con la población y las actividades económicas. Los usos del agua son diversos, siendo aproximadamente 70% destinado a la agricultura y el 30% para el suministro para usos humanos, industriales, pesqueros, recreativos, la navegación e hidroelectricidad. La Ley de Aguas de Brasil se estableció en 1997 y desde entonces la gestión integral de los recursos hídricos ha ido evolucionando. En 10 años, los 27 estados que constituyen el Brasil han establecido consejos y sistemas para la gestión del agua en todos los comités de cuenca. En 2001 se fundó la Agencia Nacional del Agua con el fin de coordinar las acciones a nivel federal y ayudar a implementar el proceso de manejo integral del agua en cada región con ríos federales y en cada estado de la Federación Brasileña. A pesar del progreso notable a nivel institucional y la búsqueda continua de la eficiencia y la descentralización, los problemas continúan.

Retos de la política hídrica en Brasil:

- Hacer un esfuerzo adicional para implementar la gestión integral de las cuencas (estatales y nacionales).
- Adoptar metas en cuanto a la calidad del agua y el saneamiento (tratamiento de aguas residuales domésticas, así como el tratamiento y la eliminación de desechos sólidos) para reducir el riesgo y la vulnerabilidad especialmente de las poblaciones rurales y periurbanas.
- Promover fuertes inversiones a nivel federal, estatal y municipal para disminuir la contaminación del agua por fertilizantes, pesticidas y metales tóxicos.
- Desarrollar estrategias para resolver conflictos sobre los múltiples usos del agua: la hidroelectricidad en áreas de alta biodiversidad (como la región del Amazonas), los impactos regionales sobre el ciclo hidrosocial, el crecimiento de la agricultura y la deforestación con los efectos sobre las fuentes de agua para abastecimiento público.
- Desarrollar y estimular estudios estratégicos de los recursos hídricos, el desarrollo económico y el uso de instrumentos económicos para la gestión integral de los mismos (el principio de que aquél que contamine el agua o la consuma es quien la paga).
- Promover el manejo integral de las cuencas, bajo un concepto de ecosistema e introduciendo tecnologías nuevas y de menor costo tales como la ecohidrología y ecotecnología. Esta prácticas de gestión pueden ser articuladas con estudios ecológicos y la introducción de tecnología para recuperar arroyos, ríos urbanos, ríos de gran tamaño y la protección de acuíferos.
- Promover estudios para la evaluación de los servicios de ecosistemas de agua dulce desde el punto de vista económico, tal como el papel de los humedales y bosques riparios en la conservación de la calidad y la cantidad del agua, así como la conservación de la biodiversidad.
- Desarrollar estrategias, promover grupos de estudio e implementar acciones para reducir el impacto de los desastres de origen hidrológico causados por el cambio climático y el uso inadecuado de la tierra, incluyendo análisis de riesgo de las áreas críticas.
- Mejorar la investigación de los indicadores biológicos dentro de los modelos de ecosistemas acuáticos, así como los estudios y evaluaciones estratégicos del futuro de los recursos hídricos, la calidad y cantidad de agua, así como su reúso.
- Promover e implementar estrategias adaptativas de gestión para manejar los efectos del cambio climático sobre el ciclo hidrológico, la disponibilidad del agua y su suministro.
- Proporcionar apoyo para mejorar la capacitación de administradores y la transferencia de tecnología a todas las regiones del país, así como desarrollar actividades para fomentar la participación pública a nivel de cuenca, promoviendo la educación sobre asuntos hídricos entre toda la población brasileña.
- Se debe poner especial atención en las regiones del Amazonas y del noreste del Brasil considerando las características especiales de sus ciclos hidrosociales, la dependencia extrema al agua para el desarrollo local y regional y la necesidad de un esfuerzo nacional de capacitación en estas regiones.
- Promover estudios para evaluar el impacto del uso de agua del subsuelo. Promover la vigilancia de la calidad del agua del subsuelo y manejar la sobreexplotación en ciertas regiones.
- Desarrollar la gestión de los recursos hídricos en las cuencas que se comparten con otras naciones como parte de la política del agua en Brasil.

Reconocimientos: Los autores agradecen a Viviane Genovez por su ayuda calificada en la preparación de este documento. También se agradece encarecidamente el apoyo de CNPq y de la Academia Brasileña de Ciencias.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

9. Referencias

1. Abe S., D.; Sidagis-Galli, C.; Matsumura-Tundisi, T.; Tundisi, J.E.M.; Grimberg, D.E.; Medeiros, G.R.; Teixeira-Silva, V.; Tundisi, J.G. (2009). The effect of euthrophication on greenhouse gas emissions in three reservoirs of the Middle Tietê River, Southeast Brasil, Verhandlugen Internacionale Vereinigung Limnologie, Vol. 30, Part 6, pp. 822-825.
2. Agência Nacional das Águas (ANA) (2009). Conjuntura. Recursos Hídricos no Brasil.Brasília, D.F., pp 203.
3. Agência Nacional das Águas 2002. A evolução da gestão de recursos hídricos no Brasil/The evolution of the Water Resources Management in Brasil, Brasília, 64 pp.
4. Azevedo, S.M.F.O. (2005). South America: toxic cyanobacteria. In: Codd,G.A., Azevedo, S.M.F.O., Bagchi, S.N, Burch, M.D., Carmichael, W.W., Harding, W.R., Kaya, K. & Utkilen, H.C. (Eds.). Cyanonet: a global network for cyanobacterial bloom and toxin risk management, IHP-Unesco, Paris, pp. 115-126.
5. Bere, T. and Tundisi, J.G. (2011). Influence of ionic strength and conductivity on benthic diatom communities in tropical river (Monjolinho), S. Carlos, SP. Brasil, Hydrobiologia, Vol. 661, pp. 261-276.
6. Bicudo, C.E.M.; Tundisi, J.G.; Cortesão S., Marcos (Eds.) (2010). Águas do Brasil: analyses estratégicas, Academia Brasileira de Ciências. Secretaria Meio Ambiente Estado de São Paulo, p. 222.
7. Braga, B.; Flecha, R; Pena, S.D.; Felman, J. (2006). A reforma institucional do setor de recursos hídricos. In: Rebouças, A.; Braga, B.; Tundisi, J.G, (Eds.). Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. Escrituras Editora, São Paulo, pp. 639-673 (3ª edição).
8. Braga, B.; Porto, M. & Tucci, C. (2006). Monitoramento da quantidade e qualidade das águas. In: Rebouças, A.; Braga, B.; Tundisi, J.G, (Eds.). Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação, Escrituras Editora, São Paulo, pp. 146-160 (3ª edição).
9. Cánepa, E.M.; Pereira, S.J.; Lana, E.L. (2010). Água e Economia. pp. 43-54. In: Bicudo, C.E.M.; Tundisi, J.G.; Cortesão S., M. Orgs. Águas do Brasil: Análises estratégicas, Academia Brasileira de Ciências, Secretaria Meio Ambiente, Estado de São Paulo. 222 pp.
10. Confalonieri, U.; Heller, Azevedo, S. (2010). Água e saúde: aspectos globais e nacionais, pp.27-38. In: Bicudo, C.E.M.; Tundisi, J.G.; Cortesão S., M. Orgs. Águas do Brasil: Análises estratégicas, Academia Brasileira de Ciências, Secretaria Meio Ambiente, Estado de São Paulo, 222 pp.
11. Hartman, P. (2010). A Cobrança pelo uso da Água como instrumento economico da Política Ambiental, Aeba, p. 497.
12. Hespanhol, I. (2010). Conservação e reuso como instrumentos de gestão para atenuar os custos de cobrança pelo uso da água no setor industrial, pp. 59-76, In: Bicudo, C.E.M.; Tundisi, J.G.; Cortesão S., M. Orgs. Águas do Brasil: Análises estratégicas. Academia Brasileira de Ciências, Secretaria Meio Ambiente, Estado de São Paulo, p. 222.
13. Hirata, R.; Gomes Zoby, J.L.; Oliveira de, F.R. (2010). Água subterranean: reserva estratégica ou emergencial, pp. 149-161. In Bicudo, C.E.M; Tundisi, J.G.; Cortesão S., M. Orgs. Águas do Brasil: Análises estratégicas. Academia Brasileira de Ciências, Secretaria Meio Ambiente, Estado de São Paulo. p. 222.
14. IIEGA/PMSP (2009). Manual de gerenciamento de bacias hidrográficas, p. 134, São Carlos/São Paulo.
15. Instituto de Estudos Avançados (2008). Dossiê Água. Universidade de São Paulo, 336 pp.
16. Jorgensen, J.E.; Lofler, H.; Rart, W.; Straskraba, M. (2005). Lake and reservoir management, Elsevier, Amsterdam, 502 pp.
17. Lacerda, L.D; Molisani, M.M.; Sera, D; Maria, P.L. (2008). Estimating the importance of natural and antropogenic sources on N and P emission to estuaries along the Ceará State Coast. N.E of Brasil. Environ. Mon.t.Ass. Vol. 141, pp. 149-164.
18. Lacerda, L.D. and Molisani, M.M. (2006). Three decades of Cd and Zn contamination in Sepetiba Bay SE Brasil: evidence from the mangrove oyster Crassoscrea rhizophorae, Mar. Poll. Bull., Vol. 52, pp. 969-987.
19. Marengo, J.A. (2008). Água e Mudanças climáticas. pp. 83-96, In: Dossiê Água. Inst. Estudos Avançados, U.S.P., 336 pp.
20. Marengo, J.A. (2006). Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade, IBAMA, 212 pp.
21. Marengo, J.A.; Silva Dias, P. (2006). Mudanças climáticas e globais e seus impactos nos recursos hídricos. Capítulo 3 em Águas Doces do Brasil: Capital Ecológico, uso e Conservação, pp. 62-109. A. Rebouças, B. Braga, J. Tundisi (Eds.), Editora Escrituras, SP.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

22. Marengo, J.A.; Soares, W.R; Saulo, C.; Nicolini, M. (2004a). Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as derived from the NCEP-NCAR reanalysis, Journal of Climate, 17, pp. 2261-2280.
23. Marengo, J.A. e Soares, W.R. (2003). Cap. 6, Impacto das mudanças climáticas no Brasil e possíveis futures cenários limáticos: síntese do terceiro relatório do IPCC, pp. 209-242. In: Tucci, E.M.C. e Braga, B. (organizadores) (2003). Clima e Recursos Hídricos no Brasil, ABRH.ANA, Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas, p. 348.
24. Marengo, J.A.; Nobre, C.A. (2001). The Hydroclimatological framework in Amazonia. In: Biogeochemestry of Amazônia, Richey., McClaine, M., Victoria, R. (Eds.), pp. 17-42.
25. Moss, G. e Moss,M. Eds. (2005). Brasil das Águas. Revelando o Azul do Verde e Amarelo, Petrobrás, 153 pp.
26. NAE (2005a). Mudança de Clima, Vol.I, Negociações internacionaos sobre a mudança de clima; vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança de clima, Cadernos NAE, Núcleo de Assuntos Estratégicos da presidência da República, NAE-SECOM, 2005. Brasília, 250 pp.
27. NAE (2005a). Mudança de Clima, Vol.II: Mercados de Carbono. Cadernos NAE, Núcleo de Assuntos Estratégicos da presidência da República, NAE-SECOM 2005, Brasília, 500 pp.
28. OECD (2003). Improving water management: recent OECD, Experience, IWA Publishing, 128 pp.
29. Rebouças, A.; Braga,B.; Tundisi, J.G. (2006). Águas doces no Brasil: Capital ecológico, usos e conservação. Escrituras Editora, S. Paulo, 732 pp, (3ª edição).
30. Rocha, O.; Espíndola, E.; Fenerich-Verani, N.; Verani, J.R.; Rietzler, A.C. (2005). Espécies invaspras de água doce: estudos de caso e propostas de manejo. EDUFSCAR, 416 pp.
31. Sidagis-Galli, C.; Abe S., D.; Teixeira-Silva, V.; Medeiros, G.R.; Brum, P.R.; Cimbleris, A.C.P. (2009). Greenhouse gas concentration and diffusive flux at the sediment-water interface from two reservoirs in Brasil, Verhandlugen Internacionale Vereinigung Limnologie, Vol. 30, Part 6, pp. 830-833.
32. Straskraba, M; Tundisi, J.G. (2008). Diretrizes para o gerenciamento de lagos, Vol. 9, Gerenciamento da qualidade da água de represas (2ª Edição), ILEC/IIE, 300 pp.
33. Tucci, C.E.M. (2010). Urbanização e Recursos Hídricos. pp-113-128. In: Bicudo, C.E.M.; Tundisi, J.G.; Cortesão S., Marcos (eds.) Águas do Brasil, Análises Estratégicas, Academia Brasileira de Ciências, Secretaria do Meio Ambiente, Estado de São Paulo, p. 222.
34. Tucci, C.E.M. (2007). Inundações urbanas, ABRH; RHAMA, 389 pp, (1ª edição).
35. Tucci, C. & Mendes, A.G. (2006). Avaliação Ambiental integrada de bacias hidrográficas, MMA, PNUD, 311 pp.
36. Tucci, E.M.C & Braga, B. (Orgs.) (2003). Clima e Recursos Hídricos no Brasil, ABRH, ANA, Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas, 348 pp.
37. Tucci, E.M.C. (2003). Recursos hidrológicos e os impactos do uso do solo, pp. 31-76. In: Tucci, C.E.M., Braga, B. Orgs. Clima e Recursos Hídricos no Brasil, ABRH, ANA, GWP, Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas, 348 pp.
38. Tundisi, J.G. & Campagnoli, F. (2011). How many more dams in The Amazon? (in preparation).
39. Tundisi, J.G. e Matsumura-Tundisi, T. (2010a). Ciência, Tecnologia, Inovação e Recursos Hídricos: oportunidades para o futuro, pp. 179-197. In: Bicudo, C.E.M.; Tundisi, J.G.; Cortesão S., Marcos (eds.) Águas do Brasil, Análises Estratégicas, Academia Brasileira de Ciências, Secretaria do Meio Ambiente, Estado de São Paulo, 222 pp.
40. Tundisi, J.G. & Matsumura-Tundisi, T. (2010b). Potential impacts of changes in the forest law in relation to water resources, Biota Neotropica, Vol. 10 nº 4 (in press).
41. Tundisi, J.G. & Matsumura-Tundisi (2010c). Recursos Hídricos no século 21, Oficina de Textos (in press), new edition.
42. Tundisi, J.G.; Matsumura-Tundisi, T.; Pereira, K.C.; Luzia, A.P., Passerini, M.D.; Chiba, W.A.C.; Morais, M.A.; Sebastien, N.Y. (2010). Cold fronts and reservoir limnology: an integrated approach towards the ecological dynamics of freshwater ecosystems. Braz. J. Biol. Vol. 70, nº 3, Supl. o, Sao Carlos Oct. 2010.
43. Tundisi, J.G. & Matsumura-Tundisi, T. (2008). Limnologia, Oficina de Textos, SP, 632 pp.
44. Tundisi, J.G.; Sebastien, N.Y.; Matsumura-Tundisi, T.; Tundisi, J.E.M. & Manzini, N.F. (2006). The responses of reservoir of Southern Brasil to the passage of cold fronts as reflected by physical, chemical and biological variables. Verhandlugen Internacionale Vereinigung Limnologie, Vol. 29, pp. 2124-2128.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

45. Tundisi, J.G.; Matsumura-Tundisi, T.; Galli, C.S. (2006) (eds.) b) Eutrofização na América do Sul: causas, conseqüências e tecnologias para gerenciamento de controle. São Carlos: Instituto Internacional de Ecologia, Associação Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental, Eutrosul, 531 pp.
46. Tundisi, J.G. (2005). Águas futuras: o futuro dos recursos hídricos no Brasil, pp. 148-153. In: Moss, G. e Moss, M. (Eds.), Brasil das Águas. Revelando o Azul Verde e Amarelo, Petrobrás, 153 pp.
47. Tundisi, J.G.; Matsumura-Tundisi, T.; Arantes Junior, J.D.; Tundisi, J.E.M.; Manzini, N.F. and Ducrot, R. (2004). The response of Carlos Botelho (Lobo/Broa) reservoir to the passage of cold fronts as reflected by physical, chemical and biological variables, Brasilian Journal of Biology, Vol. 64, nº 1, pp. 177-189.
48. UNESCO/IHP (2004). Integrated watershed management. Ecohydrology & Phytotechnology Manual. UNEP/IETC, 246 pp.
49. UNESCO, UNEP (2008). Water Quality for Ecosystem and Human Health. IAP, ERCE, GEMS, Water, 120 pp.
50. Val L.; A. *et al*. (2010). Amazônia: recursos hídricos e sustentabilidade, pp. 95-112. In: Bicudo, C.E.M.; Tundisi, J.G.; Cortesão S., M. (Eds.). Águas no Brasil: análises estratégicas, Academia Brasileira de Ciências, Secretaria do Meio Ambiente Estado de São Paulo, 222 pp.
51. Zalewski, M. (2007). Ecohydrology in the face of anthropocene, Vol. 7, nº 2, pp. 99-100.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Lago Moraine, Parque Nacional Banff, Alberta, Canadá
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Moraine_Lake_17092005.jpg?uselang=es

Los recursos hídricos en Canadá

Un punto de vista estratégico

Keith Hipel[1], Andrew D. Miall[2] y Daniel W. Smith[3]

[1] Former Vice President of the Canadian Academy of Science, Royal Society of Canada, Senior Fellow, Centre for International Governance Innovation, University Professor, Department of Systems Design Engineering, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada
[2] Former President of the Canadian Academy of Science, Royal Society of Canada, Gordon Stollery Chair in Basin Analysis and Petroleum Geology, Department of Geology, University of Toronto, Toronto, Ontario, Canada
[3] Director, Applied Science and Engineering Division, Academy of Science, Royal Society of Canada, Professor Emeritus, Department of Civil and Environmental Engineering, Cross Appointment, School of Public Health, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada

USO RESTRINGIDO
CONSULTIVO

1. Introducción

En todos los niveles de gobierno en Canadá se debe adoptar un planteamiento adaptativo, integrador y participativo para la gobernanza del agua desde un pensamiento de perspectiva sistémica con el fin de tratar de manera proactiva los problemas hídricos estratégicos existentes, así como las dificultades no previsibles que aparecerán en el futuro. Con el asesoramiento de todos los niveles de gobierno y los involucrados clave, Canadá debe desarrollar una política hídrica nacional integral que refleje los valores de los canadienses y que tenga precedencia sobre los acuerdos de comercio internacionales. Debido a su inmensidad y la rica diversidad de sus regiones climáticas y ecosistemas, Canadá tiene muchos problemas hídricos regionales que resolver, tales como el deshielo de glaciares en las Montañas Rocallosas, sequías en las planicies, gran demanda de agua en las arenas bituminosas, inundaciones en Manitoba, niveles fluctuantes de agua y contaminación en los Grandes Lagos, expansión de las centrales hidroeléc-

tricas en el norte de Quebec y Labrador, y la amenaza de la exportación de agua, especialmente de los Grandes Lagos. Por otra parte, existe una gran variedad de desafíos hídricos por afrontar en muchas regiones de Canadá: sobreexplotación de aguas subterráneas, contaminantes emergentes, prevención y redesarrollo de áreas industriales abandonadas, agua embotellada, y un mayor impacto negativo del cambio climático. Además, se hacen recomendaciones específicas para lograr una gobernanza del agua inteligente tanto en Canadá como internacionalmente. Por otra parte, también se formulan innovaciones en la gobernanza relacionadas con el cambio climático, la energía y el comercio.

2. Situación general del agua en Canadá

Canadá tiene la reputación de haber sido bendecida con inmensas cantidades de agua dulce, dado el gran número de cuerpos prominentes de agua presentes en su paisaje, incluyendo los Grandes Lagos, muchos otros lagos gigantes (Great Slave, Great Bear, Winnipeg) y los miles de lagos que salpican el Escudo Canadiense (Figura 1). A la luz de esta aparente abundancia de agua, no sorprende demasiado que los canadienses usen una enorme cantidad de agua comparado con otras naciones. El consumo de agua per cápita de los canadienses (incluyendo los sectores agrícola, industrial y doméstico) sólo es menor al de los Estados Unidos, y es por lo menos el doble que el de los países europeos (Boyd, 2001). Desafortunadamente, sin embargo, la percepción de abundancia es en buena parte infundada. Los datos muestran que Canadá queda en un distante tercer lugar, después de Brasil y la Federación Rusa, en cuanto al total de recursos hídricos renovables, con el 6.5% del total global (Sprague, 2007). Por otra parte, la mayoría de esta agua se localiza en el Ártico, o escurre a través de los ríos del norte, y por lo tanto prácticamente no está disponible para su uso inmediato por la mayoría de los canadienses (excepto por aquélla utilizada en los sistemas de generación de energía hidroeléctrica, como se menciona en la Sección 4.6). En la práctica, y contando únicamente los suministros renovables en el sur de Canadá, donde vive el 85% de la población, Canadá tiene cerca del 2.6% del abastecimiento mundial, y esta región del país es de hecho significativamente más seca que el promedio de los Esta-

PARA USO RESTRINGIDO

Figura 1. Mapa de Canadá señalando las áreas analizadas (NRCan, 2002)

dos Unidos (Sprague, 2007; Schindler, 2007). Además, Canadá recibe en realidad la misma cantidad de precipitación promedio por m² que muchos otros países. El motivo por el cual este país parece tener tal riqueza de agua dulce se debe a que el paisaje canadiense está marcado por gran número de depresiones (creadas por el avance y retroceso histórico de los glaciares) que pueden contener agua y formar lagos, y también debido al grado de evaporación y transpiración relativamente bajos en esta región más bien fría del mundo. Por lo tanto, mientras que Canadá quizás tenga una "cuenta bancaria" de agua dulce relativamente grande, tiene una muy baja "tasa de interés" en términos de la capacidad de sus aguas para reabastecerse, y si su gasto de agua excede el "interés" disponible, Canadá no será capaz de mantener su "capital" hídrico (Schindler, 2007). De hecho, actualmente existe una gran amenaza a la disponibilidad de agua en Alberta, Saskatchewan y Manitoba (Sección 4.2), la región de los Grandes Lagos en la parte suroeste de Ontario (Sección 4.5), y las regiones que dependen de aguas subterráneas en muchas partes de Canadá (Sección 5.1). Por otra parte, el mayor número de zonas de explotación de arenas bituminosas en Alberta está aumentando la demanda de agua y amenazando su calidad en esa región (Sección 4.3).

La Figura 1 muestra un mapa de Canadá con su división política y muchos de sus lagos y ríos; ahí se señalan particularmente los lugares a los que posteriormente se hará referencia. La superficie emergida de Canadá es de aproximadamente 10 millones de km², lo que lo convierte en el segundo país en el mundo por su tamaño después de la Federación Rusa. Como se observa en este mapa, el norte de Canadá consiste de Nunavut, los Territorios del Noreste y el Territorio del Yukón. La parte sur de Canadá contiene las 10 provincias canadienses, la mayoría de las cuales hacen frontera con los Estados Unidos. De poniente a oriente, estas provincias son: Columbia Británica; Alberta, Saskatchewan y Manitoba (las Provincias de la Pradera); Ontario; Quebec, así como New Brunswick, Prince Edward Island, Nova Scotia, y Newfoundland y Labrador (Canadá Atlántica). El corazón industrial canadiense se sitúa en el sur de Ontario y sur de Quebec, mientras que el "granero" corresponde a las Praderas Canadienses donde se cultivan grandes cantidades de trigo y otros granos, una región que frecuentemente sufre de sequía. Canadá posee grandes reservas de una rica variedad de recursos naturales a lo largo del país, incluyendo inmensas arenas bituminosas en Alberta y Saskatchewan que requieren enormes cantidades de agua para recuperar los productos del petróleo, como se describe más adelante en la Sección 4.3.

Como se observa en la Figura 1, la distribución espacial de las aguas superficiales no es equitativa a lo largo del país. El norte y gran parte de las praderas son bastante áridos, con condiciones casi desérticas en el alto Ártico. Las regiones costeras del sur, particularmente a lo largo de la costa del Pacífico, son muy húmedas, mientras que las regiones a lo largo del río San Lorenzo y los Grandes Lagos, buena parte de las provincias del Atlántico y las Montañas Rocallosas en el oeste disfrutan precipitación abundante mas no excesiva. Como consecuencia, cualquier consideración de los recursos hídricos en Canadá tendrá frecuentemente una importante dimensión regional (CCA, 2009), como lo confirman los temas de la Sección 4.

Cerca del 30% de la población de Canadá (casi 10 millones de canadienses) depende de aguas subterráneas como fuente de su agua potable, y más del 80% de la población rural del país depende de estas aguas para la totalidad de su suministro (Environment Canada, 2004). Aunque no hay nada en Canadá que se compare con el inminente desastre del acuífero Ogallala en los Estados Unidos –una gran reserva de agua subterránea por debajo de los estados de la Pradera Occidental que pronto será "minada" hasta agotarse (Reisner, 1993; de Villiers, 2003)– ya han sucedido o podrían suceder varios problemas graves relativos al uso de aguas subterráneas en el país. Ejemplos de estos problemas incluyen la tragedia de Walkerton de 2000, en la que murieron siete personas y más de 2,300 se enfermaron gravemente cuando un pozo subterráneo se contaminó con la bacteria *E. coli* en la población de Walkerton, Ontario, como consecuencia de fallas en el tratamiento de aguas y su inadecuada regulación (Sección 5.1); las más de 1,760 advertencias vigentes para hervir agua en los municipios y 93 en las Primeras Naciones en todo Canadá (a partir de febrero de 2008) (Eggertson, 2008), y los graves problemas actuales o potenciales de contaminación de aguas subterráneas asociados con el desarrollo de gas y petróleo (Sección 4.3), basureros, áreas industriales abandonadas (Sección 5.3), derrames químicos y tiraderos industriales. Se calcula que anualmente sólo el 3% de las aguas subterráneas son activas en el ciclo hidrológico (Figura 3, Sección 3.3), y sólo el 1% del agua en los Grandes Lagos se recicla en el mismo período. La explotación de aguas subterráneas a una velocidad que excede estos porcentajes no es sustentable a largo plazo. El reporte de CCA (2009) declara que "Canadá aún no experimenta el sobre-uso a gran escala de aguas subterráneas. Se han presentado problemas locales graves en casos individuales, pero esto no ha sucedido a escala nacional". Debido a la gran importancia de las aguas subterráneas en Canadá, este tema se explora más profundamente en la Sección 5.1.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

En 1863, John Palliser describió los llanos canadienses como "un distrito de ninguna manera deseable para el asentamiento" con grandes áreas que "serán por siempre comparativamente inútiles". "Por azar, la llegada de pobladores a las praderas hace poco más de 100 años coincidió con un cambio hacia condiciones climáticas más húmedas, –una coincidencia notable que permitió el desarrollo del corazón agrícola de Canadá. Sin embargo, las investigaciones sobre las praderas canadienses han mostrado que la región ha experimentado sequías repetidas y más prolongadas a lo largo de los últimos miles de años que aquéllas del siglo XX. Con el desarrollo de grandes centros urbanos, agricultura extensa y crecimiento industrial, ahora hay gran consternación en cuanto al suministro de agua, particularmente por el posible impacto del cambio climático en el suministro y demanda de agua." (Grasby, 2008) (Sección 5.5).

Debido a la inmensa importancia de los recursos hídricos tanto en Canadá como prácticamente en cada nación alrededor del mundo, la Academia de Ciencias, parte de la Royal Society of Canada, fue la sede de la conferencia titulada "El Agua en Canadá y en el Mundo: Tensiones al Alza en el Siglo 21: Temas y Soluciones". Esta conferencia oportuna se celebró en el Museo de Ciencia y Tecnología de Canadá en Ottawa, su capital, el 17 de noviembre de 2006. Las presentaciones y discusiones en esta conferencia, los puntos de vista de investigadores y profesionales de todo Canadá, y el conocimiento de los autores con respecto al agua, forman la base de mucho del contenido de este reporte relativo a un punto de vista estratégico de los recursos hídricos en Canadá. También se obtuvieron antecedentes de una serie de conferencias en curso con el nombre de "Conferencia sobre el Medio Ambiente y la Investigación Hídrica" (ICWRER -Conference on Environment and Water Research), celebrada por primera vez en la Universidad de Waterloo en 1993 con conferencias posteriores en Kyoto (1996), Brisbane (1999), Dresden (2002), Adelaide (2008) y la ciudad de Quebec (2010). Otras fuentes de las que los autores obtuvieron importante material de apoyo son los artículos presentados en la "Conferencia Anual del Instituto McGill para el Estudio de Canadá" de 2010, que se llevó a cabo en la Universidad de McGill el 25 y 26 de marzo con el tema "El Agua Canadiense: Hacia una Nueva Estrategia"; los documentos de las conferencias anuales de la "Asociación de Recursos Hídricos de Canadá"; los artículos arbitrados de publicaciones tales como Canadian Water Resource Journal, e información de los valiosos sitios web presentados en la Sección 7.1.

Como resultado del mero tamaño físico de Canadá, con sus diversos tipos de regiones geográficas y zonas climáticas, algunos de los problemas estratégicos del país son regionales en lugar de ser dificultades comunes presentes en muchas partes del país. Por consiguiente, en la Sección 4 se abordan los problemas hídricos regionales urgentes, comenzando con el poniente y en dirección oriente. En la Sección 5, los autores abordan los problemas hídricos que afectan a muchas regiones del país. De manera más importante, en la Sección 6 se proponen recomendaciones para mejorar la gobernanza del agua en Canadá en cuanto a los problemas hídricos regionales y nacionales analizados en las Secciones 4 y 5 respectivamente, así como otras cuestiones hídricas que no se mencionan en estas secciones. Primero, sin embargo, se presentan los sistemas de gobernanza actuales dentro de Canadá y su vecino del sur.

3. Gobernanza del agua dentro de Canadá e internacionalmente

Tal y como se señala en la Sección 3.1, Canadá necesita una política hídrica nacional integral, a pesar de que desde sus inicios, en 1867, el país ha hecho avances notables en la gestión de sus enormes recursos hídricos en cooperación con sus gobiernos provinciales y territoriales. Desde el punto de vista internacional, Canadá y los Estados Unidos manejan en conjunto sus muchas cuencas compartidas en forma justa y efectiva a través de la Comisión Internacional Conjunta (IJC International Joint Comission) que implementa las políticas del Tratado de Aguas Fronterizas de 1909, como se explica en la Sección 3.2 Las cuencas dentro de Canadá y aquéllas que son compartidas con su amigable vecino del sur a lo largo de la frontera, están bien gobernadas en general siguiendo los principios de gestión integradora con la participación de las partes interesadas (Sección 6.2), como se analiza en las Secciones 3.2 y 3.3. Con el fin de superar las debilidades inherentes de la legislación hídrica federal en cuanto a la cantidad y calidad del agua, el Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente aborda los problemas específicos del agua y otros temas ambientales de interés nacional, como se explica en la Sección 3.4. Sin embargo, el compromiso de Canadá para cumplir con los acuerdos de comercio dentro de la Organización Mundial de Comercio (OMC) y el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) amenaza la soberanía canadiense sobre sus recursos naturales como son el agua y la energía, y la administración ambiental de sus vastos ecosistemas según lo dictan sus leyes y regulaciones nacionales, provinciales y locales. El conflicto en

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

curso sobre el agua y el comercio se describe en la Sección 3.5, mientras que el peligro inminente de la exportación del agua canadiense en grandes cantidades se aborda en la Sección 4.7.

3.1 Estructura legal del agua en Canadá

El Dominio de Canadá fue creado el 1 de julio de 1867 e inicialmente consistía de Ontario (Canadá Superior), Quebec (Canadá Inferior), Nova Scotia y New Brunswick. Hoy en día Canadá consiste de 10 provincias, Nunavut, el Yukón y los Territorios del Noreste (Figura 1). El Acta de Constitución de 1867, antes llamada Acta de Norteamérica Británica (British North America Act), constituye el fundamento sobre el cual se ha ampliado o modificado la constitución en muchas ocasiones, desde que se reunieron cuatro antiguas colonias británicas para formar Canadá. La Ley de Constitución especifica la forma como se comparten las responsabilidades entre los tres niveles de gobierno en Canadá: federal, provincial o territorial y municipal. A nivel federal, el parlamento de Canadá consiste de una Cámara de los Comunes (los miembros del parlamento son electos, y el líder del partido político que tiene mayoría es generalmente el Primer Ministro) y un Senado (los senadores son designados). Bajo el Artículo VI de la Constitución, relativo a la distribución de los poderes legislativos, el gobierno federal determina la regulación del comercio y transacciones (Sección 91.2), navegación y transporte (Sección 91.10), pesca en costas marinas y del interior (Sección 91.12) e intereses de propiedad exclusiva de ciertas aguas septentrionales (Shrybman, 2000).

De acuerdo con el Artículo VI de la Constitución, las legislaturas de las provincias tienen la responsabilidad principal sobre la mayoría de los recursos naturales, tierras y propiedades públicas (Sección 92.5). Aunque no se menciona el agua específicamente en la Constitución, el agua por ley se considera una propiedad y se entiende que el suelo incluye el agua. Asimismo, las provincias son dueñas de sus recursos hídricos, incluyendo las aguas superficiales y subterráneas, y son las responsables de regular las corrientes, autorizar el uso y explotación de las aguas, así como conceder autoridad para legislar las áreas de suministro de agua, controlar la contaminación y desarrollar centrales termo e hidroeléctricas. Además, las provincias han tomado la responsabilidad primordial de la gestión del agua al promulgar leyes hídricas, otorgar licencias para uso de agua y la descarga de aguas residuales, además de delegar poderes a las autoridades municipales locales y de conservación de cuencas, quienes tienen un papel importante en la implementación de la gestión del agua. No obstante, la división entre la jurisdicción federal y provincial no siempre es clara o contradictoria, como en el caso de la exportación de agua que se discute en la Sección 4.7. Un obstáculo legal adicional en Canadá es que la ley de aguas en Quebec se deriva del Código Civil de Quebec, que tiene sus raíces en el Código Napoleónico, mientras que las leyes de aguas de otras provincias canadienses provienen de la ley civil basada en el derecho consuetudinario del Reino Unido.

Debido a que el agua con frecuencia se cruza o sobrepone a los límites jurisdiccionales dentro de Canadá y también con los Estados Unidos, el gobierno federal frecuentemente participa en la cooperación y acuerdos intergubernamentales (Pearse, 1998). Después de la confederación en 1867, el gobierno federal asumió la responsabilidad de los proyectos hídricos clave, como son grandes embalses y obras de control de inundaciones, y de servir los intereses de la nación, como al fomentar el comercio y colonizar el oeste (Secciones 3.2. y 3.3 para el caso de cooperación bilateral con los Estados Unidos). En 1966, se estableció una administración de aguas en el nuevo Departamento de Energía, Minas y Recursos, cuya sección de agua dulce luego se convirtió en la Dirección de Aguas Interiores. Posteriormente se fundó un Comité Interdepartamental del Agua para coordinar los programas hídricos, y en 1970 se promulgaron leyes incluyendo la Ley de Aguas de Canadá, la Ley de Contaminación de Aguas del Ártico, la Ley de Aguas Interiores del Norte y enmiendas a la Ley de Transporte Marítimo de Canadá y Ley de Pesca. Los canadienses estaban claramente preocupados con los muchos temas relacionados con el agua como son el suministro, dispersión y control de contaminantes, reducción de daños por inundaciones, sequías y protección del patrimonio de los ríos. Llegaron a ver el agua no sólo como un bien, sino como un elemento fundamental del ambiente y la cultura canadiense.

Las contribuciones del gobierno federal a las políticas hídricas llegaron a su cúspide en 1987 con la promulgación de la Política Federal de Aguas, que se basó en el reporte Pearce de 1985. Esta política, relativamente perspicaz e incluyente, fue diseñada para "*... fomentar el uso del agua dulce de manera eficiente y equitativa de acuerdo con las necesidades sociales, económicas y ambientales de las generaciones presentes y futuras*". Desafortunadamente, la Política Federal de Aguas fue pospuesta en la Cámara de los Comunes y nunca se convirtió en ley. En cambio, los asuntos relacionados con el agua fueron absorbidos por la Ley Ambiental de Canadá de 1989, y el régimen conservador gobernante se enfocó en la negociación del Acuerdo de Libre Comercio Canadá-Estados Unidos de 1989. Canadá aún no tiene una ley nacional de aguas en general, y en la Sección 6.3.1 se

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

hace la recomendación de que desarrolle una. Bajo la Ley de Protección Ambiental, Ley de Pesca y Ley de Aguas de Canadá, que rigen actualmente, el gobierno federal tiene la responsabilidad primordial de la salud de la industria pesquera tierra adentro; la emisión y deposición de sustancias nocivas, y el mandato de vigilar el estado del agua dulce nacional. El gobierno federal también supervisa las aguas fronterizas, el agua para las comunidades aborígenes, y el agua en suelo federal como son parques nacionales y tierras del Departamento de Defensa Nacional.

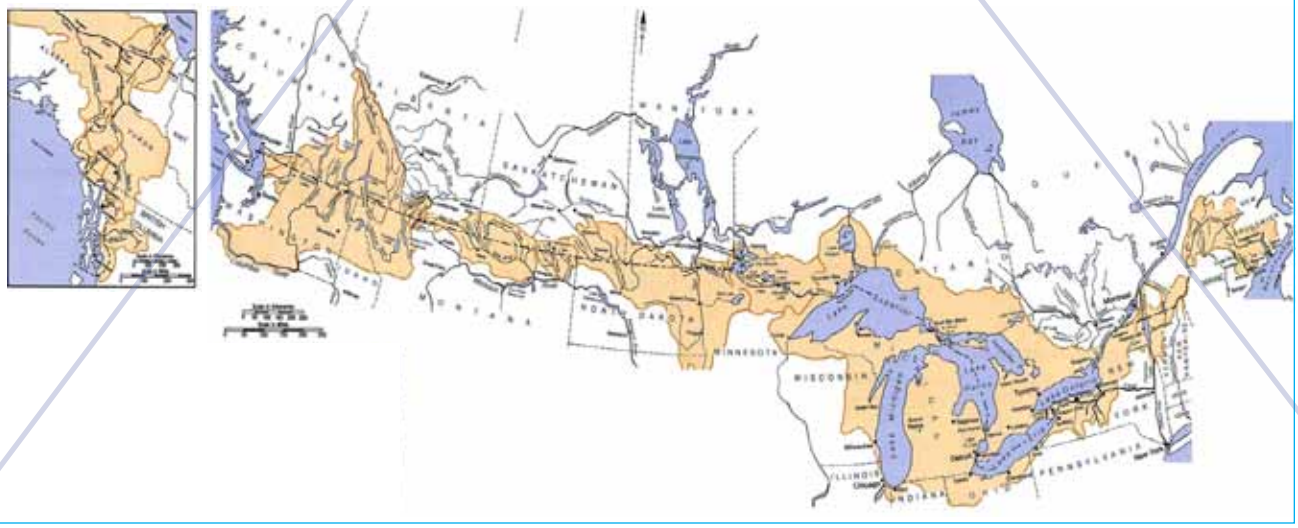
Los estudios de investigación con apoyo federal continúan. En 2004 Environment Canada publicó una colección de estudios de los usos municipales, agrícolas e industriales del agua (Environment Canada, 2004), y en 2009 un Panel Experto del Consejo de Academias Canadienses publicó su estudio sobre aguas subterráneas en Canadá (CCA, 2009) (Sección 5.1).

3.2 Tratado de Aguas Fronterizas de 1909

En el mundo existen 261 cuencas internacionales que drenan un área total equivalente a la mitad de la tierra emergida en el mundo (Wolf, 2010), y cerca del 40% de la población mundial vive en cuencas compartidas por dos o más naciones (Global Water Partnership, 2009, p. 55). Muchas personas consideran que la competencia entre los países por controlar los recursos hídricos escasos podría disparar los enfrentamientos bélicos entre ellos en el futuro (Gleick, 1993); sin embargo, algunos autores piensan que el conflicto por el agua pudiera ser un motivo para la cooperación y la paz (Wolf, 2002). Por consiguiente, para proteger y conservar los recursos hídricos limitados y evitar posibles conflictos internacionales por recursos hídricos fronterizos, han estado entrando en vigor un número cada vez mayor de políticas hídricas internacionales (Dellapenna, 2001). Actualmente se han firmado más de 3,600 acuerdos internacionales bilaterales y multilaterales alrededor del mundo (Vinogradov *et al.*, 2003), cuatro de los cuales son comparados por Ma *et al.* (2007) para evaluar su efectividad de acuerdo con criterios significativos. El primer código de leyes relativas a cauces fluviales internacionales fueron las Reglas de Helsinki sobre los Usos de las Aguas de Ríos Internacionales, adoptadas por la Asociación Internacional de Derecho en 1966. Aunque los lineamientos de las Reglas de Helsinki no eran legalmente vinculantes, pronto recibieron aceptación mundial como derecho internacional consuetudinario y fueron una influencia importante en los acuerdos de aguas de muchas organizaciones y países hasta la creación de la Convención sobre el Derecho de los Usos de los Cursos de Aguas Internacionales para Fines Distintos de la Navegación de las Naciones Unidas de 1997. Estas normas fueron sustituidas por las Reglas de Berlín sobre Recursos Hídricos en 2004 (Salmon, 2007).

El 11 de enero de 1909, los Estados Unidos y Gran Bretaña, en nombre del Dominio de Canadá, firmaron el Tratado de Aguas Fronterizas. Con el paso del tiempo, éste ha probado ser un tratado bilateral muy exitoso para evitar y resolver disputas fronterizas relativas al agua y el ambiente, proporcionando además un modelo ideal a seguir por los demás países. La Figura 2 muestra la gran cantidad de cuencas que cruzan la frontera Canadá-Estados Unidos a lo largo de casi 9,000 km. El motivo fundamental por el que este tratado

Figura 2. Cuencas que cruzan la frontera Canadá/EE.UU



PARA USO INSTITUCIONAL
FORO CONSULTIVO

ha sido tan funcional en la resolución de conflictos surgidos en las numerosas cuencas internacionales compartidas por estas dos naciones es que fue diseñado deliberadamente para reflejar de forma justa y transparente los valores de las partes interesadas al "programar" las disposiciones apropiadas en el tratado. Específicamente, el tratado creó la Comisión Conjunta Internacional (IJC International Joint Commission), un cuerpo binacional independiente con funciones de investigación, regulación y arbitraje, con el fin de implementar sus mandatos y hacerlo completamente operacional. La IJC está compuesta de seis miembros: tres comisionados nombrados por el Presidente de los Estados Unidos, con consejo y aprobación del Senado y cuyo nombramiento puede ser supervisado por el congreso, y tres nombrados por el Gobernador en Consejo de Canadá, con aportación del Primer Ministro pero sin supervisión adicional. Por consiguiente, los ciudadanos de ambos países tienen igual representación en la IJC, con un comisionado de cada país fungiendo como copresidentes. Sobre todo, los seis Comisionados deben actuar imparcialmente en la revisión de los problemas y al tomar decisiones sobre los temas, en lugar de representar los puntos de vista de sus respectivos países. Es decir, la IJC hace lo que es mejor en general para los ciudadanos de ambas naciones, en lugar de actuar de acuerdo con los intereses de las corporaciones, que es el caso del Acuerdo de Libre Comercio de América del Norte que se analiza en la Sección 3.5. Como mecanismo de resolución de conflictos, la IJC busca resoluciones en las que todos ganen. La IJC puede hacer recomendaciones al respecto de un asunto o referencia que proponga cualquiera de los países, aunque en la práctica sólo actúa cuando ambos países solicitan una investigación.

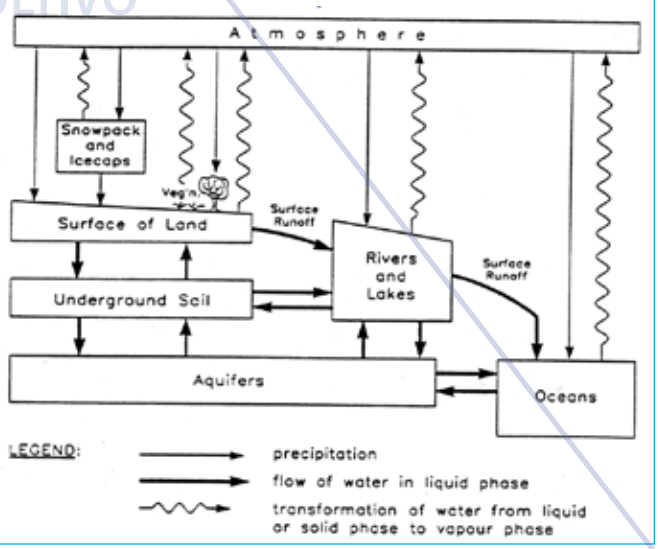
Cuando la IJC investiga un problema, como por ejemplo el proyecto propuesto de irrigación del Garrison Diversion Unit mencionado en la Sección 4.4 (IJC, 1977) y los niveles fluctuantes de los Grandes Lagos (Levels Reference Study Board, 1993; Yin *et al.*, 1999; Rajabi *et al.*, 2001; IJC, 2009a) (Sección 4.5), llama a los mejores expertos de ambos países para que lleven a cabo estudios exhaustivos de los antecedentes y propongan recomendaciones imparciales para dirimir la disputa. Desde sus inicios, la IJC ha ejecutado numerosos estudios de referencia, incluyendo uno relativo a la exportación de agua (IJC, 2000) (Sección 4.7) y otro dedicado al manejo de cuencas internacionales siguiendo un enfoque integrador y adaptativo (IJC, 2009b) (Sección 6.2). En su capacidad reguladora, la IJC otorga su aprobación para la construcción y operación de obras de aguas que puedan afectar los niveles o las corrientes en la frontera internacional. A lo largo de su historia, la IJC ha establecido 30 consejos, fuerzas de tarea y consejos de estudio para la gestión de aguas fronterizas, como el Consejo de Calidad del Agua de los Grandes Lagos que se analiza en la Sección 4.5.

Dos provincias canadienses (Ontario y Quebec) y ocho estados norteamericanos comparten la cuenca de los Grandes Lagos. En diciembre de 2005, estas entidades políticas firmaron el Acuerdo Anexo de la Carta de los Grandes Lagos (Great Lakes Charter Annex Agreement), que fortalece considerablemente las medidas de conservación y otorga mayor protección contra las propuestas de desviación de la cuenca de los Grandes Lagos. Este acuerdo y otras versiones salidas de él se analizan en la introducción de la Sección 4 y en la Sección 4.5.

3.3 Gobernanza del agua a nivel de cuenca

El movimiento continuo del agua en todas sus formas en la atmósfera, en la superficie de la tierra y por abajo de ella se conoce como el ciclo del agua o ciclo hidrológico. El diagrama de sistemas del ciclo hidrológico que se muestra en la Figura 3 fue concebido por primera vez durante el Renacimiento por Leonardo da Vinci y constituye la primera descripción precisa de un sistema ambiental clave (Hipel y McLeod, 1994) y las referencias que ahí se mencionan). Cuando la precipitación cae sobre la superficie de la tierra, el agua sobre o cerca de ella sigue los contornos terrestres para fluir cuesta abajo como pequeños arroyos, que a su vez se amalgaman para crear grandes ríos y lagos. Una cuenca, que puede estar conformada por una o más cuencas menores, forma un componente importante del ciclo hidrológico general que se muestra en la Figura 3, y por lo

Figura 3. Ciclo hidrológico (Eagleson, 1970; Hipel y McLeod, 1993)



PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 4. Cuenca del Grand River en el sur de Ontario, Canadá

Longitud: 280 km
Área: 6,800 km^2
Cambio de elevación: 351 m
Rango promedio de precipitación mensual (a lo largo de 7 estaciones meteorológicas operadas por GRCA): 70.1 mm–80.0 mm

Lugar	Flujo anual promedio (m^3/s) (para 2009)
Dundalk (fuente)	1.2
Marsville	9.0
Shand Dam	11.4
West Montrose	17.1
Doon	32.5
Galt	48.7
Brantford	95.5

Fuente: GRCA, 2001, 2010, 2011; Environment Canada, 2010

tanto, constituye una unidad geográfica natural dentro de la cual se puede implementar efectivamente la gobernanza del agua para la gestión tanto de su cantidad como de su calidad (Bruce y Mitchell, 1995). En la Sección 6.2 se presenta un planteamiento integrador y adaptativo a la gobernanza del agua dentro de un marco de sistema de sistemas.

Afortunadamente, los organismos de gobierno en todo Canadá ahora reconocen la importancia de la gobernanza del agua a nivel de cuenca, aún si la cuenca cruza fronteras internacionales, como el caso de Canadá y los Estados Unidos que se muestra en la Figura 2, o fronteras jurisdiccionales a nivel de provincia o niveles menores. En Canadá, el primer organismo de gestión de cuenca fue la Comisión de Conservación de Grand River (Grand River Conservation Commission) establecida en 1932 por una ley del Gobierno Provincial de Ontario para afrontar problemas de inundación, sequía y contaminación provocados por cambios en la muy desarrollada cuenca de Grand River en el sur de Ontario como se muestra en las Figura 4. El éxito de la Comisión llevó a la promulgación de la Ley de Autoridades de Conservación de Ontario (Conservation Authorities Act of Ontario) en 1946, y a la creación de 36 autoridades para la conservación en Ontario que rigen a la totalidad de sus 12 millones de ciudadanos. La Comisión de Conservación de Grand River original se transformó en la Autoridad de Conservación de Grand River (GRCA-Grand River Conservation Authority) en 1966. De hecho, la GRCA ha tenido tanto éxito en la ejecución de su mandato que, en 1994, el Grand River, que fluye unos 300 km desde las tierras altas de Dufferin County en el norte de la cuenca hacia el lago Erie en el sur, fue clasificado como Río del Patrimonio Canadiense. En 2000, la GRCA recibió el International Riverprize en Brisbane, Australia, por la excelencia en la gestión fluvial.

La gobernanza inteligente es un resultado directo del diseño sólido. En particular, la Ley de Autoridades de Conservación contiene tres conceptos fundamentales para fomentar que una autoridad de conservación en particular tenga el desempeño deseado en la gestión de una cuenca. Primero, la autoridad de conservación es una iniciativa local, ya que los residentes deben solicitar al gobierno de Ontario que se forme una de acuerdo con la ley, así como compartir su financiamiento y asumir la responsabilidad de su manejo, de forma semejante a lo que se hace para un municipio. De esta manera, los ciudadanos que viven en la cuenca están facultados como partícipes, a través de la autoridad, para llevar a cabo proyectos que involucren el agua y que puedan manejar desde el punto de vista económico, cultural y democrático. En segundo lugar, los

PARA USO RESTRINGIDO
FOR CONSULTIVO

costos de los proyectos se comparten entre los municipios y el gobierno provincial, lo que significa que una autoridad sólo tendrá éxito cuando los residentes locales estén dispuestos a mantenerla económicamente. En tercer lugar, una autoridad de conservación tiene competencia sobre una o más cuencas bajo su control, lo que le otorga la capacidad de manejar problemas como el control de inundaciones, reforestación, el aumento del bajo flujo, recreación y otros compromisos que decida tomar de forma responsable, racional y sistemática.

Además de Ontario, otras provincias han implementado formas innovadoras de gobernanza del agua a nivel de cuenca. En la Sección 6.1, se menciona el ejemplo de Quebec que estableció una gestión efectiva basada en la cuenca en toda la provincia mediante la Política Hídrica de Quebec de 2002 (Government of Quebec, 2002). Esta lúcida gobernanza del agua dentro de la cuenca contrasta de manera importante con la falta de liderazgo a nivel nacional en términos de la existencia de una política hídrica nacional propiamente dicha. Esta falta de lineamientos nacionales en alguna medida puede deberse a que las provincias, las comunidades aborígenes, y en las propiedades federales (Sección 3.1) tienen el poder para manejar los recursos hídricos, excepto en las fronteras internacionales (Sección 3.2). En contraste, las provincias han armado un mecanismo de cooperación para tratar asuntos ambientales específicos como se describe en la siguiente subsección.

3.4 Consejo Canadiense de Ministros del Ambiente

Como se explicó en la Sección 3.1, el sistema federal de gobierno canadiense coloca el control sobre los recursos naturales como el agua bajo la jurisdicción compartida tanto del gobierno provincial como del federal. Sin embargo, la jurisdicción federal prevalece en zonas que incluyen las aguas que cruzan fronteras internacionales (Sección 3.2), el agua que está en propiedad federal y las tierras de las Primeras Naciones, así como donde el agua fluye entre dos o más provincias. En parte como resultado de la falta de una política hídrica nacional, se formó el Consejo Canadiense de Ministros del Ambiente (CCME-Canadian Council of Ministers of the Environment) para resolver los problemas ambientales de inquietud nacional tales como aquéllos que involucran el agua. Los miembros del CCME son los 14 ministros ambientales de los gobiernos federal, provincial y territorial, quienes se reúnen por lo menos una vez al año para discutir las prioridades ambientales para Canadá y decidir las tareas que hay que realizar bajo los auspicios del CCME.

Cuando los Ministros del Ambiente deciden abordar un asunto ambiental específico, los altos funcionarios establecen equipos de trabajo de expertos de los ministerios federal, provincial y territorial para llevar a cabo las tareas necesarias con el apoyo de una secretaría permanente. Cuando es necesario, se busca la opinión experta externa, como podría ser dentro del ámbito académico o el sector privado, a través de la formación de un comité de asesoría. Como ejemplos del trabajo realizado por el CCME se pueden mencionar la Estrategia para la Lluvia Ácida en Todo Canadá, desde un punto de vista amplio, y el Código de Prácticas para Tanques de Almacenamiento de Petróleo, para un problema técnico específico.

La falta de consistencia en la calidad del efluente de aguas residuales que existe entre las distintas provincias y los conflictos que ello puede generar es un ejemplo ilustrativo de un problema abordado por el CCME. En un esfuerzo por concertar la política en esta área, el 17 de febrero de 2009, 13 de los 14 gobiernos acordaron la "Estrategia para el Manejo de los Efluentes de Aguas Residuales Municipales en Todo Canadá", la cual fija los Estándares Nacionales de Desempeño (CCME, 2009) (Nota: Quebec no ha aprobado el acuerdo ni los estándares ambientales para todo Canadá). El objetivo del proceso de armonización es la entrega de una estrategia reguladora que fomente la protección de la salud pública y ambiental; promueva el desarrollo sustentable, y logre una mejor gestión en general de aguas residuales municipales. El acuerdo también pretende evitar que se dupliquen las actividades y las disputas interjurisdiccionales; revisar y ajustar los regímenes administrativos para dar cabida a las necesidades; delinear las funciones de las unidades gubernamentales, y desarrollar planteamientos consistentes sobre los temas. Se definieron un total de 13 principios para asegurar un enfoque más consistente del manejo de efluentes de parte de todas las jurisdicciones.

Los estándares de desempeño iniciales especifican los valores máximos para la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea en 25 mg/l mediante la prueba de cinco días (cBOD5), en 25 mg/l para los sólidos suspendidos totales (SST) y en 0.02 mg/l para cloro residual total (CRT). Además, el efluente no debe ser tóxico. Aunque estos valores no representan los estándares mínimos de calidad y ni siquiera se acercan a los de tecnología de punta, representan un paso sustancial en el proceso de armonización de las actividades nacionales, provinciales y territoriales para reducir la contaminación. De hecho, en la provincia de Alberta se ha realizado un esfuerzo más concentrado para desarrollar un marco regulatorio con el fin de manejar los

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS
FORO CONSULTIVO

efectos ambientales acumulados (Alberta Environment, 2007). Al reconocer que todas las actividades en cada una de las cuencas impactan de alguna manera el ambiente y particularmente la calidad del agua, se vuelve indispensable que el impacto acumulativo se convierta en un punto focal de los esfuerzos de gestión. El lograr relaciones funcionales entre todos los usuarios en una cuenca es una tarea formidable, pero necesaria.

3.5 Conflictos sobre el agua y el comercio

Tal como se explica más adelante, el comercio internacional de Canadá se da dentro de la gama de acuerdos contenidos bajo dos grupos de convenios principales e interconectados: el conjunto de acuerdos patrocinados por la Organización Mundial de Comercio (OMC) y el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). Desafortunadamente, los valiosos recursos hídricos canadienses no están protegidos bajo los acuerdos de la OMC ni los del TLCAN, como falsamente anunciaron aquéllos que inicialmente propusieron el TLCAN. En realidad, estas dos colecciones de pactos de comercio abordan sólo la economía de resultados y los llamados temas de libre comercio con poca consideración por las condiciones ambientales, los derechos humanos, las leyes laborales y otros asuntos sociales. Además, dado que los ecosistemas están en veloz caída alrededor del mundo y que el clima se está calentando como resultado directo de la industria, agricultura y otras actividades humanas relacionadas con el comercio, estos acuerdos comerciales claramente tienen que ser reemplazados o actualizados radicalmente para responder a la inmensa crisis ambiental que enfrenta la humanidad, incluyendo los problemas asociados con la disminución de la cantidad y calidad de agua dulce.

En la Sección 6.3.1 se hace una recomendación al respecto de los acuerdos de comercio como resultado de la conexión cercana entre el agua y el comercio. De hecho, y como se mencionó anteriormente en la Sección 3.2, conforme el agua se vuelva cada vez más escasa en un mundo que aún pasa por una enorme expansión poblacional, muchos autores predicen que habrá guerras por el agua (Dyer, 2008), aunque Wolf (2002) considera que el agua constituye el punto focal para la cooperación entre las naciones y grupos culturales. Cualquier que sea el caso, la relativa escasez de agua dulce necesariamente dará lugar a cada vez más conflictos que esperemos serán resueltos de manera cooperativa y no mediante la hostilidad descarada. No obstante, si no se toman acciones responsables pronto, el comercio y el ambiente van rumbo a la colisión (Hipel y Obeidi, 2005).

Desde el fin de la Segunda Guerra Mundial, se han hecho grandes esfuerzos para fomentar el comercio libre entre las naciones de acuerdo con reglas justas de comercio en el mercado global. El Acuerdo General sobre Aranceles y Comercio (GATT-General Agreement on Tariffs and Trade) fue establecido en 1947, y posteriormente fue enmendado por varios convenios. El GATT se estableció después de la guerra como parte de los Acuerdos de Bretton Woods con los cuales también fueron creados el Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional. Como final de la Ronda de Negociaciones de Uruguay, que comenzó en septiembre de 1986, en abril de 1994 se firmó el Acuerdo de Marrakesh en Marruecos para establecer la Organización Mundial de Comercio (OMC), que inició operaciones oficialmente el 1 de enero de 1995. La OMC tiene una variedad de acuerdos, incluyendo la última versión del GATT y un procedimiento para la resolución de conflictos con el fin de fomentar el libre comercio alrededor del mundo.

El Tratado de Libre Comercio de América del Norte entre Canadá, México y Estados Unidos entró en operaciones el 1 de enero de 1994, y constituye una expansión del Tratado de Libre Comercio entre Canadá y Estados Unidos de 1988. Uno de los suplementos del TLCAN es el Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN), que desafortunadamente sólo obliga a los tres países a hacer cumplir sus propias leyes ambientales en lugar de tener regulaciones ambientales estrictas a lo largo de las naciones como sucede en Europa. Actualmente, los países de América del Norte y del Sur están armando un acuerdo llamado Área de Libre Comercio de las Américas (ALCA), que se planea tomará el lugar del TLCAN eventualmente. Otra organización que se ocupa exclusivamente de asuntos de comercio desde la perspectiva de los grandes negocios es la Alianza para la Seguridad y Prosperidad de América del Norte (ASPAN) que firmaron los líderes de Canadá, México y Estados Unidos el 23 de marzo de 2005. De hecho, el ASPAN fue iniciado por el Consejo Canadiense de Ejecutivos en Jefe (Canadian Council of Chief Executives) que temía trastornos fronterizos por la "guerra contra el terrorismo" de los Estados Unidos.

Tanto el TLCAN como los convenios económicos bajo la OMC son completamente operacionales y en gran parte están siendo cumplidos por los estados miembros. Desafortunadamente, ésta no es la situación con respecto a los tratados ambientales transnacionales, y en la actualidad realmente no existe un tratado internacional vinculante e integral sobre el ambiente o el agua. Sin embargo, se han logrado unos cuantos tratados exitosos relativos al ambiente en áreas específicas, incluyendo la Ley del Mar

USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

(Division of Ocean Affairs, 1997) y el Protocolo de Montreal sobre Sustancias que Destruyen la Capa de Ozono de 1987 (UNEP, 2003). Como se explicó en la Sección 3.2, dentro de Norteamérica, el Tratado de Aguas Fronterizas de 1909 entre Canadá y los Estados Unidos constituye un ejemplo modelo y probado a lo largo del tiempo de un tratado bilateral exitoso que trata los problemas de cantidad y calidad del agua así como de contaminación. No obstante, la mayoría de las iniciativas ambientales globales no se han materializado a nivel internacional: las naciones del mundo no se adhirieron al Protocolo de Kyoto para reducir los gases de invernadero y no desarrollaron un programa para reducir las emisiones en la reunión de Copenhague de diciembre de 2009. A pesar de que Canadá actualmente no tiene una política hídrica nacional (Sección 3.1), está procurando cierto grado de consistencia nacional en cuanto a sus estándares ambientales a través del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (Sección 3.4).

Un gran problema con los acuerdos económicos internacionales es que el sistema de valores subyacente o los objetivos escritos en estos tratados pueden estar en conflicto directo con los sistemas de valores de las leyes de aguas y ambientales en Canadá o en la mayoría de las demás naciones. Se puede considerar, por ejemplo, el caso del TLCAN. De acuerdo al Capítulo 11, los individuos o corporaciones pueden demandar compensación a Canadá, México o los Estados Unidos cuando las acciones tomadas por aquellos gobiernos afecten negativamente sus inversiones. De ahí, una compañía americana está demandando al gobierno de Canadá por no permitir la exportación de agua en cantidades al por mayor, como previamente lo hacía un gobierno provincial antes de la revocación de la licencia de la compañía, no obstante que el retiro a gran escala del agua podría causar daño ecológico importante como se explica en la Sección 4.7. Por consiguiente, quienes se oponen al TLCAN argumentan que este acuerdo internacional permite que las corporaciones hagan caso omiso de las leyes ambientales, sociales y económicas canadienses tanto federales como provinciales, y por lo tanto representan una amenaza a la soberanía de Canadá y a los derechos de los canadienses en forma individual. McMurty (2002, pp. 112-113) señala que los acuerdos de la OMC y TLCAN tienen regulaciones vinculantes en cuanto a los derechos de los inversionistas y las corporaciones transnacionales, pero no existe un solo artículo vinculante con respecto a la protección del ambiente, los derechos humanos y el trabajo. Hipel y Obeidi (2005) explican el sistema de valores de quienes proponen el libre comercio y aquel de los que apoyan la gestión ambiental en el actual conflicto que enfrenta el comercio contra el ambiente, y proporcionan numerosas referencias que presentan las posiciones de cada grupo. Además, de acuerdo con el principio de proporcionalidad del TLCAN, una vez que se permite la exportación de agua, ésta no puede ser suspendida, ya que el país que provee el agua no puede disminuir la cantidad relativa de agua exportada al país receptor. Tal como se menciona en la Sección 4.7, como respuesta a las protestas públicas en los Estados Unidos y Canadá sobre la exportación de aguas en masa propuesta, la International Joint Commission (Sección 3.2) recomendó en un estudio del 2000 prohibir la exportación de aguas fronterizas en masa a menos que se pueda probar definitivamente que no se dañará la ecología (IJC, 2000). No obstante, si un caso de exportación de aguas fuera llevado a la corte internacional de La Haya, no está claro qué lado ganaría. Autores como Sandford (2009), Barlow (2007), Barlow y Clarke (2002), de Villiers (2003), Dellapenna (2001) y Wolf (1998) han expuesto otros temas relativos a la explotación del agua. Funcionarios de Canadá y Europa están negociando un nuevo acuerdo de comercio, conocido como Acuerdo Económico y Comercial Integral entre Canadá y la Unión Europea (CETA-Canada-European Union Comprehensive Economic and Trade Agreement). De manera semejante al NAFTA, CETA daría precedencia a los intereses de las corporaciones europeas sobre las normas y estándares de las provincias y municipios canadienses (Barlow, 2011). Esto potencialmente tendría muchas consecuencias graves para Canadá, incluyendo la privatización de sus sistemas públicos de servicios hídricos (Canadian Union of Public Employees and Council of Canadians, 2010).

Ya que los acuerdos económicos internacionales sólo tratan los aspectos económicos del comercio entre las naciones, la integridad tanto de la cantidad como de la calidad del agua en las cuencas de Canadá está bajo una amenaza constante, no obstante la gobernanza responsable del agua que se pudiera estar dando a nivel de cuenca (Sección 3.3), y en otras jurisdicciones canadienses (Secciones 3.1 y 3.4), así como en las cuencas en la frontera de Canadá y los Estados Unidos (Sección 3.2). Con respecto al diagrama conocido como ciclo hidrológico que se muestra en la Figura 3, lo anterior significa que los recursos hídricos de Canadá podrían resultar dañados a nivel de cuenca si no se proporciona la protección legal apropiada. Además, según muchos científicos, el cambio climático, exacerbado por la emisión de enormes cantidades de gases de invernadero resultado del amplio uso de hidrocarburos como fuente clave de energía para el motor económico en continua expansión, puede afectar todas las partes del ciclo hidrológico. De ahí las tres recomendaciones propuestas en la Sección 6.3.2: una que estimula a Canadá a negociar un acuerdo económico internacional que dé prioridad a la

FORO CONSULTIVO

manutención de un ambiente sano, el bienestar social y los derechos de los individuos dentro de una estructura de desarrollo sustentable; otra que propone que Canadá negocie un tratado efectivo de emisiones de gases de invernadero para disminuir la probabilidad de que todo el ciclo hidrológico en la Figura 3 se vea grave e irreversiblemente dañado por el calentamiento global y el cambio climático (ver comentarios bajo la recomendación 9 en la Sección 6.3.2), y una tercera que sugiere que Canadá participe en la elaboración de un tratado internacional integral para el agua dulce.

4. Problemas hídricos regionales estratégicos en Canadá

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

Como se explicó en la Sección 1 y se muestra en el mapa de la Figura 1, por su tamaño Canadá es la nación que ocupa el segundo lugar en el mundo con una superficie de 10 millones de km², abarcando muchos climas y regiones geológicas a la vez que contiene una rica gama de ecosistemas. Por consiguiente, muchos de los problemas estratégicos del agua están contenidos dentro de regiones específicas de Canadá. Del oeste al este, los problemas hídricos particulares comienzan con el deshielo de los glaciares de las Montañas Rocallosas del oeste canadiense, que se analiza en la Sección 4.1. Este deshielo está exacerbando las condiciones de sequía en las Provincias de las Praderas (Figura 5), como se menciona en la Sección 4.2. Una fuga adicional de recursos hídricos en Alberta, y hasta cierto grado en Saskatchewan, es el rápido aumento de la demanda de agua para extraer y procesar el bitumen minado de las inmensas reservas de arenas bituminosas (Figura 6), como se señala en la Sección 4.3. La emergente industria del gas pizarra o gas de esquisto es una nueva amenaza a las reservas de aguas superficiales, ya que está extrayendo cantidades importantes de agua de los sistemas fluviales en la cuenca del río Horn del noreste de Columbia Británica. En esta región, las licencias actuales permiten la sustracción de agua en volúmenes hasta de 275,000 m³ (Parfitt, 2010, p. 26). Esta industria también tiene implicaciones en el uso de aguas subterráneas, como se analiza en la Sección 5.1.

La cuenca del río Rojo de Manitoba y Dakota del Norte (Figura 9), así como las corrientes y lagos río abajo, como el lago Winnipeg, están directamente amenazados por obras en los Estados Unidos, incluyendo actividades agrícolas intensas y el drenado del lago interior llamado Devils Lake en Dakota del Norte, altamente contaminado y que escurre mediante el río Sheyenne hacia el río Rojo que a su vez fluye al norte hacia Canadá. Un brebaje desagradable de contaminantes y biota extraña de Dakota del Norte podría tener consecuencias ambientales devastadoras en Canadá, como se analiza en la Sección 4.4, mientras que las inundaciones de primavera en la cuenca del río Rojo seguirán causando estragos (Figura 10), como sucedió recientemente en 1997, 2009 y 2011. Afortunadamente, la ciudad de Winnipeg ha construido un sistema altamente efectivo de evacuación de avenidas alrededor de la ciudad para canalizar las aguas de las crecidas del río Rojo y sus afluentes (Figura 10), pero otras áreas pueden sufrir inundaciones.

La gobernanza de los Grandes Lagos (Figura 11), tratada en la Sección 4.5, es efectiva tanto en términos de calidad del agua como de los niveles fluctuantes de los lagos, como resultado directo de las políticas sobresalientes del International Joint Commission (Sección 3.2) así como las de los ocho estados norteamericanos y dos provincias canadienses con los que cruza la cuenca de los Grandes Lagos. A pesar de que en muchos lagos y ríos a lo largo de Canadá se genera energía hidroeléctrica por las diferencias de elevación, la inmensa obra de la bahía James en el norte de Quebec (Figura 12) y la de Churchill Falls en Labrador son particularmente sobresalientes. El conflicto de estos proyectos con los pueblos de las Primeras Naciones así como la disputa entre el gobierno de Quebec y el gobierno de Labrador y Newfoundland sobre la venta de la central Churchill a Quebec Hydro a un precio exageradamente bajo se analizan en la Sección 4.6. Finalmente, en la Sección 4.7 se pone en perspectiva el actual debate sobre la posible venta de agua canadiense en masa. Las personas que viven en las regiones áridas del suroeste de los Estados Unidos y en otras regiones áridas del mundo han especulado sobre la importación de enormes cantidades de agua de Canadá (Figura 1), especialmente de lo que se percibe incorrectamente como las reservas infinitas de agua dulce de los Grandes Lagos (Figura 11). En realidad, grandes cantidades de agua ya están siendo exportadas dentro y fuera de Canadá en forma de agua embotellada y virtual, como se explica en la Sección 5.4. La toma de conciencia de la amenaza que podrían significar las regiones más secas del mundo para los Grandes Lagos llevó en 2005 a la firma del Acuerdo Anexo de la Carta de los Grandes Lagos, como se hace notar al final de la Sección 3.1.

4.1 Deshielo de glaciares

La cantidad de hielo de origen glaciar en Canadá sólo es menor al de la Antártica y Groenlandia (CCME, 2010). Alrededor de 200,000 km², o 2% de la superficie de Canadá,

están cubiertos de glaciares y campos de hielo (NRCan, 2009), lo que constituye el equivalente al total de agua en los lagos y ríos del país (NRCan, 2010). Estos glaciares y campos de hielo se encuentran en la región de la Cordillera Occidental, que se extiende a lo largo de Columbia Británica y la orilla oeste de Alberta hasta el Ártico oriental. La importancia hídrica de los glaciares agua es que actúan como tanques de agua naturales, almacenándola en forma de hielo durante el invierno y luego soltándola conforme el hielo se derrite por el calor del sol, y así complementando las corrientes fluviales a lo largo de los meses de verano (NRCan, 2001). Los aprovechamientos como el suministro municipal de agua, la irrigación, la generación de energía hidroeléctrica y la industria pesquera dependen de estos ríos (CCME, 2010). En Canadá la pérdida de los hielos glaciares es por ello un tema importante. Debido a que la disponibilidad de agua es una inquietud especial para las provincias relativamente secas de las Praderas (Alberta, Saskatchewan y Manitoba) (Sección 4.2), esta sección se enfoca sobre el efecto que tiene la disminución de los glaciares en estas provincias.

La mayoría de los glaciares alpinos del mundo están en retroceso. Durante el siglo XX, hubo una disminución del 12% en el tamaño de los glaciares en todo el mundo de acuerdo con el Instituto de Recursos Mundiales (CCME, 2010). Estudios muestran que esta tendencia comenzó alrededor de 1800 DC, aunque algunos glaciares suizos siguieron expandiéndose hasta aproximadamente 1860. El retroceso generalmente se atribuye al calentamiento global, aunque se debe notar que los glaciares han demostrado tener una historia compleja de avance y retroceso desde la última Era Glacial. La evidencia indica que los hielos alpinos estuvieron completamente ausentes durante el máximo Holoceno posglacial, hace unos 7,000 a 4,000 años, con una cobertura de bosques que se extendía hasta por lo menos 2,600 msnm. La fase actual de retroceso sigue a un período breve de avance durante la "Pequeña Edad de Hielo" que tuvo su pico a la mitad del siglo XVII (Rutter *et al.*, 2006).

Existen más de 1,300 glaciares a lo largo de las pendientes orientales de las Montañas Rocallosas canadienses, las cuales se extienden más allá de la orilla occidental de las Provincias de las Praderas (Figura 5, Sección 4.2) y a lo largo del lado oriente de Columbia Británica. Estos glaciares son una fuente clave de agua para los ríos de las Provincias de las Praderas al descargar millones de m^3 de agua hacia el este a través de las praderas (CBC News, 2003). La acumulación de nieve en las Montañas Rocallosas tiene una función semejante a la de los glaciares, depositándose durante el invierno y liberando agua a los ríos conforme se derrite por el clima más cálido, proporcionando la mayoría del escurrimiento de los caudales (Lapp *et al.*, 2005). Sin embargo, como lo demuestran Schindler y Donahue (2006), la disminución de la acumulación alpina de nieve en las Montañas Rocallosas significa que el deshielo de primavera decae hacia el verano, suministrando menos agua a las praderas durante el verano tardío. Leung y Ghan (1999) predicen una reducción en el promedio de la cobertura de nieve en esta región hasta del 50% si se duplican los niveles de CO_2 atmosférico. En la actualidad, el deshielo glaciar sigue entregando agua al sistema de ríos de las praderas a lo largo del verano, pero este recurso está disminuyendo rápidamente. Estos glaciares han disminuido de 25 a 75% desde 1850 (CCME, 2010) y se están acercando a los niveles más bajos en 10,000 años (NRCan, 2007). A pesar de que según ciertos modelos climáticos se pudiera contrarrestar la reducción en los campos de hielo de las áreas más elevadas por el aumento en la caída de nieve, se espera que los glaciares de menor altura sigan disminuyendo rápidamente (Parks Canada, 2003).

El Glaciar Bow en el Parque Nacional de Banff, Alberta es un glaciar importante de las Montañas Rocallosas que se está encogiendo a una gran velocidad. Durante los meses de verano, este glaciar es una fuente importante de agua para el Río Bow, que suministra agua potable a la ciudad de Calgary. El Glaciar Bow ha disminuido 27% en los últimos 60 años y podría desaparecer por completo en 40 años (Ma, 2006). Otro glaciar importante en el Parque Nacional de Banff que está en peligro es el Glaciar Peyto. Los investigadores comenzaron a medir este glaciar al comienzo de los años 80 y encontraron, 20 años después, que había perdido el 70% de su masa y su altura había disminuido el equivalente a un edificio de 5 pisos. También descubrieron que su velocidad de deshielo está aumentando (CBC News, 2003). Como consecuencia de la reducción de los glaciares de las Montañas Rocallosas, los caudales de los ríos en las praderas han disminuido hasta en 25% (CBC News, 2003). No obstante, la disminución de las acumulaciones de nieve y glaciares en las Montañas Rocallosas representan un problema menos severo de lo que se esperaría debido a la construcción de presas capaces de retener una gran cantidad del caudal de primavera y liberarla conforme se necesite a lo largo del verano.

La desaparición de los glaciares también es una preocupación importante para Columbia Británica. La mayoría de los glaciares en la región sur de la provincia han disminuido considerablemente desde 1920, aunque los glaciares en el noroeste han crecido debido a las fuertes caídas de nieve (Bruce *et al.*, 2000). Un experto en cambio climático

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

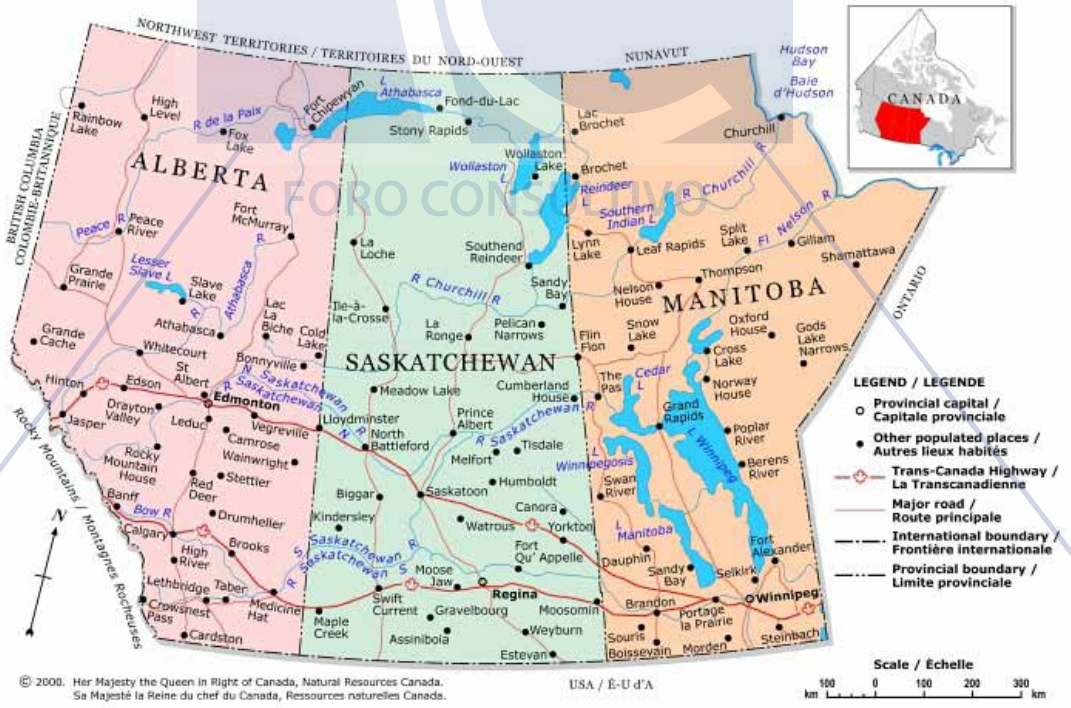
en Columbia Británica ha predicho que la mayoría de los glaciares dentro de esa provincia se habrán perdido en los próximos 150 años (Lupick, 2008). Otro estudio determinó que los glaciares en el hemisferio norte sufrirían una reducción global del 60% si la temperatura promedio mundial sube 3°C (Canadian Geographic, 2010a). Cuando los glaciares del oeste de Canadá desaparezcan, esta nación se enfrentará a una crisis hídrica de grandes proporciones (Ma, 2006), especialmente en las Provincias de las Praderas, como se explica en la siguiente sección.

4.2 Sequías en las Provincias de las Praderas

Como se demuestra en la Figura 5, a través de las Provincias de las Praderas de Canadá, es decir Alberta, Saskatchewan y Manitoba, fluyen ríos importantes que se originan en las Montañas Rocallosas. En la parte sur, los ríos Saskatchewan Norte y Sur escurren de oeste a este hacia la parte central de la Provincia de Saskatchewan, donde se unen y fluyen como un sólo río hacia el Lago Winnipeg. Más al norte, los ríos Peace y Athabasca también se originan en las Montañas Rocallosas pero fluyen hacia el norte y eventualmente van a dar al Océano Ártico por el río Mackenzie. Las modificaciones de origen humano a las cuencas, quizás en combinación con el calentamiento climático, ya han cambiado el caudal de los principales ríos en las Provincias de las Praderas, especialmente durante los meses de verano (de mayo a agosto) cuando la demanda de agua es alta (Schindler y Donahue, 2006); sin embargo, el escurrimiento existente todavía satisface los requerimientos de las corrientes. Cerca de la mitad de los diez lugares clave examinados por Schindler y Donahue (2006) reciben actualmente entre 14 y 24% menos precipitación que al comienzo del período de registro de datos y ninguno de los sitios ha experimentado un aumento en este aspecto. No obstante, Schindler y Donahue (2006) hacen notar con gravedad que las corrientes de verano han disminuido entre 20 y 84% comparado con el principio del siglo XX, con escurrimientos pico que se presentan cada vez más temprano como consecuencia de la reducción de la nieve acumulada y la retracción de los glaciares en las Montañas Rocallosas (Sección 4.1) aunado al aumento en la temperatura. El río más afectado es el río Saskatchewan Sur, con corrientes de verano que han disminuido en un 84% a lo largo del último siglo, y afluentes principales (los ríos Oldman, Bow y Red Deer) que se han visto sujetos a confinamientos, además de corrientes de invierno que se han aumentado sustancialmente con el fin de proteger el ambiente acuático.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 5. Provincias de las Praderas de Canadá (NRCan, 2003)



Con el aumento de las sequías y la escasez de agua en las Provincias de las Praderas, y quizás en otras regiones de Canadá, resulta claro que la nación necesita una gobernanza visionaria para asignar el agua de manera justa entre los usuarios que compiten por ella, siguiendo posiblemente el enfoque sistémico propuesto por Wang *et al*. (2008), quienes han aplicado su metodología en la cuenca del río Saskatchewan Sur en Alberta y el Mar Aral en Asia Central. Por consiguiente, se hace un recomendación específica en la Sección 6.3.1.

Los modelos climáticos predicen un calentamiento adicional de varios grados para las Provincias de las Praderas durante en el siglo XXI (Canadian Institute for Climate Studies Project, University of Victoria). Asimismo, el calentamiento previsto podría aumentar la evaporación de manera significativa hasta en 55% en algunos lugares. A pesar de que los modelos climáticos también predicen un ligero aumento en la precipitación, sería mucho menor al aumento esperado en la evapotranspiración. Lo que es interesante notar es que en el futuro las Provincias de las Praderas se volverán mucho más secas aún si aumenta la precipitación. Además, según de discute en la Sección 4.1, el desgaste de los glaciares de las Rocallosas Orientales ha avanzado lo suficiente para que el deshielo glacial esté disminuyendo, lo que a su vez reduce las corrientes de verano en los principales ríos de las Praderas. Desafortunadamente, la sequía en las Praderas se exacerbará todavía más conforme siga creciendo la población, aumenten las actividades agrícolas, sigan desapareciendo los humedales, y se requiera más agua para extraer mayores cantidades de bitumen de las arenas bituminosas, si no se implementan las tecnologías mejoradas actualmente disponibles (Sección 4.3).

Las predicciones a las que se hace referencia en los párrafos anteriores dependen de modelos climáticos e hidrológicos, así como análisis estadísticos exhaustivos de cara a una gran incertidumbre, y todo ello depende de una base de datos confiable y un monitoreo amplio. Por lo tanto, no es de sorprender que no haya un acuerdo universal sobre las causas o la seriedad de estas predicciones (Grasby, 2008). Los datos de Environment Canada (2004) muestran que la sequía en Canadá Occidental y la región de los Grandes Lagos ha sido cíclica durante períodos decadales. Chen y Grasby (2009) argumentan que la mayoría de los registros climáticos y de descarga son demasiado cortos para permitir la extrapolación de tendencias a largo plazo que pudieran aislar los efectos del calentamiento global reciente de las modificaciones climáticas regionales atribuibles al ENSO (El Niño-Southern Oscillation) y otros fenómenos decadales naturales. Cualquiera que sea el caso, todo este trabajo depende de tener datos confiables y suficientes, y por lo tanto se hace una recomendación en la Sección 6.3.1 para mejorar y monitorear las recursos hídricos de Canadá para que se puedan tomar decisiones informadas.

La escasez de agua en las Provincias de las Praderas agrava los problemas de calidad del agua. Los cambios masivos en el uso del suelo, la destrucción de humedales y áreas riparias, la mayor descarga de desechos humanos y animales, el aumento en el uso de fertilizantes y pesticidas y la expansión de las actividades en las industrias petrolera y de gas, junto con otras empresas industriales, han contribuido a una mayor introducción de nutrientes a los cuerpos de agua receptores. Esto causará problemas en la calidad del agua, tales como mayor eutrofización, mayor riesgo de infección con patógenos de origen hídrico y una disminución en la pesca deportiva, si no se implementan tecnologías de tratamiento actualmente reconocidas.

4.3 Las arenas bituminosas

De los muchos aprovechamientos no agrícolas del agua, tres han dominado en Canadá: la operación de fábricas de papel, una variedad de operaciones mineras y las industrias de petróleo y gas. Éstas son industrias principalmente dedicadas a la extracción y exportación de materias primas con apenas algunos componentes de valor agregado para Canadá. El uso de agua en estas industrias es variable. En las industrias del papel, la mayoría, si no es que todas las fábricas, dan tratamiento secundario a las aguas residuales. En la industria minera, los protocolos de operación con frecuencia llevaron a la búsqueda de opciones alternativas de aprovechamiento del agua, así como de su tratamiento y almacenamiento.

La industria petrolera, particularmente el desarrollo de las arenas bituminosas de Alberta, ha recibido mucha atención debido al enorme tamaño de las reservas, la velocidad de expansión de las obras, una variedad de problemas ambientales que incluyen asuntos de cantidad y calidad del agua, y temas relativos a la imparcialidad en la forma de compartir la riqueza entre los participantes. Las arenas bituminosas, también conocidas como arenas asfálticas, son mezclas viscosas compuestas de materiales inorgánicos, bitumen, limo, arcilla y agua, junto con una pequeña proporción de otros materiales como titanio, zirconio, turmalina y pirita. El asfalto es un material viscoso y pesado derivado del petróleo crudo que se extrae de las arenas bituminosas y posteriormente es refinado en una variedad de productos petroleros.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS
FORO CONSULTIVO

Como se puede ver en la Figura 6, una gran cantidad de las arenas bituminosas de Canadá se localizan en tres lugares principalmente en la Provincia de Alberta: Athabasca, Cold Lake y Peace River, cuya superficie total alcanza los 140,200 km², lo que equivale al tamaño que tiene el estado de Florida en los Estados Unidos. Estas tres áreas están en la cuenca del río Mackenzie, un inmenso y crucial ecosistema que se extiende a lo largo de 1.8 millones de km², o 20% de la superficie total de Canadá (de Loë, 2010). Las reservas de petróleo estimadas de Canadá son de 178 billones de barriles, de los cuales 173 se encuentran en las arenas bituminosas, lo que hace de Canadá el segundo país petrolero, después de Arabia Saudita que tiene 267 billones de barriles (US Energy Information Administration, julio 2010).

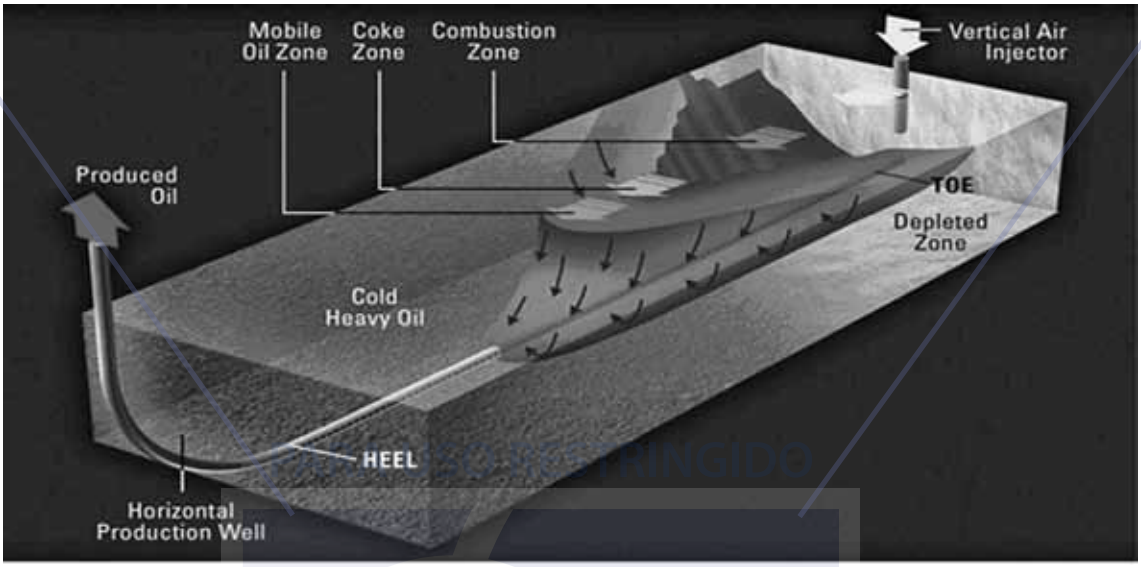
Se usan dos planteamientos principales para recuperar el asfalto de las arenas bituminosas: la minería de superficie o a cielo abierto y las técnicas *in-situ*. El 20% de las arenas bituminosas son recuperables a través de la minería de superficie, mientras que el 80% se recuperan por medio de métodos *in-situ* (CAPP, 2011). Cuando las arenas bituminosas se encuentran a menos de 75 m de la superficie, se usan palas enormes para cavar el suelo en la superficie para luego cargarlas en grandes camiones de volteo y transportarlas a una trituradora y a harneros giratorios. Las arenas bituminosas se mezclan con un diluyente para formar una emulsión bituminosa que luego se hidrotransporta por medio de ductos o camiones a una instalación de extracción donde se separa el bitumen de las arenas bituminosas a través de un proceso basado en el agua. El uso de esta tecnología da como resultado la recuperación del 90% del bitumen.

A diferencia de la minería de superficie, el enfoque *in-situ* no deja grandes pozos en el paisaje y se usa para recuperar el bitumen de los depósitos de arenas bituminosas enterradas a gran profundidad. La idea básica detrás de la gran variedad de mecanismos *in-situ* es emplear un procedimiento específico para forzar al bitumen a la superficie para su recolección y transporte hacia instalaciones donde será procesado. Cuatro tecnologías *in-situ* clave son los métodos de estímulo cíclico de vapor (CCS-Cyclic Steam Stimulator), drenaje por infiltración asistido por vapor (SAGD-Steam-Assisted Gravity Drainage), extracción por vapor (VAPEX-Vapor Extraction) e inyección de aire de punta-a-talón (THAI-Toe-to-Heel-Air-Injection). En los métodos de CSS y SAGD, por medio de ductos se inyecta vapor en las arenas bituminosas con el fin de calentar el bitumen. Al bajar su viscosidad, el bitumen puede fluir como el petróleo convencional de manera que el petróleo y agua caliente pueden ser bombeados a la superficie. Se recupera aproximadamente del 20 al 25% del bitumen por

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 6. Áreas de arenas bituminosas (ERCB, 2009)

Figura 7. Proceso THAI (Petroleum World, 2004)



el procedimiento CSS y hasta el 60% mediante el SAGD. Debido a que el SAGD es más eficiente en términos de una menor proporción de vapor/petróleo (SOR-Steam-to-Oil Ratio), requiere menos gas natural que el CSS para producir vapor (National Energy Board, 2004).

Al usar VAPEX, en la reserva se inyectan solventes en estado de vapor, tales como propano y butano, para provocar que el bitumen vaya hacia el pozo de producción. Debido a que se usa un solvente vaporizado en lugar de vapor de agua, no se necesita agua para la recuperación y son menores las emisiones de CO_2. El porcentaje de capital y los costos de operación para VAPEX en comparación con SAGD son 75% y 50%, respectivamente. Con el sistema THAI, el aire inyectado a través del pozo vertical hacia la "punta" obliga a que el bitumen que ha hecho combustión en el subsuelo fluya hacia el pozo de recuperación en el "talón", como se muestra en la Figura 7. Una desventaja de THAI es que produce más CO_2 (McKenzie-Brown, 2009).

El bitumen se puede refinar mediante dos procedimientos principales: la coquización para retirar el carbón y la hidrofracturación para producir una variedad de productos derivados del petróleo. Actualmente, cerca del 60% del bitumen producido en Alberta es refinado en la provincia, mientras que el 10% se transporta a otras provincias canadienses y el 30% hacia los Estados Unidos para su procesamiento posterior (Prebble *et al.*, 2009; ERCB, 2009; Edmonton Journal, 2008). Desafortunadamente, la cantidad de bitumen crudo exportado fuera de Canadá podría aumentar a 50% para 2019 (Hipel y Bowman, 2011). Por ello, tanto Alberta, en particular, como Canadá, en general, tienen una oportunidad para aumentar sustancialmente el "valor agregado" de la industria de arenas bituminosas al realizar todo el proceso de refinación en Canadá y así ayudar a crear más empleos especializados; aumentar las ganancias; disminuir la necesidad de construir más ductos para transportar el bitumen crudo hacia los Estados Unidos, mantener los problemas ambientales asociados a las arenas bituminosas en áreas más concentradas facilitando la limpieza y el reciclaje, y para expandir las tecnologías de refinación. En un reporte reciente, el gobierno de Alberta (2009) reconoció la importancia de algunos de los temas anteriores. Puesto que la industria de arenas bituminosas utiliza cantidades sustanciales de agua y tiene una variedad de impactos ambientales como lagunas de relaves a gran escala que contienen desechos tóxicos, tiene sentido que Canadá coseche el valor pleno de los beneficios de su industria de arenas bituminosas. A su vez, esto contribuiría de forma significativa hacia la visión expresada por el Primer Ministro Harper (2008) de convertir a Canadá en una superpotencia energética, y a la meta de la Academia Canadiense de Ingeniería (Bowman and Griesbach, 2009; Bowman *et al.*, 2009) de que Canadá tome las medidas sistemáticas para convertirse en una superpotencia energética "sustentable".

En 2008, Canadá exportó cerca de 1.9 millones de barriles de petróleo a los Estados Unidos, lo que constituye el 19% de todas la importaciones petroleras americanas y convierte a Canadá en el mayor proveedor de petróleo de los Estados Unidos, y a los Estados Unidos, a su vez, en el

USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

mayor comprador de petróleo canadiense. De este volumen, 1.7 millones de barriles al día las proporciona el Occidente de Canadá (CAPP, 2009). De hecho, de acuerdo con el Consejo Nacional de Energía (NEB-National Energy Board, 2004), el 75% del petróleo no convencional que se exporta a los Estados Unidos se transporta a la Administración de Petróleo para Defensa del Distrito II (PADD-Petroleum Administration for Defense District II, construido durante la Segunda Guerra Mundial para organizar y distribuir petróleo a cinco distritos en los Estados Unidos) que se encuentra en el Medio-oeste en donde existe una capacidad importante de refinación.

Si se logra la producción de las arenas bituminosas de 5 millones de barriles diarios para 2030 y se mantienen los niveles de exportación, los Estados Unidos importarán 4.5 millones de barriles diarios de Canadá o aproximadamente el 30% del total de sus importaciones de petróleo crudo. Sin duda, países emergentes como China e India también querrán comprar petróleo canadiense. Por ello, es indispensable que Canadá tenga control pleno del valor agregado no sólo del petróleo, sino también de sus demás recursos naturales, incluyendo el agua. Esto se propone como una recomendación en la Sección 6.3.1. El bitumen de Alberta ahora está siendo refinado en combustible con valor agregado en los Estados Unidos y luego se vuelve a vender a los canadienses a mayor costo (Marsden, 2008, p. 57). Una complicación adicional a la exportación de petróleo y otros recursos hacia los Estados Unidos es el Artículo 605, la cláusula de proporcionalidad del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) (Sección 3.5), que obliga a Canadá a venderle a los Estados Unidos el porcentaje exacto de exportaciones petroleras que prevalecieron los tres años anteriores, aun en el caso de que Canadá requiera urgentemente este recurso para sus propios fines.

A lo largo de los años, las actividades relacionadas con las arenas bituminosas han contribuido considerablemente a la economía canadiense. Se espera, por ejemplo, que la industria de arenas bituminosas genere un gasto anual de capital en el rango de unos $8 billones a $12 billones (Richardson, 2007). El Instituto de Investigación Energética de Canadá (CERI-Canadian Energy Research Institute) ha calculado que entre 2000 y 2020 el impacto económico global de las actividades relacionadas con las arenas bituminosas creará un beneficio en el PIB de $885 billones. En Alberta, el porcentaje del producto interno bruto por actividades relacionadas con las arenas bituminosas aumentará de 15% del PIB en 2006, a 20% en el 2011 (Mourougane, 2008). De hecho, debido a que la carga impositiva y de regalías de la explotación de arenas bituminosas es extremadamente baja, el costo total por barril de petróleo extraído de arenas bituminosas es menor que el costo por barril de petróleo convencional (Humphries, 2008). A pesar de que esta política pretende estimular el crecimiento, autores como Marsden (2008) y Nikiforuk (2008) señalan que jurisdicciones como Noruega y Alaska se benefician económicamente mucho más que Alberta, porque sus políticas de ingresos canalizan cantidades significativamente mayores al dinero que reciben por recursos no renovables hacia el provecho directo de sus ciudadanos. De ahí, por ejemplo, que el Alberta Heritage Fund, el Alaska Permanent Fund y el fondo de Noruega para sus ciudadanos contenían en 2006 cerca de 15.4, 37 y 306 billones de dólares respectivamente. Las compañías dedicadas a la explotación de arenas bituminosas en Alberta sólo pagan el 1% de sus ingresos como regalías y este porcentaje sólo llegaría hasta el 25% cuando se hubiera pagado la totalidad de los costos de capital. Por consiguiente, se está estimulando el crecimiento de las compañías de extracción de arenas bituminosas y jamás se niegan los permisos de expansión solicitados por compañías nuevas y ya existentes. El ex premier de Alberta, Peter Lougheed, considera que la expansión se está llevando a cabo demasiado rápido sin la consideración correspondiente al ambiente y la sociedad. Además, Hipel y Bowman (2011) señalan que Alberta y Canadá están perdiendo beneficios económicos, tecnológicos y laborales al permitir la exportación de grandes cantidades de bitumen sin procesar.

Actualmente, cerca del 30% del bitumen no procesado está siendo enviado fuera de Canadá, y esto podría llegar al 50% en 2019. Canadá claramente requiere de una política en la que todos sus recursos naturales, incluyendo el petróleo, deben incluir componentes de "valor agregado".

Al emitir el 2% de la emisión total global de gases de invernadero (GHG-Greenhouse Gas), Canadá ocupó el noveno lugar en el mundo en 2005. La emisión de estos gases por las industrias de arenas bituminosas representa el 5% del total de emisiones nacionales (CAPP, 2008a). Sin embargo, Canadá es el segundo mayor emisor de gases de invernadero per cápita, sólo después de los Estados Unidos (Mourougane, 2008). Dentro de Alberta, las industrias de las arenas bituminosas representan el 23.3% de las emisiones de GHG y es superado únicamente por el sector de servicios públicos que tiene el 43.6% (Alberta Environment, 2008). A pesar de que la emisión de gases de invernadero por barril de arenas bituminosas está disminuyendo progresivamente gracias a mejores tecnologías y procedimientos, se esperaba que para el 2010 hubiese casi triplicado el valor del 2006 debido al gran aumento en la extracción de bitumen (Grant *et. al.*, 2009).

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

La operación de la industria de arenas bituminosas requiere de entre dos y seis barriles de agua por cada barril de petróleo producido (PTAC, 2007; Eyles y Miall, 2007). Esto se traduce en el consumo de casi el 1% del flujo promedio del río Athabasca (Hrudey *et al.*, 2010), lo que alcanza para mantener una ciudad de dos millones de habitantes al año (Woynillowicz y Severson-Baker, 2006), y se espera que su consumo se duplique en el futuro. Asimismo, dos terceras partes de toda el agua aprovechada del río Athabasca es consumida por la industria de arenas bituminosas (CAPP, 2008b). En vista del rápido incremento que se prevé para la explotación de las arenas bituminosas, también se espera que aumente el consumo de agua. Por ello, reducir el consumo de agua y aumentar el volumen de retorno de agua son grandes retos que se deben superar.

PARA USO RESTRINGIDO

No sólo la cantidad de agua es un tema importante en las arenas bituminosas, sino también su calidad. Después de extraer el bitumen de dichas arenas, los materiales restantes, que consisten de arenas residuales y agua contaminada, se envían a estanques de decantación conocidos como lagunas de relaves. Todos los días se producen cerca de 1.8 millones de m^3 de relaves tóxicos. Estas lagunas de relaves cubren alrededor de 130 km^2, y tomando en cuenta tanto las obras aprobadas como las planeadas, el tamaño total de las lagunas de relaves llegará a 220 km^2 con un volumen de 11,648 millones de m^3 (Grant *et al.*, 2008). Aunque el riesgo de que fallen los diques de fabricación humana que contienen las lagunas de relaves es bajo, si llegaran a fallar liberarían inmensas cantidades de contaminantes hacia cuerpos receptores como el río Athabasca. También existe la posibilidad de fugas de aguas residuales de las lagunas de relaves hacia las aguas superficiales y subterráneas. Sin embargo, el movimiento de las aguas superficiales hacia las subterráneas a través del fondo arcilloso de los estanques de almacenamiento de aguas residuales es extremadamente lento, con tazas de percolación de unos 10-9 m/s. Continuamente se agregan arcillas de baja permeabilidad a la base de estos estanques, lo que significa que la barrera está formada por mucho más que varios metros de arcilla. Como resultado, las compañías argumentan que el río Athabasca no está siendo contaminado por sus lagunas de relaves y que podría estar entrando menos material aceitoso al río ahora que antes de la explotación, gracias a que los materiales aceitosos que naturalmente se infiltran están siendo bloqueados. No obstante, un estimado de Defensa Ambiental (Environmental Defence) (citado por Hrudey *et al.*, 2010, p. 111) sugiere que las aguas contaminadas de todas las lagunas de relaves se infiltran a una velocidad de unos 11,000 m^3/día. El tamaño de estas lagunas se puede reducir por medio de la evaporación y el reúso de las aguas tratadas, además de los planteamientos para reducir la demanda total de agua de la industria de arenas bituminosas. Hasta la fecha, ninguna laguna de relaves ha sido totalmente recuperada (Hrudey *et al.*, 2010).

FORO CONSULTIVO

En contraste con los hallazgos del "Programa de monitoreo acuático regional" (Regional Aquatic Monitoring Fund) subvencionado por la industria, que establecen que no hay evidencia del impacto negativo de la explotación de las arenas bituminosas en el río Athabasca, estudios independientes recientes han demostrado que en los alrededores y río abajo de las obras de arenas bituminosas hay un nivel importante de compuestos aromáticos policíclicos (CAP) disueltos, contaminantes que dañan la vida humana y acuática (Kelly *et al.*, 2009). Además, esta industria está liberando los 13 elementos que en el US Environmental Protection Agency's Clean Water Act se consideran contaminantes prioritarios al río Athabasca y a su cuenca (Kelly *et al.*, 2010). Las arenas bituminosas están muy expuestas en las riberas del río Athabasca y sus afluentes y por lo menos algo de la contaminación se puede atribuir a la infiltración natural del bitumen a las aguas subterráneas y superficiales, por ello es necesario llevar a cabo más estudios para lograr una plena comprensión del impacto y origen de los contaminantes en esta región. Actualmente no se cuenta con programas para investigar la contaminación del agua subterránea. Kim *et al.* (2011) utilizaron metodologías sistémicas para investigar los problemas de cantidad y calidad del agua en las arenas bituminosas canadienses desde una perspectiva de toma de decisiones con objetivos múltiples.

La superficie trastocada por la minería de superficie es de unos 3,500 km^2, de los cuales solamente el 0.2% del suelo ha sido recuperado (Grant *et al.*, 2008) ya que las operaciones mineras en estas áreas siguen en curso. Un cambio tan grande en el paisaje puede ser altamente destructivo para los ecosistemas. Al año 2008, la minería de superficie había destruido 530 km^2 del bosque boreal canadiense (Kelly *et al.*, 2010), una enorme región que va de este a oeste a través de la región central de Canadá (Figura 8). De hecho, es "una de las mayores extensiones de ecosistemas intactos de bosque y humedales que quedan en la Tierra" (Environment News Service, 2007). El 14 de diciembre de 2009 un grupo prominente de científicos internacionales envió una carta abierta al gobierno de Canadá y a las otras siete naciones con bosque boreal, resaltando la importancia de estos bosques como depositarios de carbón y urgiendo al gobierno a tomar acciones decisivas para salvaguardar este ecosistema crucial. En una declaración del grupo que acompañaba la publicación del reporte se afirmaba

Figura 8. El bosque boreal de Canadá (Braun, 2009)

que los bosques boreales "no solo son el hábitat angular para muchas especies de mamíferos clave, sino uno de los almacenes más importantes de carbono en el mundo, el equivalente a 26 años de emisiones globales por combustibles fósiles, de acuerdo con las emisiones del 2006. A nivel global, estos bosques almacenan el 22% del total de carbono de la superficie de la Tierra" (Braun, 2009). El reporte explica que "ese carbono se almacena no solo en la vegetación del bosque, sino de manera más importante en los suelos, depósitos de permahielo, humedales y turberas asociados" (Carlson *et al.*, 2009). Cuando la vegetación o el suelo del bosque es alterado por el cambio climático o la intrusión humana directa, se libera el carbono almacenado y disminuye la capacidad del bosque de capturarlo (Carlson *et al.*, 2009). En opinión de David Schindler, Killam Memorial Professor of Ecology en la Universidad de Alberta, este proceso acelerará el cambio climático hasta llegar a minimizar los cálculos más recientes de la Comisión Intergubernamental sobre Cambio Climático (Schwartz, 2010). Además, la transpiración que ocurre en los bosques boreales de la cuenca del río Mackenzie, donde se están explotando las arenas bituminosas, es importante para dotar de lluvia a Manitoba, Ontario y Quebec (Wood, 2010). Otro efecto de la minería de superficie es que altera las corrientes tanto de aguas superficiales como subterráneas y posiblemente altere su calidad. Esta consecuencia tendrá un impacto adicional en el bosque boreal, ya que el río Mackenzie es crucial para mantener el bosque que lo acompaña hacia al norte tan lejos como el Océano Ártico. (Wood, 2010). La salud del río Mackenzie es especialmente crítica para las comunidades aborígenes del norte que viven a su lado, quienes dependen de este río para mantener su forma tradicional de vida y tienen una garantía constitucional a este derecho (Miltenberger, 2010). Henry Vaux Jr., profesor de economía de recursos de la Universidad de California y Presidente Emérito de Foro Internacional Rosenberg sobre Políticas Hídricas, sostiene que el valor monetario de los servicios ecológicos que proporciona el Mackenzie, incluyendo los créditos de carbono, sobrepasa por mucho las ganancias de la explotación de las arenas bituminosas (Wood, 2010). En vista de la importancia de la cuenca del río Mackenzie y las serias amenazas que enfrenta, Rob de Loë, profesor y catedrático de investigación en políticas y gobernanza del agua de la Universidad de Waterloo, recomienda que Alberta y los otras cuatro provincias y territorios que comparten la cuenca, así como los grupos aborígenes de la región, adopten un enfoque colaborativo para manejar la cuenca del Mackenzie incorporando "las normas y prácticas recomendadas internacionales reconocidas" (de Loë, 2010).

USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

El método *in-situ* de extracción podría hacer que la degradación del paisaje pareciera menos grave. No obstante, las operaciones *in-situ* requieren infraestructura como caminos, líneas de transmisión y ductos, y por lo tanto también pueden afectar negativamente la flora y fauna a largo plazo (Richardson, 2007). Por la manera como se realiza la minería *in-situ*, las aguas subterráneas se pueden ver dañadas, aunque se debe hacer notar que estas aguas ya se encuentran naturalmente contaminadas.

El gran aumento en la demanda de agua por parte de la industria de arenas bituminosas, junto con los períodos más secos producidos por el cambio climático, implica que los recursos hídricos estarán bajo mayor estrés en términos de una menor disponibilidad y una calidad deteriorada. Mannix *et al*. (2010) enfatizan la necesidad de una estrategia rentable de largo plazo para manejar adecuadamente la implementación de restricciones hídricas en las arenas bituminosas. Bruce (2006) señala que a pesar de que en años recientes han disminuido drásticamente las corrientes bajas de invierno en el río Athabasca, el agua para proyectos ha sido asignada de acuerdo con un promedio de corriente invernal mucho mayor. Por supuesto que se debe asignar el agua de forma imparcial y sustentable entre los usuarios en competencia, incluyendo el ambiente, quizás siguiendo el enfoque de asignación imparcial diseñada por Wang *et al*. (2008). La equidad se puede cifrar en procedimientos de gobernanza en los cuales reguladores e inspectores independientes aseguren el cumplimiento de leyes y regulaciones relativas a la cantidad y calidad del agua. La imparcialidad en general también implica garantizar que las ganancias de las arenas bituminosas se compartan equitativamente entre todos los interesados y que las actividades de "valor agregado" relacionadas con las arenas bituminosas se lleven a cabo en Canadá.

Los nuevos proyectos en las arenas bituminosas están haciendo uso de aguas subterráneas salinas profundas en lugar de agua dulce superficial, y las compañías también están mejorando su capacidad para reciclar el agua múltiples veces, lo cual está reduciendo significativamente la demanda de agua dulce del sistema Athabasca. Otro "agente de cambio" en las arenas bituminosas es el desarrollo de una técnica nueva para acelerar la sedimentación de la arcilla en lagunas de relaves, reduciendo así el tiempo necesario para su recuperación. La poliacrilamida es una sustancia utilizada en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales para flocular sólidos. Suncor está desarrollando un método para aplicar esta sustancia en las lagunas de relave, y tiene proyectado que esto permitirá que las lagunas sean sedimentadas, secadas y recuperadas en 10 años en lugar de los 40 años calculados con los actuales métodos.

En diciembre de 2010 se publicaron dos estudios independientes sobre las arenas bituminosas. La Royal Society of Canada comisionó un reporte de un panel de expertos sobre los impactos en la salud y el ambiente de la industria canadiense de arenas bituminosas. El reporte concluye que, a pesar de que los efectos en el ambiente y la salud no han sido tan drásticos como algunos argumentan, tanto el gobierno de Alberta como el gobierno federal no han implementado la vigilancia, evaluación y regulación de las arenas bituminosas al grado necesario para estar al paso de la rápida expansión de su explotación (Hrudey *et al*., 2010). Además el Comité de Asesoría del Ministro Federal del Medio Ambiente, compuesto por cinco destacados científicos ambientales incluido el coautor de este artículo, Dr. Andrew D. Miall, llevó a cabo una revisión del estado actual de la investigación y monitoreo ambiental en la región que rodea las áreas de explotación de arenas bituminosas e hizo recomendaciones relativas a la vigilancia y la implementación de los mejores procedimientos para garantizar que las arenas bituminosas sean explotadas de manera ambientalmente sustentable. Al determinar que los enfoques existentes para vigilar las arenas bituminosas son inadecuados y carentes de coordinación, la comisión recomienda "que las jurisdicciones y participantes relevantes desarrollen de forma colaborativa una visión y marco de gestión nacional común de prioridades, políticas y programas ordenados" con el fin de establecer un sistema de vigilancia y reporte para las arenas bituminosas que sea holístico, integral, adaptativo, creíble desde el punto de vista científico, así como transparente y accesible (Dowdeswell *et al*., 2010).

4.4 Cuenca del río Rojo: seguridad e inundación del ecosistema

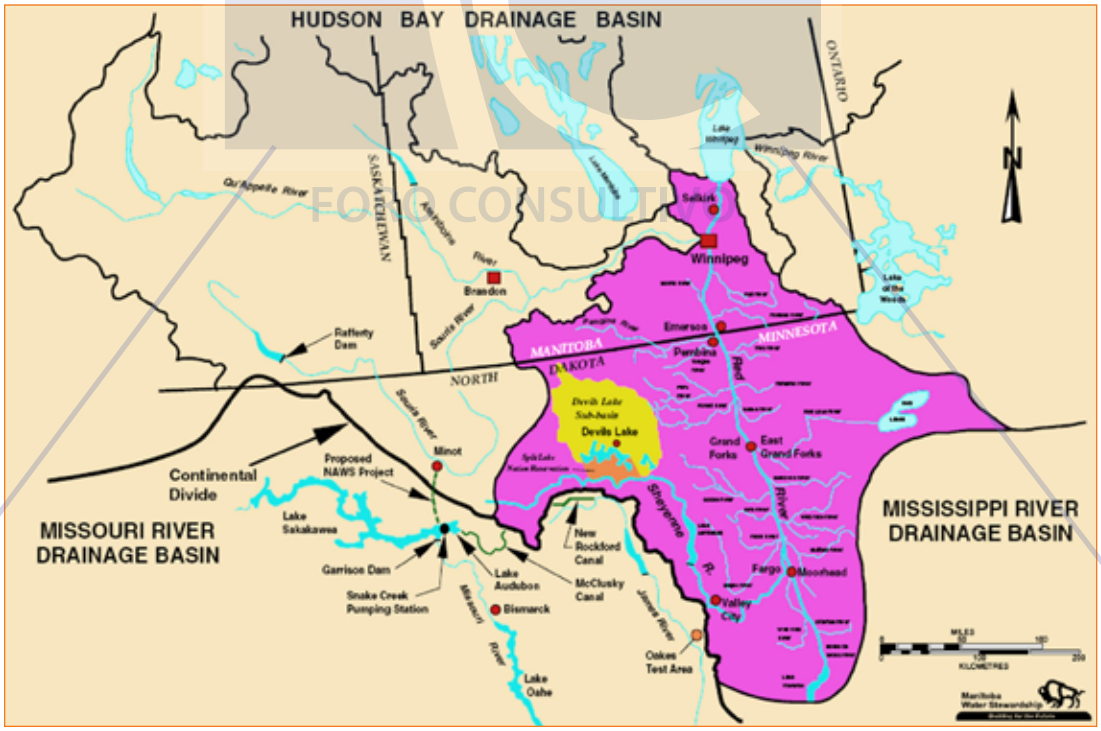
Como se muestra en la Figura 9, la cuenca del río Rojo coincide con los estados americanos de Dakota del Norte y Minnesota, así como la parte sur de la provincia de Manitoba en el centro de América del Norte. El río Rojo fluye a lo largo de más de 800 km de sur a norte llegando al lago Winnipeg al norte de la ciudad del mismo nombre. A pesar de que la región del río Rojo es bien conocida por las inundaciones extensas, también tiene el potencial de presentar problemas graves de calidad del agua. Una disputa ambiental presente entre los Estados Unidos y Canadá que se resolvió amigablemente mediante un fallo de la Comisión Internacional Conjunta (IJC-International Joint Commission (Sección 3.2), es el conflicto sobre la propuesta de

FORO CONSULTIVO

construcción de una gran obra de irrigación llamada Unidad de Desviación Garrison (GCU-Garrison Diversion Unit). De acuerdo con el plan de la GDU de 1965, los norteamericanos transferirían agua del lago Sakakawea, creado al finalizar la construcción del embalse Garrison sobre el río Missouri en 1955, a través del propuesto canal McClusky sobre la gran brecha hacia la cuenca de escurrimiento de la bahía Hudson, donde se usaría para irrigar cosechas en el noreste de Dakota del Norte. El escurrimiento contaminado de los campos irrigados fluiría a través de los ríos Souris y Rojo hacia Canadá por donde eventualmente llegaría a la bahía Hudson. Además de un mayor flujo, la contaminación por fertilizantes y pesticidas y el drenado de humedales, la mayor inquietud fue la posible introducción de biota extraña a la cuenca del río Missouri hacia la cuenca de escurrimiento de la bahía Hudson que podría, por ejemplo, destruir la industria pesquera en el lago Winnipeg en Manitoba. Por consiguiente, los gobiernos de los Estados Unidos y Canadá convocaron a la IJC para que hiciera una recomendación. En su reporte de 1977, la IJC dictaminó que todas las partes del proyecto, con excepción del embalse Lonetree, deberían suspenderse. La Comisión de la Unidad de Desviación Garrison, creada por la Secretaría del Interior de los Estados Unidos el 11 de agosto de 1984, en su reporte del 20 de diciembre de 1984 recomendó esencialmente que la obra GDU no continuara. Hipel y Fraser (1984) y Fang *et al.* (1993, cap. 6) proporcionan los análisis estratégicos de la controversia por el GDU.

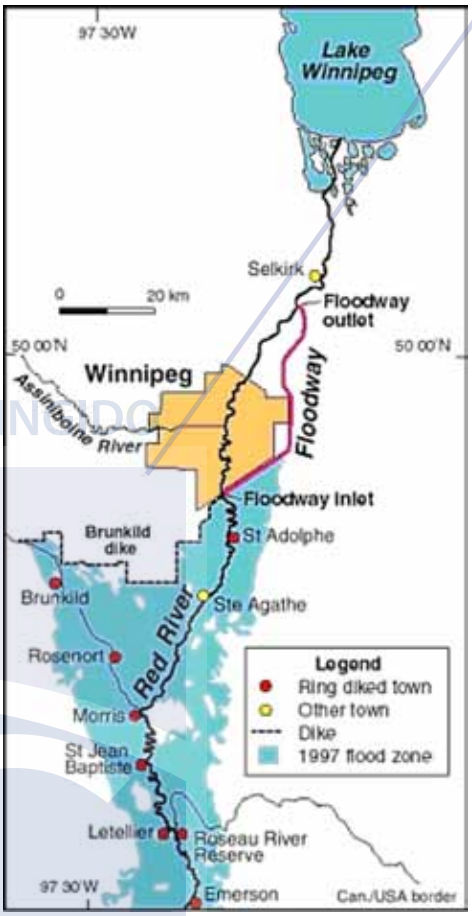
Un conflicto ambiental en curso entre los Estados Unidos y Canadá que no se ha resuelto satisfactoriamente es el conflicto de la Desviación del Emisor de Devils Lake (Devils Lake Outlet Diversion), estudiado formalmente desde el punto de vista estratégico por Ma *et al.* (2011) y descrito en muchos artículos y reportes periodísticos (Noone, 2004, 2005; US Army Corps of Engineers, 2005; North Dakota State Government, 2001; North Dakota State Water Commission, 2010). Debido a que Devils Lake, localizada en Dakota del Norte, no tiene salidas y el agua escurre hacia su interior (Figura 9), la evaporación y escurrimiento de las áreas de cultivo le ha causado una gran contaminación. Desde la última era glaciar, Devils Lake ha tenido un nivel de agua que ha variado desde la sequedad, hasta un nivel alto, como en la actualidad. Este alto nivel de agua de Devils Lake, así como el aumento en las inundaciones del río Rojo, podrían ser consecuencia de un mayor flujo de aire caliente húmedo del Golfo de México hacia las Grandes Planicies en combinación con el cambio climático. Para poder aliviar los altos niveles de agua y las inundaciones asociadas, el estado de Dakota del Norte decidió construir de manera

Figura 9. Cuenca de escurrimiento del río Rojo (Manitoba Water Stewardship, 2010)



independiente una salida temporal de emergencia llamada Peterson Coulee Outlet, en lugar de esperar que el cuerpo de ingenieros del US Army construyera una salida que había sido retrasada como resultado de inquietudes ambientales. Debido a que la salida se vacía en el río Sheyenne, un afluente del río Rojo que fluye hacia el norte a Canadá, representa riesgos potenciales por transferencia de especies invasivas y degradación de la calidad del agua en Manitoba, lo que puede afectar negativamente la salud de las personas, así como la industria pesquera y turística (Byers, 2005). Por lo tanto, en abril de 2004, el gobierno de Canadá solicitó que la propuesta de salida de Devils Lake fuera referida a la IJC para llevar a cabo una revisión independiente e imparcial de los riesgos. Como consecuencia de la falta de respuesta de parte del gobierno de los Estados Unidos, el gobierno de Canadá siguió presionándolo para que aceptara una referencia a la IJC, al mismo tiempo que Dakota del Norte siguió construyendo su propia obra. El 5 de agosto de 2005, el embajador canadiense ante los Estados Unidos, Frank McKenna, repentinamente anunció que se había llegado a un acuerdo negociado con Dakota del Norte en el cual el estado agregaría una barrera temporal de grava a la obra como filtro antes de que comenzara a operar (CBC News, 2005). La desviación de salida de emergencia ya ha sido completada y desde el 15 de agosto de 2005, Devils Lake ha estado escurriendo hacia el río Sheyenne (Lambert, 2005). Sin embargo, como no se ha instalado un filtro moderno permanente, el conflicto sigue vigente (Owen y Rabson, 2010).

Figura 10. Zona de inundación del río Rojo en 1997 (NRCan, 2008)



Cuando los norteamericanos piensan en el río Rojo, generalmente imaginan enormes inundaciones generalizadas. De hecho, el sistema del río Rojo tiende a las inundaciones graves y en años recientes se presentaron inundaciones importantes en 1997, 2009 y 2011 (CBC Manitoba, 2011). En parte, el peligro de inundación es consecuencia de que a lo largo de la mayor parte de su extensión el río yace dentro de una planicie aluvial, lo que contrasta con la naturaleza encajonada de muchos otros ríos occidentales como el Bow y Saskatchewan. Además, el sustrato que subyace el río a lo largo de una buena parte de su curso consiste de arcilla gruesa e impermeable que permite que muy poco del escurrimiento de primavera se infiltre hacia el suelo. En ocasiones los atascos de hielo presentan una complicación adicional en el río Rojo, ya que el río fluye de sur a norte donde el deshielo ocurre después. La Figura 10 muestra la inundación que ocurrió en abril y mayo de 1997 y que resultó en la formación de un lago de 40 km de ancho. En su momento pico el 4 de mayo de 1997, más de 2,560 km^2 de tierra estaba bajo el agua en Manitoba formando el gran "Mar Rojo" de Canadá. El gasto total por daños en los que incurrieron los Estados Unidos y Canadá fue de $3.5 billones y $500 millones, respectivamente. Las ciudades americanas de Grand Forks y East Grand Forks sufrieron grandes daños por las inundaciones. Afortunadamente, la ciudad de Winnipeg fue protegida por un cauce de evacuación que se construyó entre 1962 y 1968 como un proyecto conjunto federal/provincial/municipal llevado a cabo después de una grave inundación de la ciudad en 1950 que desplazó a unos 100,000 residentes. Este canal ha probado su efectividad varias veces, especialmente en la inundación de 1997, como se muestra en la Figura 10. Claramente, Canadá ha hecho una gran labor en el manejo de las planicies aluviales dentro de la cuenca del río Rojo, y estos conocimientos, tecnología y experiencia especializada se podrían usar en otras partes de Canadá y las Américas. Sin embargo, Canadá aún tiene mucho que aprender en cuanto a ser proactivo y adaptativo con fines de protección y evacuación durante inundaciones, como fue evidente en la inundación de la región de Saguenay-Lac-Saint-Jean en Quebec después de dos días de lluvias

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

torrenciales en julio del 1996. Ésta que fue la peor inundación en la historia de Canadá y que supuestamente sólo debería suceder una vez cada 10,000 años, resultó en 10 personas muertas y $800 millones en daños, así como la destrucción de 1,718 casas y 900 chalets (Grescoe, 1997). Por su geografía, en esta área y otras similares es necesario implementar estructuras de control de inundaciones. El manejo de las inundaciones de las planicies aluviales mediante la zonificación y la restricción de la construcción en estas zonas no ha sido suficiente como para reducir los costos de los daños causados por estos fenómenos.

4.5 Los Grandes Lagos: contaminación, desviaciones y niveles fluctuantes del agua

La cuenca de los Grandes Lagos se encuentra en el corazón de Norteamérica, compartida por Canadá y los Estados Unidos. La Figura 11 muestra un mapa de esta cuenca única y próspera que contiene la mayor cantidad de agua dulce superficial en el mundo. Cada uno de los Grandes Lagos eventualmente fluye hacia el río San Lorenzo que desemboca en el Océano Atlántico. Ya que menos del 1% del agua en los Grandes Lagos es renovada anualmente, ésta es esencialmente un recurso no renovable (es decir, el tiempo de retención es mayor a 100 años). Como se observa en la Figura 11, la sección oriente de este mapa también incluye cuencas fluviales que escurren directamente al río San Lorenzo. De este a oeste, la cuenca de los Grandes Lagos se extiende a lo largo de más de 1,200 km y cubre un área de más de 1 millón de km² que es el hogar de unos 40 millones de norteamericanos y canadienses. En muchas regiones de la cuenca existe tierra agrícola fértil, tal como en la parte sur de Ontario. Se dispone de suficiente precipitación a lo largo de la temporada de cultivo como para mantener actividades agrícolas y la cubierta forestal, mientras que en el invierno la nieve cubre el suelo por un buen número de meses con condiciones climáticas muy frías en las regiones al norte de la cuenca. El agua subterránea contribuye de forma importante al

PARA USO RESTRINGIDO

Figura 11. Cuenca de los Grandes Lagos-Río San Lorenzo (NRCan, 2003)

suministro total de agua en la cuenca de los Grandes Lagos y corresponde, por ejemplo, al 42% del suministro anual de los lagos Hurón y Ontario (tanto directamente como de manera indirecta a través de caudales afluentes de los ríos). Las características hidráulicas del sistema de los Grandes Lagos, como son los niveles hídricos, resultan principalmente de fluctuaciones naturales y no de la intervención humana. Existen obras de control, operadas bajo la autoridad de la IJC (Sección 3.2) en el río St. Mary's en la salida del lago Superior, y en el río San Lorenzo abajo del caudal efluente del lago Ontario. Desde el extremo oeste del lago Superior, pueden navegar barcos transoceánicos a través de los Grandes Lagos hacia el oriente por el río San Lorenzo a lo largo de una distancia de 2,000 km por un sistema de navegación conocido como la Vía Marítima del San Lorenzo. Como parte de este sistema, el canal Welland que une al lago Erie con el Ontario permite que los barcos sorteen las Cataratas del Niágara. Se desvía agua de las Cataratas para permitir la generación de energía hidroeléctrica a ambos lados de la frontera Canadá/Estados Unidos gracias a una carga hidráulica que ofrece el risco del Niágara.

Además de actividades agrícolas y mineras, la cuenca también contiene prósperos centros industriales. La ciudad de Toronto, por ejemplo, es la ciudad más grande de Canadá y posee una riqueza variada de empresas industriales. La ciudad de Detroit, localizada en Michigan donde el río Detroit escurre del lago Superior hacia el lago Erie, es el centro industrial automotriz más importante de los Estados Unidos. Además gran parte del desarrollo histórico, cultural, económico y político de Canadá y los Estados Unidos ha ocurrido en la cuenca de los Grandes Lagos. Como se puede ver en las Figuras 1 y 11, dos provincias canadienses y ocho estado norteamericanos controlan territorio que es parte de la cuenca. Por lo tanto, un total de 12 gobiernos –dos gobiernos federales más 10 gobiernos estatales o provinciales– comparten la jurisdicción sobre la cuenca de los Grandes Lagos y sólo se puede lograr una gestión efectiva con base en los arreglos cooperativos. Como resultado directo de la determinación de ambas naciones de ser vecinos amistosos y socios comerciales, no ha habido guerra entre los Estados Unidos y Canadá desde la guerra de 1812-1814, cuando fuerzas invasoras americanas que atacaron muchos lugares en la región de los Grandes Lagos que se pueden ver en la Figura 11 no pudieron quitarle a Gran Bretaña el control sobre Canadá Superior (ahora Ontario) y Canadá Inferior.

El documento legal internacional fundamental que gobierna el uso de las aguas de la cuenca de los Grandes Lagos es el Tratado de Aguas Fronterizas de 1909 descrito en la Sección 3.2. Casi todos los acuerdos internacionales relativos a los problemas de calidad y cantidad de agua en la cuenca de los Grandes Lagos, que han sido creados y firmados de forma conjunta a lo largo de los años, están fundamentados en los poderes y el "espíritu de cooperación" consagrados en este bien diseñado tratado de 1909. Además, aunque podría ser mejorado, el sistema de los Grandes Lagos ha sido sorprendentemente bien manejado, y por ello constituye un modelo a seguir para otras naciones en el desarrollo de sus propios acuerdo bilaterales y multilaterales relativos al agua.

Consideremos lo que ha sucedido con la calidad del agua en los Grandes Lagos. Estudios de referencia ejecutados por la IJC llevaron directamente al Acuerdo sobre la Calidad del Agua de los Grandes Lagos de 1972 (Great Lakes Water Quality Agreement of 1972), cuya preocupación central era la reducción de los niveles de fósforo en los lagos Ontario y Erie que se muestran en la Figura 11. Este acuerdo de 1972 fue reemplazado por el Acuerdo sobre la Calidad del Agua de los Grandes Lagos de 1978 (Great Lakes Water Quality Agreement of 1978), que propone un enfoque de ecosistema en el manejo de la calidad del agua para restaurar y mantener la integridad química, física y biológica del ecosistema de la cuenca de los Grandes Lagos. Tanto el acuerdo de 1972 como el de 1979 contenían límites en cuanto a la carga de fósforo y sustancias químicas tóxicas. Un protocolo firmado en 1987 enmendó el Acuerdo de 1978 con la meta de fortalecer los programas, prácticas y tecnologías que se encuentran en el acuerdo anterior. Sin embargo, el Protocolo le otorgó a la IJC un papel menos importante, reduciendo así la responsabilidad del gobierno.

Ya que la cuenca de los Grandes Lagos está incluida en los territorios de ocho estados y dos provincias, no es de sorprender que estas entidades políticas hayan cooperado unas con otras a través de los años en la gestión de esta cuenca. Específicamente, el 11 de febrero de 1985, se lanzó la Carta de los Grandes Lagos como medio para que los estados de los Grandes Lagos y las provincias de Ontario y Quebec administren los recursos hídricos de los Grandes Lagos de forma cooperativa. Un principio clave de la carta es que la planeación y manejo de los recursos hídricos de esta cuenca se deben basar en la integridad de sus recursos naturales y ecosistemas. Además, la cuenca debe ser tratada como un solo sistema hidrológico que va más allá de las jurisdicciones políticas. Una cláusula clave dice que "no se permitirán desviaciones de los recursos hídricos de la cuenca si de manera individual o acumulativa tuvieran un impacto adverso importante en los niveles lacustres, usos dentro de la cuenca y el ecosistema de los Grandes Lagos".

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

En la primavera de 1998, el gobierno de Ontario aprobó un permiso para que el Grupo Nova de Sault Saint Marie en Ontario retirara 160 millones de galones de agua al año del lago Superior para su exportación a Asia (Sección 4.7). A pesar de que el gobierno de Ontario más tarde rescindió la licencia, la violenta respuesta pública en Ontario y los Estados Unidos llevó a la revisión por parte de la IJC de las extracciones masivas de agua. Esto también provocó que los gobernadores de los Grandes Lagos formaran un grupo de trabajo para estudiar este asunto en 1999, uniéndose Ontario y Quebec más adelante ese mismo año. Posteriormente, en Niagara Falls, Nueva York, los gobernadores de los Grandes Lagos y los dos premieres firmaron, el 18 de junio de 2001, el Anexo de la Carta de los Grandes Lagos de 2001 como enmienda a la de 1985. Dentro de dicho anexo, los interesados acordaron preparar acuerdos vinculantes para toda la cuenca que contrastan con las obligaciones voluntarias de los Estatutos originales de 1985. El 13 de diciembre de 2005, los ocho gobernadores y los dos premieres formaron el Acuerdo sobre Recursos Hídricos Sustentables de la Cuenca de los Grandes Lagos-Río San Lorenzo (Great Lakes-St. Lawrence River Basin Sustainable Water Resources Agreement) y refrendaron el Pacto sobre Recursos Hídricos de los Grandes Lagos-Río San Lorenzo (Great Lakes-St. Lawrence River Water Resources Compact), que se convirtió en ley el 8 de diciembre de 2008. Los componentes clave de los acuerdos son la prohibición de nuevas desviaciones de agua de la cuenca, excepto para casos especiales, y el uso sustentable del agua para el desarrollo económico.

Las importantes fluctuaciones mensuales y anuales de los niveles del agua se traducen en problemas significativos con respecto a inundaciones y erosión de las costas, generación hidroeléctrica, navegación, atraque, así como carga y descarga de los materiales que se transportan (Environment Canada, 2009; Sección 4.5). De hecho, después de casi 20 años de precipitaciones mayores a la media y evaporación menor al promedio, en 1985 y 1986 todos los lagos, excepto el Ontario, alcanzaron los niveles más altos registrados en el siglo XX. En combinación con el alto nivel de las aguas, las tormentas provocaron inundaciones, erosión de las costas y grandes daños a las propiedades costeras. En respuesta al asunto de los niveles fluctuantes en el sistema de los Grandes Lagos-Río San Lorenzo y la amplia preocupación pública por los riesgos de daños costosos, los gobiernos de Canadá y los Estados Unidos solicitaron a la IJC llevar a cabo una investigación y hacer las recomendaciones pertinentes. La IJC creó el Consejo de Estudios sobre los Niveles de Referencia (Levels Reference Study Board) que eventualmente publicó su reporte final el 31 de marzo de 1993. Para aliviar las consecuencias negativas de los niveles hídricos fluctuantes, el Consejo recomendó una combinación de acciones relacionadas con las prácticas reguladoras del uso de suelo y la suspensión de la regulación de los niveles de agua por medio de estructuras hidráulicas (Levels Reference Study Board, 1993; Rajabi *et al.*, 2001; Yin *et al.*, 1999).

4.6 Energía hidroeléctrica en Quebec: el proyecto de la bahía James y Churchill Falls

Canadá es el segundo mayor productor de energía hidroeléctrica en el mundo (después de China), con el 13% de la energía hidroeléctrica mundial (International Energy Agency, 2008). La energía hidroeléctrica constituye cerca del 60% de la producción energética total de Canadá y el 97% de la energía renovable generada (Gobierno de Canadá, 2009). En Quebec, más del 95% de la electricidad distribuida por Hydro-Québec, el prinicpal proveedor de electricidad de esta provincia, es hidroeléctrica (Hydro-Québec, 2009). Canadá es actualmente "un líder mundial en la producción de energía hidroeléctrica, con una capacidad instalada de más de 70,858 megawatts (MW), y una producción anual promedio de 350 terawatt-hora (TWh)" (Gobierno de Canadá, 2009). Canadá tiene la mayor capacidad hidroeléctrica en el mundo (Canadian Geographic, 2010b). Su producción hidroeléctrica actual podría potencialmente más que duplicarse (Gobierno de Canadá, 2009). Canadá es el mayor proveedor de electricidad de los Estados Unidos, principalmente en la forma de energía hidroeléctrica (Burney, 2009), exportando de 6 a 10% de la energía que genera a este país (Centre for Energy, 2010). La mayoría de las provincias tienen una conexión eléctrica con los estados de los Estados Unidos adyacentes y todas las provincias están interconectadas con las provincias vecinas lo que permite el intercambio de energía eléctrica. Los servicios públicos y gobiernos canadienses están esforzándose actualmente para aumentar el flujo de electricidad de oriente a poniente entre las provincias (Centre for Energy, 2010).

En la Figura 12 se muestra el mayor desarrollo de energía hidroeléctrica de Canadá, el Proyecto de la Bahía James, localizado en la costa este de la bahía James en la provincia de Quebec y que proporciona más de la mitad de la energía hidroeléctrica de Quebec. El proyecto fue iniciado en 1971 por Hydro-Québec y el gobierno canadiense. Se ha construido un total de nueve estaciones generadoras y dos más se están construyendo actualmente. Al día de hoy, el proyecto tiene una capacidad de generación de 16,000 MW, es decir, tres veces más que las estaciones de Niagara Falls y ocho

PARA USO ESTRICTAMENTE FORO CONSULTIVO

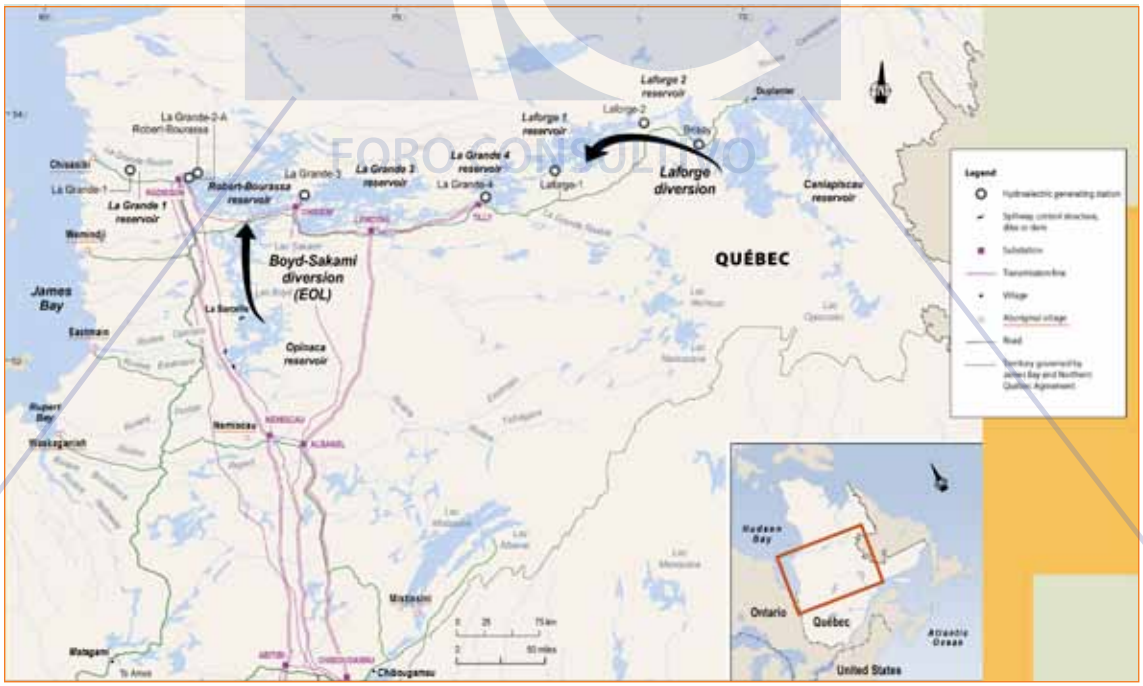
veces la capacidad de la presa Hoover. Si el proyecto fuera expandido hasta incorporar todos los embalses y proyectos planeados, generaría 27,000 MW, convirtiéndose en el sistema hidroeléctrico más grande del mundo (Diccionarios y enciclopedias académicos). A pesar de que la energía hidroeléctrica tiene varias ventajas sobre otras fuentes de energía, tales como el no generar gases de invernadero durante su generación y tener una tasa de conversión de flujo de agua a producción eléctrica extremadamente eficiente, (Armin, 2010), el Proyecto de la Bahía James ha generado bastante controversia debido a sus impactos negativos en el ambiente y la sociedad. El proyecto desvió y embalsó nueve ríos de libre flujo, inundando 11,500 km² de bosque boreal. El proyecto también provocó la liberación de mercurio en el sistema hídrico, contaminando peces y contribuyendo a la muerte de 10,000 caribúes. Asimismo el proyecto terminó con el sustento y modo de vida de los indígenas que vivían en el área afectada (Canadian Encyclopedia, 2010).

La Estación Generadora de Churchill Falls es otra fuente importante de energía hidroeléctrica que se exporta hacia Quebec y que ha causado controversia, aunque principalmente por motivos políticos. La Estación de Churchill Falls es una de las mayores estaciones eléctricas subterráneas en el mundo, con una capacidad instalada de 5,428 MW (Nalcor Energy, 2010a). Churchill Falls se encuentra en Newfoundland y Labrador (NL), que hace frontera con la esquina noreste de Quebec. Ya que NL no comparte frontera con ninguna otra provincia ni estado norteamericano, y Quebec no permite la transferencia de energía a través de sus fronteras, se ve obligada a vender su electricidad exclusivamente a Quebec. Poco antes de la firma del trato entre Churchill Falls Labrador Company (CFLCo) e Hydro-Québec en 1968, Hydro-Québec adquirió información confidencial en cuanto a que CFLCo estaba a punto de la bancarrota. Hydro-Québec se aprovechó de esta información al modificar los términos del trato de tal forma que compraría la energía de CFLCo a un costo muy bajo y extendió el vencimiento del contrato de 2016 a 2040. Posteriormente, Quebec ha tenido ganancias insospechadas vendiendo esta energía a los Estados Unidos, mientras que NL ha logrado ganancias comparativamente pobres. El contrato ha sido cuestionado dos veces ante tribunales por el gobierno de NL, pero los tribunales lo han ratificado en ambas ocasiones (Montreal Gazette, 2005). Se ha planeado la creación de una nueva estación, el Proyecto Lower Churchill Falls, y en la actualidad se revisan las propuestas para su construcción (Nalcor Energy, 2010b).

4.7 La amenaza de la exportación de agua

Con frecuencia Canadá ha dejado de aprovechar plenamente sus recursos naturales desde el punto de vista económico, ambiental y social. Gran parte de los recursos

Figura 12. Proyecto de la Bahía James (Hydro-Québec, 2010)



forestales de Canadá, por ejemplo, son enviados a otros países como leños sin procesar o madera en bruto y cantidades importantes del petróleo recuperado de las arenas bituminosas (Sección 4.3) no se refinan en Alberta ni en otra parte de Canadá. Por consecuencia, los componentes de valor agregado para estos recursos son muy pocos, dando como resultado grandes pérdidas en empleos y ganancias económicas. Además, Canadá es particularmente vulnerable a la pérdida de control sobre sus valiosos recursos de agua dulce y a la posibilidad de sufrir grandes daños ecológicos. Como se menciona en la Sección 3.5, a pesar de las declaraciones del anterior gobierno conservador progresivo que negoció el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), al agua dulce canadiense no está protegida por este tratado (Nikiforuk, 2007).

Existen compañías privadas, tanto dentro como fuera de Canadá, que quisieran exportar el agua canadiense en enormes cantidades para obtener grandes ganancias. En 1998, la provincia de Ontario emitió un permiso para que Nova Group Ltd. de Sault St. Marie exportara de 4 a 6 millones de m^3 de agua del lago Superior por buque carguero. El gobierno federal anunció su oposición al permiso y éste fue cancelado bajo presión pública por el Ministerio del Ambiente de Ontario. En febrero de 1999, el gobierno federal lanzó una estrategia que consistía de tres componentes para prohibir la extracción en masa del agua de las cuencas canadienses. El primero es el establecimiento de un acuerdo con las provincias a lo largo de todo el país para prohibir la extracción de agua en masa en la que cada provincia debe crear la legislación necesaria para cumplir con esta objetivo.

Como parte del segundo componente, Canadá, junto con los Estados Unidos, propuso una solicitud para que la Comisión Internacional Conjunta (IJC-International Joint Commission) investigue los efectos del consumo, desviación y extracción, incluso con fines de exportación, de las aguas fronterizas. Posteriormente, en febrero de 2000, la IJC emitió su reporte final llamado "Protección de las Aguas de los Grandes Lagos", en el que recomienda un enfoque precautorio (SEHN, 1998) por el que no se autoriza la extracción de agua, excepto si se puede demostrar que dichas extracciones no afectarán negativamente la integridad del ecosistema de los Grandes Lagos. Finalmente, en el tercer componente de esta estrategia, el gobierno federal enmendó la Ley del Tratado Internacional de Aguas Fronterizas de 1909 mediante disposiciones que otorgan al Ministro de Asuntos Exteriores la autoridad para prohibir la extracción de agua en masa de las aguas fronterizas. Para fortalecer aún más la protección de las aguas canadienses, el Consejo Canadiense de Asuntos Hídricos (Canadian Water Issues Council, 2008) ha formulado un estatuto federal modelo que evitaría la extracción en masa de agua dulce de las cuencas naturales de Canadá. Al prohibir la exportación de agua fuera de sus cuencas naturales, se preserva la integridad ecológica.

El 13 de diciembre de 2005, los gobernadores de los ocho estados norteamericanos que rodean los Grandes Lagos y los premieres de Ontario y Quebec firmaron acuerdos para otorgar una protección sin precedente para los Grandes Lagos. Bajo el Acuerdo de los Grandes Lagos-Río San Lorenzo sobre Recursos Hídricos Sustentables, se evitan las grandes desviaciones fuera de la cuenca de los Grandes Lagos, aunque según lo señalan los críticos, no se prohíben dentro de la cuenca. Una característica atractiva del Pacto de Recursos Hídricos de la Cuenca de los Grandes Lagos-Río San Lorenzo es que promueve el principio del enfoque de gestión adaptativa (Sección 6.2) en la gobernanza del agua.

Como ejemplo de cómo el TLCAN puede exacerbar el conflicto relativo a la exportación del agua no obstante las leyes existentes para mantener la integridad de los ecosistemas, consideremos la disputa de Sun Belt que fue estudiada sistemáticamente por Obeidi y Hipel (2005) y Hipel *et al.* (2008a), quienes han proporcionado los antecedentes y referencias detalladas. Hacia el final de la década de los 80, el gobierno de Columbia Británica (BC-British Columbia) brevemente otorgó licencias a los inversionistas de Sun Belt Corporation Inc. de California y a un socio canadiense llamado Snowcap Water Ltd. para extraer agua dulce en grandes cantidades porque el gobierno de esa provincia consideraba que tenía abundantes provisiones de agua. Sin embargo, como consecuencia de la férrea oposición de grupos ambientalistas y de ciudadanos preocupados, el gobierno de BC impuso una moratoria temporal el 18 de marzo de 1991, que se hizo permanente en junio de 1995 mediante la Ley de Protección de Aguas (Water Protection Act).

Debido a que Sun Belt no pudo llegar a un acuerdo en cuanto a la demanda por daños contra el gobierno de BC, Sun Belt finalmente decidió aprovechar las provisiones del TLCAN (Sección 3.5) para demandar una compensación económica. Específicamente, al comienzo de 2000, Sun Belt entregó al gobierno federal de Canadá una "notificación de la intención de someter una reclamación a arbitraje" en la cual invocaba los Artículos 1102, 1005 y 1110 del Capítulo 11 del TLCAN, así como los Artículos 26 y 27 de la Convención de Viena sobre Leyes de Tratados. Este conflicto en curso, por el cual Sun Belt está buscando billones de dólares en utilidades perdidas y gastos legales, ha sido

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

analizado en diferentes momentos mediante técnicas de resolución de conflictos (Hipel *et al.*, 2008; Obeidi y Hipel, 2005). Claramente, este tipo de disputa por recursos sólo irá en aumento en el futuro como consecuencia directa del diseño defectuoso del TLCAN, en el que todo el poder legal se otorga a las grandes corporaciones y el mecanismo de resolución de conflictos enfrenta a las corporaciones en situaciones negativas de combate contra gobiernos electos y sus ciudadanos, en lugar de fomentar las resoluciones positivas en las que todos salen ganando, como se hace bajo el Tratado de Aguas Fronterizas de 1909 que administra la Comisión Internacional Conjunta (Sección 3.2).

Debido a los acuerdos sobre los Grandes Lagos antes mencionados, algunas personas argumentan que cuando menos las aguas de estos lagos se encuentran protegidas de la explotación de parte de grandes corporaciones a expensas de los ciudadanos individuales norteamericanos y canadienses que viven en la cuenca de los Grandes Lagos-Río San Lorenzo, así como del ambiente. Sin embargo, puede que éste no sea el caso. Tal y como lo explica Hipel *et al.* (2008) y las referencias ahí contenidas, a pesar de que una compañía privada, McCurdy Enterprises, eventualmente fracasó en obtener un permiso para exportar agua en grandes cantidades desde el lago Gisborne en Newfoundland, ellos predicen que si el precio del agua sube lo suficiente, un gobierno de Newfoundland y Labrador en el futuro podría permitir la exportación de agua dulce en grandes cantidades. Como consecuencia de las normas del TLCAN, si una mercancía como es el agua, se exporta una vez, puede ser exportada en el futuro desde cualquier parte de Canadá, incluyendo desde los Grandes Lagos que supuestamente están protegidos por otros acuerdos internacionales además de las leyes estatales y provinciales correspondientes.

Irónicamente, dada la disputa sobre la posible exportación de agua del lago Gisborne en Newfoundland, uno de los autores observó en 2007 la venta de agua embotellada del lago Eugenia, al norte de Toronto, en los supermercados en St John's en 2007. El agua embotellada se ha convertido en una industria con enormes ganancias, pero no tiene sentido desde el punto de vista económico o científico, sobre todo por el hecho de que el costo al menudeo por litro puede ser hasta 3,000 veces mayor que el del agua potable municipal disponible en los grifos de las mismas tiendas donde se vende el agua embotellada. Como se analiza más profundamente en las Sección 5.4, el agua embotellada es un medio por el cual ya se está exportando el agua desde Canadá.

El agua virtual es otra manera como enormes cantidades de agua están siendo desviadas fuera de Canadá. El término "agua virtual" se refiere al agua necesaria para la producción de un bien o servicio. Por ejemplo, el promedio global de agua necesaria para producir una taza de café es 140 l y la cantidad para 1 kg de carne de res es 16,000 l (Water Footprint Network, 2008). De hecho, "se usa setenta veces más agua para la producción de los alimentos del mundo que aquélla consumida directamente como 'agua' por sus habitantes" (Horbulyk, 2007). Cuando se exportan productos de un país, toda el agua que está "incrustada" en esos productos está siendo efectivamente exportada fuera del país. Sólo los Estados Unidos sobrepasan a Canadá en la cantidad de agua virtual exportada (2003 International Year of Freshwater, 2003) a través de la exportación de productos como cultivos, ganadería y cultivos oleaginosos (Chapagain *et al.*, 2005).

5. Problemas hídricos que se presentan en muchas regiones de Canadá

En esta sección se analiza una variedad de problemas hídricos que no están relacionados con una región, sino que ocurren a todo lo largo de Canadá. Como se explica en la Sección 5.1, los recursos hídricos subterráneos están siendo utilizados para fines de abastecimiento de agua potable, agricultura, industria y comerciales en todas las jurisdicciones políticas de Canadá. En muchos casos, los mantos freáticos están disminuyendo en los lugares donde las reservas subterráneas de agua están siendo sobreexplotadas y los acuíferos están siendo contaminados como resultado de las actividades humanas, como las áreas industriales abandonadas, creadas por la contaminación del suelo por actividades industriales como se analiza en la Sección 5.3. Tanto las aguas superficiales y subterráneas como la atmósfera están siendo contaminadas por lo que se conoce como "contaminantes emergentes" (CEC-Contaminants of Emerging Concern), como se menciona en la Sección 5.2. Muchas personas tienen inquietudes, por ejemplo, en cuanto a los efectos en la salud de una enorme variedad de sustancias químicas nuevas que está produciendo la industria, como el sector farmacéutico, y que están entrando al ciclo hidrológico que se muestra en la Figura 3. Se produce agua embotellada en la mayoría de las regiones de Canadá con exportaciones a gran escala hacia otras partes del país y hacia otras naciones, como se menciona en la Sección 5.4. Además, la cantidad total de agua, en forma de

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

agua virtual, que se necesita para un cultivo o fabricar un producto se está exportando de maneras distintas en cantidades enormes pero invisibles. La discusión en curso de la amenaza que significa la exportación directa del agua en enormes cantidades se analiza en la Sección 4.7.

5.1. Sobreexplotación, contaminación y restauración de aguas subterráneas

A continuación se encuentra un resumen de los temas actuales y emergentes relativos al agua subterránea en Canadá, según lo señala un reporte de Consejo de Academias Canadienses (CCA Council of Canadian Academies, 2009):

- El incremento poblacional y su creciente concentración en áreas urbanas, con las importantes implicaciones en cuanto a la planeación del uso de suelo y la protección de cuencas.
- La intensificación de la agricultura, que desemboca en mayores demandas de aguas subterráneas y el omnipresente riesgo de la contaminación por nitratos y otros residuos, así como patógenos (el CCA ha solicitado al Ministro de Agricultura y a Agri-Food Canada que lleven a cabo un estudio para determinar las investigaciones adicionales necesarias para manejar las demandas agrícolas de agua de manera más sustentable).
- La mayor explotación de hidrocarburos y otros recursos minerales en respuesta a la demanda mundial, creando presiones nuevas y crecientes sobre la cantidad y calidad de los recursos hídricos adyacentes, tanto superficiales como subterráneos.
- La presencia de sitios contaminados (Sección 5.3 sobre las áreas industriales abandonadas) y la continua necesidad de remediarlos.
- La creciente preocupación por la protección de las recursos hídricos subterráneos como consecuencia de algunos de los puntos anteriores o de todos ellos.
- Las amenazas a los ecosistemas acuáticos y a los peces por el menor flujo de las corrientes que son alimentadas por aguas subterráneas durante los períodos secos.
- Los retos que enfrentan las aguas fronterizas y la constante necesidad de la gestión cooperativa de los recursos hídricos que cruzan o se extienden a través de la frontera Canadá-Estados Unidos.
- El impacto del cambio climático sobre la disponibilidad de nuestros recursos hídricos superficiales y subterráneos enlazados entre sí, además del aumento en las demandas que se hacen sobre estos recursos (Sección 5.5).

Cálculos realizados para 1995 muestran que las aguas subterráneas correspondían sólo a un poco más del 4% del total del aprovechamiento de agua dulce en Canadá, aunque esta cifra es cerca del doble de la cantidad estimada del uso anual de aguas subterráneas entre 1980 y 1990. Los Estados Unidos usan el agua subterránea en cantidades mucho mayores que Canadá, aun con base en un cálculo ajustado a la población (CCA, 2009).

"El principal aprovechamiento de las aguas subterráneas en Canadá varía según la región, desde usos municipales en Ontario, Prince Edward Island, New Brunswick y el Yukón, para saciar la sed del ganado en Alberta, Saskatchewan y Manitoba, hasta usos principalmente industriales en Columbia Británica, Quebec y los Territorios del Noroeste, así como para pozos domésticos en Newfoundland y Nova Scotia. Al interior de cada provincia existe una distribución espacial variable del aprovechamiento de las aguas subterráneas, dependiendo de las propiedades de los acuíferos locales y la disponibilidad de las aguas superficiales. El grado al que depende la población en las provincias de las aguas subterráneas para uso doméstico varía desde el 100 por ciento en Prince Edward Island hasta cerca del 23 por ciento en Alberta. Esta amplia variación ilustra la naturaleza altamente regional del grado de dependencia de las aguas subterráneas." (CCA, 2009).

A pesar de que las aguas subterráneas se han explotado por más de 100 años, se dispone de poca información sistemática en cuanto a las características de los acuíferos. El Instituto Nacional de Investigaciones Hídricas (NWRI-The National Water Research Institute) y la Inspección Geológica de Canadá (GSC-Geological Survey of Canada) actualmente colaboran en la recopilación de esta información y aplican métodos geológicos modernos al mapeo e interpretación de los acuíferos.

El acuífero Paskapoo de Alberta puede servir como ejemplo típico de un acuífero de importancia considerable tanto local como regionalmente, pero que solamente en los últimos años ha recibido la atención científica adecuada. El Paskapoo es una formación de arenisca que yace justo por debajo de la cubierta superficial de sedimentos glaciales a lo largo de la mayor parte de Alberta. Se han perforado unos 65,000 pozos en esta unidad, lo que la convierte, por mucho, en la fuente más importante de aguas subterráneas en las Praderas (información en esta sección de Grasby *et al.*, 2008). La unidad se encuentra bajo presión considerable debido al aumento de la población rural y urbana en la provincia, y porque los derechos de aguas superficiales ya se han otorgado casi en su totalidad. El

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

acuífero es del tipo "no confinado", es decir, no está cubierto por una capa impermeable y por ello recibe recarga a lo largo de toda su área de superficie. El nivel de agua promedio en los pozos de Paskapoo ha caído 3 m en los últimos 47 años de los que se dispone de registros, pero no queda claro si esto refleja una disminución real (como resultado del aprovechamiento del agua y la sequía) o debido a que ahora los pozos se perforan a mayor profundidad en áreas donde el nivel freático es más bajo. Por el momento, los niveles de contaminantes en el Paskapoo aún parecen bajos, con la excepción de las concentraciones locales de cloruro antropogénico. Un 8% de los pozos privados en Alberta exceden los lineamientos para bacterias en agua potable, y el 92% exceden los lineamientos canadienses para uno o más de los parámetros estéticos y de salud (es decir, las características que afectan el sabor u olor, que manchan la ropa o que causan incrustaciones o daño en las tuberías) (CCA, 2009). Grasby (2008) calcula que para dar cabida al crecimiento poblacional que se proyecta a futuro en Alberta, se necesitará una reducción del 50% en el aprovechamiento per cápita del agua a lo largo de los próximos 50 años. Será necesario limitar tanto el uso de agua superficial como subterránea.

El municipio de Langley, cerca de Vancouver, se menciona como un ejemplo de comunidad agrícola en rápida urbanización (se pronostica que su población de 100,000 habitantes en 2008 alcance 165,000 para el 2023) que ha experimentado reducciones sustanciales en las aguas subterráneas y que está tomando medidas para revertirlas (CCA, 2009). El monitoreo en curso indica niveles decrecientes en los acuíferos de uso más intensivo, tendencia que ha estado sucediendo por casi 40 años. Las reducciones no se deben a cambios en la precipitación, sino que son el resultado del uso excesivo de las aguas subterráneas. El instituir la gestión de la demanda del agua como medio para conservarla podría dar como resultado importantes ahorros. El municipio calcula que el cumplimiento de las metas de los planes de gestión hídrica que ha propuesto resultaría en una reducción del 30% del uso total de agua con un ahorro de aproximadamente $800,000 en 2007.

Resulta mucho más costoso limpiar la contaminación agrícola e industrial de las aguas subterráneas que el tomar medidas para prevenirla (CCA, 2009). Algunos casos de contaminación de aguas subterráneas en Canadá son bien conocidos. La tragedia de Walkerton, Ontario, en mayo de 2000 resultó en la muerte de siete personas y en por lo menos 2,300 personas gravemente enfermas como resultado del colapso en el sistema de prueba, cloración y monitoreo de agua. Al final se determinó que residuos agrícolas se estaban infiltrando al pozo del pueblo, aunque las pruebas de rutina no se realizaron adecuadamente y los resultados fueron en cualquier caso ignorados por todos los niveles del sistema municipal y provincial que supuestamente deben estar en práctica para evitar tales acontecimientos (Hipel *et al.*, 2003) para referencias y una evaluación de riesgo). Los costos por investigar el problema fueron muy altos, así como los necesarios para poner en práctica un nuevo sistema. El costo por arreglar el problema hídrico de Walkerton llegó a $64 millones; la comisión encargada de investigar el evento costó aproximadamente $10 millones, y se pagaron más de $65 millones como compensación para las víctimas y sus familias (Wellington *et al.*, 2007; The Canadian Press, 2008; Parsons, 2002). Como resultado de la investigación del incidente Walkerton se implementaron cambios importantes en las leyes hídricas de Ontario. En su reporte de la investigación, el juez O'Conner concluyó que la protección del agua en su fuente es un componente clave del manejo integral del agua para evitar otro incidente similar, e hizo 22 recomendaciones relativas a la protección de las fuentes. Para implementar estas recomendaciones, el gobierno de Ontario instituyó la Ley de Agua Limpia (Clean Water Act), que requiere que las comunidades desarrollen y lleven a cabo un plan de protección de las fuentes para suministrar su agua municipal (Conservation Ontario, 2009).

Los nuevos métodos para la explotación del gas pizarra (*shale gas*) han creado una nueva inquietud relativa tanto a las aguas superficiales como las subterráneas. Ahora es posible extraer gas metano natural del esquisto no poroso mediante el proceso de fracturación (*fracking*), el uso de grandes cantidades de agua, arena y sustancias químicas inyectadas por debajo de la superficie a muy altas presiones (5,000-15,000 psi). El proceso de fracturación abre fracturas incipientes y genera otras nuevas en el esquisto, aumentando enormemente la superficie de la que puede filtrarse el gas hacia la abertura del pozo. El desarrollo de este proceso, que requiere la perforación de varios pozos horizontales, ha cambiado completamente la economía del gas natural de manera que este proceso ya proporciona el 20% de todo el gas producido en los Estados Unidos (IHS, 2010). Se pronostica la presencia de grandes unidades de esquisto en la parte noreste de British Columbia, Alberta, Quebec y New Brunswick. Al comienzo de 2010, Apache Corporation and Encana de Houston llevó a cabo una de las más grandes operaciones de fracturación del mundo al noreste de Fort Nelson, British Columbia, en la cuenca del río Horn, usando unos 5.6 millones de barriles de agua superficial. La mayoría del agua utilizada en el proceso de fracturación regresa a la superficie con el gas, creando el problema de cómo disponer del agua ahora al-

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

tamente contaminada. El método actual consiste en volver a inyectarla hacia cuerpos de agua salina subterránea y a varios kilómetros de profundidad, pero surgen muchas preguntas relativas al destino de tales masas de agua en el futuro. Dadas las presiones altísimas utilizadas, es posible que el agua subterránea contaminada pudiera subir a través de las fracturas hasta la superficie, contaminando las aguas subterráneas poco profundas o bien los suministros de agua dulce superficial. En Texas (Barnett Shale) y otras áreas de los Estados Unidos, la producción de gas de pizarra se ha estado llevando a cabo por varios años sin que se hubiera comprobado algún incidente tal de contaminación, aunque actualmente las opiniones están divididas en cuanto a la seguridad ambiental en general de las operaciones (Parfitt, 2010). Un programa de exploración que Questerre Energy llevaba a cabo en Utica Shale del valle de San Lorenzo entre Montreal y la ciudad de Quebec se suspendió en octubre de 2010 debido, en parte, a las expresiones de inquietud pública sobre los posibles problemas de contaminación y la descarga de gas natural hacia los suministros subterráneos de agua potable, y en parte por la falta de inversión consecuencia de los bajos precios del gas causados por la inundación de gas pizarra en el mercado norteamericano. (McCarthy, 2010).

La regulación del uso de aguas superficiales y subterráneas para operaciones de gas pizarra típicamente no ha estado en manos de los cuerpos ambientales provinciales y estatales sino ha sido asignada a los reguladores de petróleo y gas. Esto causa inquietud dado el mandato primordial de dichos reguladores para facilitar, e incluso promover la extracción de recursos.

5.2. Contaminantes emergentes (CEC-Contaminants of Emerging Concern)

El término "contaminantes emergentes" se refiere a un complejo espectro de materiales y organismos que potencialmente tienen impactos importantes en la salud humana y ambiental. El desarrollo de mejores métodos de detección y el mejor entendimiento de los efectos de los materiales que permean el ambiente (tanto naturales como de fabricación humana) ha llevado a un nuevo nivel de sofisticación y complejidad en las inquietudes de salud. El movimiento y las reacciones de los materiales CEC están influenciados por los sistemas físicos, químicos, biológicos y radiológicos y como consecuencia estos materiales pueden sufrir cambios en su concentración, características y capacidad de reacción. Los CEC se pueden agrupar por sus características (microbiológicos, sustancias químicas orgánicas, sustancias inorgánicas, parámetros físicos y materiales radiológicos) o por el tipo de impacto que causan (óxido-reducción, ácido-base, disrupción endócrina, radiación, infecciones [microbianas y priones] o citotoxicidad). El tema crítico es lo que se debe hacer para reducir el impacto adverso de estos materiales en los componentes bióticos y abióticos del mundo hídrico. Esta sección examina algunos de los temas y tecnologías actuales que han sido identificados en Canadá y que, en algunos casos, se utilizan para reducir los impactos de los CEC.

Tipos de CEC. Los tipos de materiales en general que actualmente se identifican como causantes de inquietud en cuanto a los sistemas hídricos incluyen componentes de todos los aspectos de las actividades humanas. Conforme vayamos aprendiendo más acerca de los materiales presentes y sus interacciones entre sí y con los seres vivos, la lista crecerá. El Cuadro 1 menciona las categorías y subcategorías en general de los CEC, así como algunas de sus características representativas.

Fuentes de CEC. Todos los aspectos de las actividades municipales, industriales y naturales puede derramar CEC al ambiente. Es relevante reconocer que las fases gaseosas, líquidas y sólidas de los materiales pueden contener CEC. El cambio de un contaminante de un estado a otros resulta en cambios cualitativos, pero no disminuye la carga contaminante sobre el ambiente. El ejemplo obvio es la volatilización o transferencia en masa de un líquido a un gas y viceversa. Muchos estudios de aguas residuales municipales (tanto crudas como tratadas) han demostrado que contienen materiales (disueltos, sólidos o gaseosos) que se identifican en casi todas las categorías de CEC. De hecho, prácticamente todo material fabricado por el hombre se puede encontrar en las aguas residuales municipales. Como ejemplo, una encuesta en Alberta identificó 105 sustancias farmacéuticas, hormonas y compuestos que producen disrupción endócrina (EDC-Endocrine Disrupting Compounds) en las aguas residuales crudas y 48 en el efluente ya tratado. Un estudio similar en Ontario encontró resultados parecidos (Servos *et al.*, 2005). Encuestas de este tipo se han llevado a cabo en todo el mundo y todas indican que las aguas residuales municipales contienen todos los tipos de CEC. No obstante que el principal objetivo del tratamiento de aguas residuales es retirar todos los contaminantes de las aguas residuales crudas, en realidad solamente unos cuantos parámetros se reducen.

Impactos. Los microorganismos son tanto aliados como enemigos de los seres vivos. Los acariontes (virus), procariontes (bacterias y cianobacterias) y eucariontes (incluyendo los protistas [algas, hongos y protozoarios]) y meta-

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

zoarios (rotíferos y nemátodos) pueden tener relaciones positivas y negativas con otros seres vivos. Nuevos temas surgen cuando los humanos introducen materiales al ambiente que aceleran los cambios en los microorganismos y en algunos casos, los vuelven más peligrosos.

En cuanto a las sustancias farmacéuticas, la industria continuamente trabaja para hacerlos más resistentes a la degradación para que puedan hacer mejor el "trabajo" que se pretende que hagan. Como resultado, se puede esperar que su presencia en las aguas residuales y la dificultad para removerlas se incremente.

Recientemente se ha demostrado que la descarga de aguas residuales municipales tratadas convencionalmente es un problema. Kerr *et al.*, (2008) demostraron que la eliminación convencional de nutrientes biológicos activa el tratamiento de los lodos efluentes y que el efluente filtrado a través de ultramembranas no reduce la exposición a xenobióticos. Sin embargo, el tratamiento adicional con carbono activado si reducía la mayoría de los xenobióticos.

Se han llevado a cabo varios estudios adicionales para investigar los efectos de diversos tipos de CEC que se encuentran en el agua de Canadá. Una encuesta de 2005-2006 detectó niveles traza de ciertas sustancias farmacéuticas y BPA (bisfenol A) en muestras hídricas de varias fuentes de aguas no tratadas y de agua lista para su distribución, aunque actualmente a niveles que no amenazan la salud humana (Ministerio del Ambiente de Ontario, 2006). Otro estudio encontró que el exponer peces a niveles de estrógeno semejantes a los que se encuentran un muchos efluentes de las aguas residuales municipales de Canadá disminuía la producción de huevos y las características sexuales secundarias masculinas (Parrott y Blunt, 2005). Una investigación para conocer el efecto de pesticidas agríco-

Cuadro 1. Categorías generales de los contaminantes emergentes

Categoría	Subcategoría o material representativo	Algunas características
Microbiológicos	Resistentes a antibióticos	Resistentes a uno o más antibióticos
	Priones	Moléculas proteínicas dobladas erróneamente
	Microcistinas	Crecimiento natural de cianobacterias o promovido por la contaminación
Sustancias químicas orgánicas		
Enfocados en la sociedad	Farmacéuticos	Muchas clases de sustancias químicas utilizadas por la profesión médica para disminuir los problemas de salud
	Fitoestrógenos	
	Hormonas	Humanas y animales
	Pesticidas	Gran variedad de sustancias químicas para matar seres vivos seleccionados o grupos de ellos
	Productos para cuidado personal	Filtros solares, jabones, compuestos de limpieza
	Retardantes de fuego	Cubiertas, aerosoles
Enfocados en la industria	Surfactantes	Disminuyen la transferencia en masa gas-líquido
	Solventes	Disuelven muchos materiales
Sustancias químicas inorgánicas	Productos para cuidado personal	Maquillajes, compuestos para limpieza
	Propelentes para gases	Aerosoles y transporte en forma de vapor desde recipientes a presión
	Ácido sulfhídrico	Efectos tóxicos, se oxida al H2SO4
	Amoníaco	
Parámetros físicos	Partículas - Aire	PM10, PM2.5, penetración pulmonar
	Partículas - Agua	Total sólidos suspendidos, reflexión, refracción, adsorción, captura de CEC
Radiación	Luz ultravioleta	Reacciones en materiales celulares que pueden llevar a cambios en acciones

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

las comúnmente utilizados en los humedales de las praderas del norte no encontró un impacto significativo en las salud misma del agua, aunque esos pesticidas todavía representan una amenaza a la vida acuática que habita estos humedales (Johnson, 1986). Se han llevado a cabo más estudios sobre CEC en cuanto a varios tipos de patógenos en aguas residuales (Andersen, 1993; Bell *et al.*, 1983; Finch y Smith, 1986) y enfermedades de origen hídrico (Neumann *et al.*, 2005).

Manejo de los CEC. ¿Cómo se pueden manejar los materiales CEC? La respuesta es relativamente simple: se requiere de un programa de componentes múltiples. Primero, se debe legislar y apoyar la aplicación de las regulaciones pertinentes para evitar su producción hasta donde sea posible, reducir la descarga y educar a las personas en cuanto a los procedimientos adecuados de manejo.

El control de los CEC requiere por los menos tres tipos de acciones simultáneas: a) frenar la creación de CEC; b) controlar la eliminación de CEC; y c) destruirlos o convertirlos en materiales no peligrosos. Para cada uno de los tres enfoques es necesaria una acción importante a nivel de gobierno, es decir, la promulgación de leyes y regulaciones para otorgar poder a cada tipo de aplicación.

5.3. Áreas industriales abandonadas

La Agencia de Protección Ambiental define las áreas industriales abandonadas como "propiedad real, cuya expansión, redesarrollo, o reúso puede complicarse por la presencia real o potencial de una sustancia dañina o contaminante" (US EPA, 2005). En Canadá, la Mesa Redonda Nacional sobre el Ambiente y la Economía (NRTEE-National Roundtable on the Environment and the Economy) (NRTEE, 2003) declara que "las áreas industriales abandonadas son una herencia de un siglo de industrialización, son propiedades comerciales o industriales abandonadas, en desuso o subutilizadas que han sufrido contaminación real o presunta por actividades en el pasado, pero que tienen un potencial activo para su redesarrollo". De hecho, las áreas industriales abandonadas son muy numerosas y representan graves riesgos ambientales y a la salud en los países industrializados alrededor del mundo. Por ejemplo, se cree que los Estados Unidos contiene entre 500,000 y 1,000,000 áreas industriales abandonadas, mientras que en Alemania existen unas 362,000 (NRTEE, 2003). Canadá podría tener hasta 30,000 áreas industriales abandonadas, incluyendo sitios de empresas casi olvidadas tales como plantas de gasificación de carbón, lugares donde se usaron o almacenaron sustancias tóxicas, así como antiguas estaciones de gasolina y operaciones mineras (De Sousa, 2001). Hoy en día se están creando áreas industriales abandonadas a gran escala, incluyendo las áreas de explotación de arenas bituminosas en Canadá (Sección 4.3) y los centros industriales en rápido desarrollo en China e India para las cuales el enorme crecimiento económico es de importancia incalculable a expensas de la degradación ambiental a gran escala. Por definición, las áreas industriales abandonadas casi siempre resultan en la contaminación de los recursos hídricos subterráneos o superficiales y, en ocasiones, de la atmósfera.

El redesarrollo de las áreas industriales abandonadas consiste de dos etapas principales: rehabilitación del suelo contaminado y la utilización posterior del lugar para una variedad de desarrollos tales como las construcción de instalaciones comerciales, educativas y residenciales. Afortunadamente, la restauración de áreas industriales abandonadas proporciona una diversidad de beneficios económicos, sociales y ambientales a los inversionistas (NRTEE, 2003). Desde un punto de vista económico, el redesarrollo de áreas industriales abandonadas tiene un factor multiplicador de rendimiento total de 3.8 (NRTEE, 2003), y da beneficios económicos que incluyen el desarrollo de tecnologías exportables de restauración, proporcionar una base fiscal ampliada para todos los niveles de gobierno, y la creación de oportunidades laborales. Desde el punto de vista social, la restauración de áreas industriales abandonadas puede promover la calidad de vida; eliminar amenazas para la salud, y otorgar suelo para vivienda costeable. Finalmente, los beneficios ambientales incluyen el restablecimiento de la calidad ambiental; la prevención de contaminación del suministro de agua de los municipios en el futuro, y la reducción de la presión de expansión de los centros urbanos hacia las áreas verdes que los rodean. Dentro de Canadá, muchos municipios tienen programas ambiciosos para las áreas industriales abandonadas que pretenden convencer a los propietarios y promotores de terrenos para que restauren y desarrollen estas áreas, contando con el apoyo económico y legislativo de sus gobiernos provinciales. Bernath Walker *et al.* (2010), por ejemplo, llevan a cabo un análisis estratégico de las negociaciones exitosas que tomaron lugar en relación con la conversión de la antigua fábrica Kaufman Footwear en *lofts* residenciales en el centro de Kitchener, Ontario. Hipel *et al.* (2010) presentan una metodología de sistemas para resolver tanto los aspectos estratégicos como tácticos de los conflictos complejos que se presentan en las áreas industriales abandonadas, y enfatizan el papel que pueden jugar las actitudes positivas para alcanzar resultados en los que ganen todos los interesados.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Un conflicto sobre áreas industriales abandonadas particularmente polémico en Canadá ha sido sobre los estanques de alquitrán en Sydney, Nova Scotia. Los estanques de alquitrán son uno de los lugares más tóxicos en Canadá y resultan de la producción de acero y coque a lo largo de un siglo. Los contaminantes de la producción contaminaron el suelo del lugar y fueron llevados por una corriente hacia dos grandes estanques de lodos, que ahora contienen 700 mil toneladas de sustancias químicas incluyendo PCB (CBC News, 2004). Los reportes que han hecho los vecinos y grupos ambientales de los efectos negativos de los estanques de alquitrán han sido desestimados repetidamente por las investigaciones patrocinadas por el gobierno, aunque un estudio de 2003 encontró que existe una taza excepcionalmente elevada de cáncer en las comunidades cercanas. En los últimos 20 años se han hecho dos intentos fallidos para limpiar el lugar (CBC News, 2007). En la actualidad, los gobiernos federal y provincial están financiando un proyecto controversial para solidificar y estabilizar los contaminantes mezclándolos con concreto, que se tiene programado finalizar en 2014 (Top 100: Canada's Biggest Infrastructure Projects, 2009).

5.4. Agua embotellada

La industria del agua embotellada es el símbolo del triunfo de la promoción comercial sobre el sentido común. En la mayor parte del mundo desarrollado, el agua potable municipal se procesa hasta lograr una alta pureza y sabor, y es totalmente aceptable para el consumo humano. No obstante, casi una tercera parte de los hogares canadienses han sido convencidos de lo contrario por la publicidad del agua embotellada (Sandford, 2007; Lem, 2008). De hecho, los estándares de calidad para el agua embotellada son laxos y erráticos. El agua embotellada es regulada a nivel federal por Health Canada y la Agencia de Inspección de Alimentos de Canadá (Canadian Food Inspection Agency), y las provincias y los territorios pueden imponer regulaciones de salud adicionales (Health Canada, 2009). Mientras que la calidad de las aguas municipales canadienses se monitorea diario, la del agua embotellada se comprueba cada tres años (CBC News, 2008). Además, no se requiere que las compañías que fabrican el agua embotellada compartan sus resultados con la población (CTV News, 2006). Asimismo, a diferencia del agua municipal canadiense, la mayoría de las marcas de agua embotellada no contiene fluoruro, un agente que se ha comprobado previene la caries dental (CBC News, 2008).

Investigadores canadienses han encontrado que alguna agua embotellada en Canadá contiene niveles peligrosos de bacterias. No obstante, Health Canada no ha establecido un nivel límite permisible de bacterias para el agua embotellada (Cross, 2010).

El plástico usado para el agua embotellada representa un uso importante de materia prima de origen petroquímico. A pesar de que los recipientes de agua embotellada son reciclables, una gran parte de los recipientes usados terminan en los tiraderos de basura, hasta en un 80% en algunas comunidades (Council of Canadians, 2008). En consecuencia, la eliminación de las botellas se ha vuelto un asunto de gran importancia, en algunas jurisdicciones (por ejemplo, London, Ontario) se reporta un aumento importante en el volumen de la basura urbana, junto con una reducción en su peso, como resultado del enorme aumento en botellas desechadas. Una visita a cualquier costa europea o norteamericana mostrará gran cantidad de botellas sobre las playas, otro signo grave de la falta de manejo de los desechos. Además, la producción y transporte del agua embotellada utiliza enormes cantidades de combustibles fósiles y agua, así como produce enormes cantidades de gases de invernadero. El Pacific Institute ha calculado que el agua embotellada producida alrededor del mundo en 2006 para los consumidores norteamericanos necesitó 17 millones de barriles de petróleo (sin incluir la energía para su transporte), que a su vez produjo más de 2.5 millones de toneladas de CO_2, y que cada litro de agua embotellada requirió de 3 l de agua para su producción.

Gracias a las lagunas jurídicas que existen en las leyes canadienses, el agua embotellada es un medio por el cual se está exportando agua del país. Debido a que el agua se considera un bien cuando ha sido embotellada y las prohibiciones de agua en masa sólo aplican a recipientes mayores a 20 l, no existe un límite para la cantidad da agua embotellada que se puede exportar desde Canadá (Rinehart, 2007). Consecuentemente, Canadá se ha convertido en un exportador neto de agua embotellada, con ganancias que van principalmente a compañías de agua multinacionales y extranjeras. Estas compañías están amenazando cuencas enteras en Canadá al extraer agua de los manantiales y acuíferos que no han sido evaluados apropiadamente y por la que se les cobra muy poco (Barlow, 2007). Existen reportes de escasez de agua en la región de los Grandes Lagos cerca de las plantas embotelladoras de agua, de acuerdo con el Earth Policy Institute (Council of Canadians, 2008).

Con motivo de los asuntos antes mencionados relativos al agua embotellada, ha habido un movimiento creciente en Canadá en contra de ella. Treinta municipios de 7 provincias han tomado acciones importantes contra el agua em-

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

botellada, tal como prohibir su venta en instalaciones municipales, y 21 universidades y colegios han creado "áreas libres de agua embotellada" (Polaris Institute, 2009).

5.5. Cambio climático

Kathy Jacobs, directora ejecutiva del Arizona Water Institute, se ha referido al agua como "el mecanismo de ejecución de los impactos del cambio climático". Esto significa que los efectos del cambio climático serán experimentados de manera más inmediata a través de los cambios hídricos (Brubaker, 2009). Abajo hay una breve descripción de los retos y oportunidades pendientes impuestos por el cambio climático con respecto al agua para las diferentes regiones de Canadá, seguido de una breve explicación de las acciones que se pueden tomar para afrontar este asunto.

Hasta ahora, en Canadá los efectos del cambio climático han sido más dramáticamente aparentes en el Ártico, y se pronostica que las regiones polares en el mundo sufrirán las disrupciones más dramáticas en los patrones climatológicos en el futuro (McCarthy, 2010). La fusión del hielo de los mares del Ártico se ha acelerado mucho en la última década. Aproximadamente 2 millones de km² de hielo marino se derritieron de 2000 a 2010, comparado con la pérdida de menos de 1 millón de km² en las dos décadas anteriores (Simpson, 2010). De hecho, en 2010 el Ártico canadiense experimentó la menor extensión de hielo en verano jamás registrada (McCarthy, 2010). Además, la cubierta de hielo se está adelgazando (NRCan, 2007). La apertura del Océano Ártico permitirá mayores oportunidades para la transportación y el turismo, pero perturbará la ecología de la región (Canadian Geographic, 2010a). Asimismo, mientras que el calentamiento causa que el permahielo se derrita, los ductos de agua potable y aguas residuales se romperán (NRCan, 2007). Otro resultado de la degradación del permahielo que ya se está experimentando es la pérdida de grandes extensiones de bosque boreal, cuya importancia se analizó en la Sección 4.3.

Otra consecuencia del cambio climático es la mayor frecuencia de precipitación de alta intensidad que puede deslavar nutrientes, toxinas y patógenos hacia los cuerpos de agua, así como provocar inundaciones repentinas en cuencas pequeñas y áreas urbanas. En el Canadá Atlántico, se espera que un aumento en el número e intensidad de las tormentas, en combinación con un mayor nivel del mar, causen inundaciones y erosión a lo largo de las áreas costeras y los ríos (Richardson, 2010; Bruce *et al.*, 2000), lo que podría tener como consecuencia la diseminación de patógenos de origen hídrico y la intrusión de agua salada a los acuíferos subterráneos (NRCan, 2007). Además, la pérdida de la cubierta de hielo podría hacer que las regiones costeras fueran más susceptibles a la erosión (Canadian Geographic, 2010a).

Las inundaciones ribereñas causadas por mayor precipitación y la pérdida de hielo también son un motivo importante de inquietud para Quebec. Esto podría tener como resultado el desbordamiento de aguas negras, que pueden contaminar los sistemas de suministro de agua potable municipal (Bruce *et al.*, 2000). Como se analizó en la Sección 4.6, la energía hidroeléctrica es la forma dominante de energía eléctrica en Quebec. La generación de dicha energía podría beneficiarse o padecer por el cambio climático. El agua adicional en el norte de Quebec y en Labrador podría estimular la generación de electricidad en el Proyecto de la Bahía James y la Estación de Churchill Falls, respectivamente, aunque estas ganancias podrían ser contrarrestadas por el menor flujo del río San Lorenzo, lo que podría afectar las plantas generadoras de Beauharnois y Les Cèdres que dependen de esta fuente (Bruce *et al.*, 2000). La disminución de los niveles de las aguas del San Lorenzo también afectaría la navegación, los puertos deportivos, los suministros de agua municipal, humedales y la pesca (Tar Sands Watch, 2008).

Se ha pronosticado que los niveles hídricos de los Grandes Lagos (Sección 4.5), que se encuentran rodeados por 40 millones de personas, disminuirán 24% en caso de un aumento de 2 al 4% en la temperatura (Tar Sands Watch, 2008), aunque un estudio reciente por la IJC encontró que podría haber una disminución más modesta en estos niveles (Kart, 2010). Asimismo, los datos históricos muestran fluctuaciones importantes en los niveles de los lagos a lo largo de períodos decadales, indicando que las oscilaciones climáticas naturales de la región también son probablemente un factor importante en el cambio ambiental (Fisheries and Oceans Canada, 2007). Una reducción importante en los niveles de agua pondría bajo tensión a la navegación, suministros de agua municipal, generación hidroeléctrica, recreación y los ecosistemas (NRCan, 2007). Además, los efectos combinados de la reducción de los niveles de agua y la mayor demanda sobre los Grandes Lagos, así como sobre otras regiones a lo largo del sur de Canadá, "suscitará conflictos entre los usuarios del agua y presionará los acuerdos hídricos fronterizos y transfronterizos" para 2050 (Canadian Geographic, 2010a). Una disminución de la cantidad de agua también implica una reducción en la calidad del agua, ya que los contaminantes estarán concentrados y asentados (NRCan, 2007). Además, la cubierta de hielo de los Grandes Lagos ha mostrado una tendencia a la baja

USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

durante los últimos 30 años, lo que produce mayor evaporación y menores niveles lacustres, así como otras implicaciones económicas y ecológicas (International Upper Great Lakes Study, 2009; Wang *et al.*, 2009).

Los temas del cambio climático que afectan las Provincias de la Pradera se han analizado en las Sección 4.1 y 4.2. Se espera que el suelo en riesgo de sufrir desertificación en las Praderas aumente un 50% para 2050, y la frecuencia de sequías que duran cuatro a seis meses podría duplicarse (Canadian Geographic, 2010a). Por otra parte, existe la posibilidad de que la tierra cultivable se expanda hacia el norte (Bruce *et al.*, 2000).

Columbia Británica, de manera parecida a las Provincias del Atlántico, enfrenta la amenaza de más lluvias de gran intensidad así como inundaciones costeras y ribereñas, que posiblemente lleven a efectos en la salud de origen hídrico e intrusiones de agua salada a los suministros de agua (Richardson, 2010; NRCan, 2007). Los flujos fluviales serán menores en el sur de Columbia Británica, afectando la agricultura y el suministro de agua municipal, aunque se esperan flujos algo mayores en el norte (Bruce *et al.*, 2000).

A la luz de los drásticos cambios inminentes para Canadá provocados por el cambio climático, Bruce *et al.* (2000) alientan a los líderes del país a actuar ahora en preparación a estos inevitables eventos, ya que podría ser mucho más costo y menos efectivo reaccionar en el último momento a los retos conforme surjan en lugar de prepararse de antemano, además de que las adaptaciones necesarias para enfrentarse al cambio climático también son necesarias para mejorar la situación actual de Canadá. Ellos recomiendan las siguientes acciones para adaptarse al cambio climático: crear una estrategia nacional para los recursos hídricos y cambio climático; establecer un mecanismo para la coordinación entre organismos a nivel federal, así como un mecanismo para la coordinación federal-provincial y de los diversos interesados a fin de facilitar el desarrollo e implementación de las estrategia; implementar investigaciones adicionales para dirigir la estrategia; conseguir la colaboración de los organismos existentes para el desarrollo de la estrategia, y organizar una conferencia nacional sobre recursos hídricos y cambio climático para despertar conciencia y fijar la agenda para la estrategia.

El Consejo Nacional de Investigación de la Academia Nacional de Ciencias (National Research Council of the National Academy of Sciences) (2010a, b, c, d) también ha propuesto estrategias nacionales sobre el clima para los Estados Unidos.

Ha habido cierto grado de progreso entre los políticos canadienses en cuanto a la toma de medidas para tratar los efectos del cambio climático. Hubo avances, por ejemplo, en 2010 en la reunión de premieres de las provincias y territorios del Oeste y Norte de Canadá durante la Conferencia anual de Premieres de Oeste el 15 y 16 de junio. Durante el primer día de la conferencia, los líderes analizaron el significado del cambio climático y su impacto sobre los recursos hídricos, y acordaron una Carta del Agua que convierte en prioridad la protección de este recurso (Crawford, 2010). Sin embargo, Maude Barlow, Presidente Nacional del Consejo de Canadienses (National Chairperson of the Council of Canadians) considera, junto con muchas otras personas, que no se puede confiar en los líderes políticos para llevar a cabo los compromisos fundamentales que son necesarios para la adaptación al cambio climático a menos que exista un amplio movimiento público en dicha dirección. Asimismo, los científicos tienen la responsabilidad de comunicar las implicaciones del cambio climático al público de forma efectiva (CBC Ideas, 2010). Homer-Dixon (2006) considera que se necesitan las catástrofes relacionadas con el cambio climático para estimular a la sociedad a tomar acciones mitigantes significativas para reducir de forma importante la emisión de gases de invernadero y adaptarse a los efectos del cambio climático. De hecho, se podría necesitar de la geoingeniería, que consiste en utilizar tecnologías para retirar el bióxido de carbono y manejar la radiación solar con el fin de alterar intencionalmente el sistema climático a gran escala, para evitar el cambio climático severo (Blackstock and Long, 2010). Homer-Dixon (2009) se ha referido a este dramático proceso de intervención de la geoingeniería como el "Plan Z". Claramente, el cambio climático tendrá impactos adversos en el ciclo hidrológico que se muestra en la Figura 3. El fracaso en la respuesta responsable a los retos del cambio climático tiene implicaciones éticas y morales (Gardiner, 2011). Posiblemente se lleven a cabo estrategias para el cambio climático a nivel municipal (Richardson, 2010) y de cuenca (Sección 3.3), pero también son necesarias las políticas efectivas a nivel provincial, nacional (Sección 3.1) e internacional (Sección 3.2 y 3.5).

6. Recomendaciones para aliviar los problemas hídricos estratégicos de Canadá

Tal como se explica en la Sección 6.1, Canadá está en una coyuntura oportuna para demostrar un liderazgo real con respecto a la búsqueda de innovaciones significativas en la gobernanza del agua. En particular, Canadá puede adoptar

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

el enfoque de pensamiento sistémico descrito en la Sección 6.2 para implementar la variedad de recomendaciones de políticas hídricas propuestas en las Secciones 6.3.1 y 6.3.2 para fomentar la gobernanza del agua dentro de Canadá y en el mundo. Un buen punto de partida es desarrollar una política hídrica nacional integral en cooperación con los 10 gobiernos provinciales y los 3 gobiernos territoriales, mientras simultáneamente se fomentan otras iniciativas hídricas para resolver los problemas urgentes. El momento para comenzar fue ayer.

6.1 La oportunidad para el cambio significativo

Como se pudo ver en la Sección 4, Canadá se enfrenta a un amplio rango de retos hídricos regionales formidables, que van desde Columbia Británica hasta la frontera atlántica en el este, y hacia el Ártico en el norte. Asimismo, como se explica en la Sección 5, existen tipos comunes de problemas abrumadores en muchas regiones de Canadá.

A lo largo de los años, Canadá sin duda ha establecido un récord envidiable en muchas áreas en cuanto a la gestión de los recursos hídricos. Por ejemplo, casi todas las comunidades a lo largo de todo el país tienen acceso a agua potable, aunque las comunidades aborígenes son una notable excepción a este logro. Recientemente el gobierno federal introdujo una regulación que obliga estándares mínimos de tratamiento para cada instalación de aguas residuales en Canadá. Sin embargo, los municipios recibirán de 10 a 30 años para cumplir, aunque éste cuando menos es un paso en la dirección correcta (Weston, 2010). El 30 de noviembre de 2010, la legislatura de Ontario promulgó la Ley de Oportunidades y Conservación del Agua (Water Opportunities and Water Conservation Act) cuyo objetivo es hacer de la provincia un líder en los servicios y tecnología de agua potable, a través de un esfuerzo conjunto de la industria, la academia y el gobierno, así como apoyar a sus ciudadanos en el uso más eficiente del agua y facilitar la planeación hídrica municipal más sustentable. (Business Wire, 2010). En muchas partes del país existe una buena gobernanza del agua a nivel de cuenca. Por ejemplo, según se señala en la Sección 3.9, bajo la Política Hídrica de Quebec adoptada en noviembre de 2002 se establecieron organizaciones de cuenca para 33 importantes cursos de agua, con el fin de promover el desarrollo sustentable por medio de un enfoque integrado de gestión de los recursos hídricos. Como se señala en las Secciones 3.3 y 4.5, Canadá y los Estados Unidos han cooperado en el mejor manejo de los valiosos recursos hídricos de los Grandes Lagos a través del Tratado de Aguas Fronterizas de 1901 y sus ampliaciones. No obstante, queda mucho por hacer para promover la gobernanza del agua tanto en Canadá como internacionalmente, especialmente en los Estados Unidos.

En la actualidad, el mundo está experimentando una variedad de crisis muy interconectadas. En medio de la peor recesión desde la Gran Depresión de los años 30, el cambio climático, la sobrepoblación, el consumo excesivo y otros factores asociados están poniendo una enorme presión sobre la disponibilidad del agua dulce para satisfacer las necesidades humanas de forma sustentable (Brown, 2011). La Figura 3 demuestra cómo la emisión de gases de invernadero puede afectar el ciclo del agua de manera adversa. No obstante, los tiempos difíciles son suelo fértil para el crecimiento de las cosechas del cambio real y significativo. En la siguiente sección se describen los cimientos sólidos sobre los que se puede basar la gobernanza efectiva del agua. En particular, se propone una metodología de pensamiento sistémico en la que se emplea un enfoque integrador y adaptativo dentro de un marco global de sistema de sistemas. Por consiguiente, dentro del mundo de la filosofía de sistema de sistemas, en la Sección 6.3 se formulan recomendaciones específicas para promover la gobernanza del agua a todos los niveles de gobierno dentro de Canadá, así como en el campo internacional.

6.2 Pensamiento sistémico en la gobernanza del agua

El mundo en que vivimos consiste de un sistema de sistemas (SoS-System of Systems) complejo y altamente interconectado. Los ejemplos de SoS en la sociedad incluyen SoS económicos, políticos, agrícolas, industriales, de infraestructura y urbanos. Los modelos de SoS ambientales son hidrológicos (Figura 3), atmosféricos, botánicos, zoológicos, ecológicos y geológicos. De hecho, la mayoría de los problemas urgentes a gran escala que hoy enfrenta la humanidad, tales como la escasez de agua dulce, el calentamiento global, la escasez de energía, la sobrepoblación, la extensa contaminación, la crisis de alimentos y la disparidad económica, se pueden visualizar y entender mejor como problemas sistémicos adaptativos complejos que están estrechamente interconectados y, por ello, se afectan unos a otros de maneras sinergéticas y con frecuencia inesperadas, conocidas como propiedades emergentes (Homer-Dixon, 2006; Hipel y Fang, 2005; Hipel *et al.*, 2008b, 2009). Por ejemplo, el calentamiento global puede provocar cambio climático, lo que puede crear escasez de agua, que a su vez puede afectar negativamente la economía y el bienestar de las personas a través de una menor productividad agrícola e industrial. Asimismo, la gobernanza del agua tanto en Canadá como fuera de ella

CADA UNO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

se debe basar en el paradigma básico del pensamiento SoS para cumplir con los principios sistémicos clave como son la resiliencia, la sustentabilidad y la equidad (Hipel *et al.*, 2008a, b, 2009; Simonovic, 2009, 2011). Desde luego se pueden utilizar ideas apropiadas de la economía, sociología, las humanidades, la ciencia, ingeniería y matemáticas, dentro de este marco global de SoS para servir a la sociedad y conservar el ambiente.

Afortunadamente, los investigadores y profesionales dentro del campo de los recursos hídricos son pioneros en el desarrollo y aplicación del pensamiento sistémico para enfrentar los complejos problemas hídricos. Dos conceptos importantes y relacionados entre sí, que son necesarios para lograr una gobernanza efectiva del agua dentro del marco de SoS, son la gestión integradora y la administración adaptativa. Como se define en "Un Manual para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en las Cuencas" publicado en 2009 por Global Water Partnership (GWP) y la Red Internacional de Organizaciones de Cuenca (INBO-International Network of Basin Organizations, 2009), "*El planteamiento de la gestión integrada de los recursos hídricos ayuda a administrar y desarrollar los recursos hídricos de manera sustentable y equilibrada, tomando en cuenta intereses sociales, económicos y ambientales. Reconoce los grupos de interés distintos y en competencia, los sectores que usan y abusan del agua, y las necesidades del ambiente*". Hay que notar que este enfoque de pensamiento sistémico hacia la gestión del agua reconoce que se deben considerar muchos factores interconectados y que también se deben tomar en cuenta los sistemas de valores de los interesados que compiten entre sí y los requerimientos ambientales. Además, debido a la realidad física de que una cuenca controla el flujo de agua, las prácticas de gestión más importantes se deben implementar a nivel de cuenca (Sección 3.3 y Figura 3) en consonancia con las políticas, leyes y regulaciones a nivel local, regional, provincial o estatal, tanto nacionales como internacionales. Por ejemplo, la International Joint Commission (2009) (Sección 3.2) ha sugerido un planteamiento integrado para la gestión de cuencas que son cruzadas por la frontera Canadá-Estados Unidos. En su Declaración de Managua, IANAS (2009) declaró que todos los países en América del Norte y del Sur "deben mejorar la manera como se gestiona el agua para que se lleve a cabo de forma más integrada y sustentable".

Además de ser integradora, la gobernanza del agua debe ser adaptativa para manejar el comportamiento tan impredecible de los SoS ambientales y sociales producto de su complejidad, incertidumbre y su grado de interconexión intrínsecas. Gracias a esta imprevisibilidad, uno nunca sabe de antemano lo bien que un plan o política en particular va a funcionar a la hora de tratar apropiadamente los eventos esperados o inesperados. Bajo la gestión adaptativa pasiva, se emplean conocimientos nuevos adquiridos por la vigilancia y experiencia, para actualizar iterativamente los modelos o planes con el fin de mejorar los planteamientos de gestión existentes y la toma de decisiones asociada. En la búsqueda de la gestión adaptativa activa, los planes y las estrategias se alteran a propósito para comprobar científicamente las nuevas hipótesis, y así aprender mediante la experimentación a lograr la mejor estrategia de gestión. Asimismo, la gestión adaptativa se conoce popularmente como "aprender haciendo". El concepto de la gestión adaptativa fue originalmente propuesto por Holling (1978) y otros científicos como consecuencia del estudio de las teoría de resiliencia de los sistemas ecológicos, y desde entonces se ha acumulado una gran cantidad de literatura incluyendo las contribuciones de Walters (1986), National Research Council (2004), Noble (2004), Gunderson y Holling (2002), Gunderson y Light (2006), American Water Resources Association (2006, 2009), Williams *et al.* (2007), y Heathcote (2010).

En la práctica, se pueden emplear tanto los planteamientos integradores como los adaptativos a la gobernanza del agua, según lo recomiendan muchas de las organizaciones y grupos de investigación cuyos sitios web se mencionan al final de este reporte. De hecho, las ideas de la gestión adaptativa están contenidas dentro del manual antes mencionado sobre la gestión integradora de los recursos hídricos (GWP y INBO, 2009). Este valioso manual presenta explicaciones detalladas en cuanto a la forma como se puede implementar la gestión integrada de los recursos hídricos, y usa estudios de casos provenientes de todo el mundo para ilustrar cómo se lleva esto a cabo de acuerdo con temas clave tales como el financiamiento, el dinero de los interesados, y los sistemas de información y monitoreo de las cuencas. Como se menciona en la Sección 4.5, se promueve la adopción de la gestión adaptativa dentro del Acuerdo sobre Recursos Hídricos de las Cuenca de los Grandes Lagos-Río San Lorenzo (Great Lakes-St. Lawrence River Basin Water Resources Compact) del 13 de diciembre de 2005. Hipel *et al.* (2008b, 2009) recomiendan que se lleve a cabo la gestión adaptativa integradora dentro de un marco de SoS, junto con el empleo de herramientas formales de toma de decisiones provenientes de la investigación operacional, la ingeniería de sistemas y demás campos de la ciencia de sistemas, así como ideas

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

de las ciencias sociales y las humanidades. Asimismo, cualquier política o acuerdo debe reflejar el sistema de valores de los interesados a los que sirve y contener un mecanismo de resolución de disputas que guíe a los que estén en desacuerdo hacia una dirección positiva para lograr una resolución en la que todos ganen. Mediante conceptos de hidrología, economía, la teoría del juego cooperativo y la ética, se han desarrollado métodos formales para designar agua de manera justa entre los usuarios que compiten entre sí dentro de una cuenca (Wang *et al.*, 2008). Cuando se dispone de los mecanismos de ayuda de las ciencias de sistemas como técnicas de apoyo para tomar decisiones, se permite que los profesionales aborden los problemas complejos del mundo real que surgen en la gobernanza del agua y en otras partes.

6.3 Recomendaciones específicas para mejorar la gobernanza del agua en Canadá y a nivel internacional

La escasez de agua generalmente es causada por la gestión poco efectiva del agua en lugar de la ausencia de su disponibilidad por sí sola. Asimismo, la crisis hídrica mundial reinante está más acorde con una "crisis de gobernanza" que con una "crisis puramente de recursos" (Ng y Felder, 2010; Saleth, 2010). Como se establece en la Declaración de Pugwash sobre el Agua Dulce (Freshwater Declaration of Pugwash) (2008), se requiere de "gobernanza fuerte y progresista" para tener ecosistemas de agua dulce sanos y funcionales. En la siguiente subsección se presentan maneras particulares de cómo Canadá debería "poner su casa en orden" con respecto a la gobernanza del agua y demás asuntos asociados. Posteriormente, se proponen sugerencias específicas en cuanto a la forma como Canadá debe mejorar y expandir los acuerdos internacionales con otros países para que estén en consonancia con los valores y objetivos canadienses en una variedad de temas interconectados incluyendo la gobernanza del agua. Finalmente, a lo largo de los años, numerosos autores y organizaciones han propuesto sugerencias para mejorar la gobernanza del agua en Canadá y en otras partes. Por ejemplo, muchos autores de los artículos mencionados en la sección de referencias, tales como Bruce y Mitchell (1995) y de Loë (2009), así como la mayoría de las organizaciones cuyos sitios web se proporcionan en la Sección 7.1, han propuesto una rica variedad de recomendaciones para las políticas hídricas. Como sería de esperar, muchas de estas sugerencias coinciden con las que se dan a continuación.

6.3.1 Mejoras para la gobernanza del agua en Canadá

Recomendación 1. Filosofía de sistemas: Todos los niveles de gobierno de Canadá deben adoptar un planeamiento adaptativo, integrador y participativo para la gobernanza del agua dentro del marco del paradigma de sistema de sistemas como la base sobre la cual mejorarán y expandirán la gobernanza del agua, incluyendo políticas, leyes, acuerdos, cumplimiento, instituciones y gestión.

Como se hizo ver en la Sección 3.2, la Política Hídrica Federal fue pospuesta en 1987. Para superar los inconvenientes inherentes a esta política así como la realidad de los cambios que se han dado desde 1987, se propone la siguiente recomendación.

Recomendación 2. Política hídrica nacional: Con el asesoramiento de todos los niveles de gobiernos y los interesados clave, Canadá debe desarrollar una política hídrica nacional integral que refleje los valores de los canadienses y esté en consonancia con el poder legislativo a todos los niveles de gobierno y que siga la filosofía de la recomendación 1.

Comentarios: Varias organizaciones canadienses han propuesto esta recomendación, incluyendo Pollution Probe (2007), Pugwash (2008), Gordon Water Group (2008) y Canadian Water Resources Association (CWRA) (de Loë, 2008). Una estrategia hídrica ambiciosa proporcionaría numerosos beneficios a Canadá, tal como mayor efectividad, eficiencia y consistencia en la gestión del agua y las respuestas a las inquietudes hídricas nacionales, y estaría de acorde con el camino tomando por otras jurisdicciones, como Brasil, Australia, Sudáfrica y la Unión Europea (de Loë, 2008). No es necesario que el establecimiento de una política hídrica nacional implique la supervisión de parte de una gran burocracia centralizada, sino que se debe integrar dentro de estructuras ya existentes y aplicarse estratégicamente solo a aquellas áreas en las que Canadá obtendría beneficio de las acciones conjuntas de las diversas jurisdicciones a lo largo del país (de Loë, 2009).

Recomendación 3. Estructuras para la gobernanza: Desarrollar las políticas y demás estructuras de gobernanza asociadas con el fin de compartir el agua de forma justa y efectiva entre los usuarios que compiten por ellas dentro de una cuenca.

Comentarios: La imparcialidad en la gobernanza del agua es de gran importancia en las regiones de Canadá donde se presentan sequías y la escasez de agua relacionada con ellas, como ocurren en las Provincias de las Praderas,

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

como se analiza en la Sección 4.2. Se han desarrollado algunos planteamientos de sistemas para tratar el desconcertante problema de la asignación justa de recursos. En particular Wang *et al.*, (2008) desarrollaron el Modelo de Asignación Cooperativa de Agua (CWAM-Cooperative Water Allocation Model), basado en conceptos de hidrología, economía y las teorías de juego cooperativo, dentro del marco del programa de optimización a gran escala para adjudicar agua de forma equitativa y siguiendo dos pasos principales. Primero, se asigna el agua entre los usuarios de acuerdo con los regímenes o acuerdos legales existentes sobre los derechos de aguas. Segundo, el agua y los beneficios asociados a ella nuevamente se adjudican entre los interesados para maximizar el bienestar a lo largo de la cuenca. El CWAM ha sido aplicado a la cuenca del río Saskatchewan Sur en Alberta para demostrar cómo puede emplearse convenientemente en un problema de sistema de sistemas de asignación de aguas.

Bakker (2007) señala que existe una gran diversidad de planteamientos para la gobernanza del agua en los municipios de todo Canadá, y que otros países han adoptado una combinación de varios modelos. Un factor de importancia clave al elegir una forma de gobernanza del agua es que el público esté bien informado y que se le permita una participación sólida en el proceso (Horbulyk, 2007; Christensen y Lintner, 2007).

La extracción, uso y eliminación de aguas superficiales y subterráneas de parte de las industrias energéticas (en particular las de gas pizarra y arenas bituminosas) no debe dejarse en manos de los reguladores de petróleo y gas, sino que se debe poner bajo la supervisión ambiental apropiada. Los temas relativos a las necesidades mínimas de los caudales afluentes y contaminación han recibido un manejo muy poco adecuado en Canadá debido a la falta de acción tanto de las autoridades provinciales como federales para convertir estos asuntos en prioritarios. Por éste y otros motivos se incluye una estrategia energética para Canadá como la Recomendación 7 más adelante.

Recomendación 4. Eficiencia en el uso del agua: Mejorar y promover la eficiencia en el uso del agua mediante la introducción de nuevas tecnologías industriales, agrícolas y domésticas. El cobro realista de los suministros de agua ayudaría a mejorar la eficiencia.

Recomendación 5. Monitoreo y análisis: Expandir y mejorar los programas de análisis y monitoreo de los recursos hídricos clave (ríos y lagos principales), así como continuar y expandir la aplicación de análisis hidrológicos, hidrogeológicos y geológicos modernos de los sistemas de aguas subterráneas. El desarrollo de bases de datos usando los conceptos y métodos de sistemas de información geográficos modernos mejoraría infinitamente la eficiencia y utilidad de esta labor.

Comentarios: En Canadá debe haber mucha mejor coordinación en el monitoreo y regulación entre las provincias y el gobierno federal. Los mandatos legislativos que se traslapan parcialmente, incluyendo aquéllos para regular el uso del agua, el transporte y deposición de sustancias nocivas y la salud de las pesquerías, no deben ser una barrera al desarrollo de prácticas de gestión compartida y de procedimientos de autorización.

PARA USO RESTRINGIDO

Recomendación 6. Reducción de los gases de invernadero en Canadá: Canadá debe implementar la reducción significativa de gases de invernadero en cooperación con los gobiernos provinciales y territoriales de manera inmediata.

Comentarios: Canadá debe ser imaginativo al armar los programas de reducción de gases invernadero. Por ejemplo, se podría ayudar a Alberta a reducir los gases de invernadero de las arenas bituminosas promoviendo la construcción de nuevos reactores nucleares avanzados de diseño canadiense CANDU (Canadian-Designed Advanced CANDU Nuclear Reactors) para proporcionar energía a la industria de arenas bituminosas. La construcción de los reactores CANDU para satisfacer las demandas del mercado de energía en otras partes de Canadá y más allá de sus fronteras sería una manera muy ingeniosa para que Canadá usara su bien establecida industria nuclear para proteger el ambiente y proporcionar empleos y riqueza para los canadienses (Hipel y Bowman, 2011). De hecho, las fuertes interconexiones entre la energía, el ambiente, el agua, la economía y la sociedad llevan a la siguiente recomendación.

FORO CONSULTIVO

Recomendación 7. Estrategia energética para Canadá: El Gobierno Federal de Canadá debe desarrollar una política energética integral nacional con base en sólidos principios de sistemas y en colaboración con los gobiernos provinciales, territoriales y de las Primeras Naciones, así como los que tienen intereses industriales, agrícolas, ambientales y otros.

Comentarios: Una estrategia energética sólida es una condición necesaria para tener políticas hídricas y ambientales efectivas (Miall, 2011). Gracias a sus enormes recursos energéticos y el bien establecido conocimiento en muchos campos de la energía, Canadá está en una posición particularmente fuerte para ejercer una influencia positiva sobre

la gobernanza del agua y el ambiente, tanto en casa como en el extranjero, a través del desarrollo de una estrategia energética integradora y atrevida. En numerosas ocasiones el Primer Ministro canadiense Stephen Harper ha declarado que Canadá es una "superpotencia energética emergente". Sin embargo, para hacer realidad esta visión, Canadá debe administrar la energía como un sistema integrado, no como el desarrollo aislado de recursos energéticos específicos. Canadá tiene que tener una estrategia energética nacional que abarque todo el espectro de recursos nucleares, combustibles fósiles y recursos renovables. Para poder ser una superpotencia energética sustentable, ninguna de estas "patas" se puede ignorar. Además, la energía eléctrica producida a partir de estos recursos debe estar interconectada a lo largo de toda la nación (Hipel y Bowman, 2011).

Todos los recursos energéticos de Canadá, sin olvidar el gran despliegue adicional de recursos naturales, se deben desarrollar y procesar dentro de Canadá de tal forma que las actividades económicas de "valor agregado" creen riqueza verdadera y empleos significativos para los canadienses. Por ejemplo, como se señaló en la Sección 4.3, el 30% del bitumen no procesado se está transportando fuera de Canadá para su refinamiento y este dato podría subir hasta el 50% para 2019. Este tipo grave de mala administración no debe ser tolerado por los habitantes de Alberta, en particular, ni por los canadienses en general. Se debe llevar a cabo todo el procesamiento del bitumen en las refinerías localizadas dentro de Canadá para su venta en los mercados internos y extranjeros. Un derivado valioso de mantener todos los aspectos de la producción de petróleo dentro del país podría ser el desarrollo de tecnologías ambientales locales para minimizar la contaminación de las aguas superficiales, acuíferos y atmósfera. Además, se necesitarían menos ductos para transportar cantidades relativamente grandes de bitumen no procesado a los Estados Unidos, reduciendo así el riesgo de que los ductos se rompan, como en aquellos incidentes recientemente en Little Buffalo, Alberta (mayo de 2011) (Wingrove, 2011) y en Michigan, Estados Unidos (julio de 2010) (Reuters, 2010).

Afortunadamente, ya se han documentado los mapas de ruta que indican los caminos por los que Canadá podría convertirse en una superpotencia energética y hay investigaciones adicionales en proceso. En particular, como parte del proyecto Energy Pathways de la Academia Canadiense de Ingeniería, los mejores ingenieros de Canadá han evaluado una amplia variedad de escenarios para el país de acuerdo con criterios tecnológicos, ambientales, sociales y económicos (Bowman y Griesback, 2009; Bowman *et al.*, 2009; sitio web de la Academia Canadiense de Ingeniería [Canadian Academy of Engineering] mencionado en la Sección 7). Bajo el Proyecto Trottier de Futuros de la Energía (Trottier Energy Futures Project), y patrocinada por la Fundación de la Familia Trottier, la Academia Canadiense de Ingeniería y la Fundación David Suzuki están investigando de forma conjunta los retos energéticos para Canadá en el siglo XXI en términos del suministro, sustentabilidad ambiental, cambio climático y economía (sitios web de la Canadian Academy of Engineering y el Trottier Energy Futures Project, mencionados en la Sección 7.1). En 2003, la Royal Society of Canada celebró un simposio de un día llamado "Energía, ambiente y sociedad: tomando decisiones" bajo el liderazgo de A. Miall. El progreso logrado en la investigación energética y la implementación de tecnología a lo largo de Canadá ha sido tabulada por la Academia Canadiense de Ingeniería (Bowman y Albion, 2009).

6.3.2 El mejoramiento en las gobernanza del agua a nivel internacional

Recomendación 8. Acuerdos económicos internacionales responsables: Canadá debe negociar un acuerdo económico internacional que dé prioridad al mantenimiento de un medio ambiente sano, el bienestar de la sociedad y los derechos de las personas dentro de una estructura de desarrollo sustentable y adhiriéndose a los principios de sistemas de la recomendación 1 de la Sección 6.3.1.

Comentarios: Este acuerdo integral podría consistir de los acuerdos OMC y TLCAN bajo una revisión radical o de un acuerdo de gran envergadura completamente nuevo (Sección 3.5).

Recomendación 9. Acuerdo sobre la emisión de gases de invernadero: Canadá debe negociar de inmediato un acuerdo significativo sobre los gases de invernadero con todas las naciones del mundo para reducir dramáticamente la emisión de gases de invernadero. Sin embargo, esto se debe lograr dentro del contexto de un acuerdo integrador sobre el control y manejo de la contaminación atmosférica en general y con base en una fuerte filosofía de sistemas (Recomendación 1 y Sección 6.2).

Comentarios: Estas negociaciones podrían constituir una continuación del proceso de Copenhague o un nuevo camino de negociaciones. El tratado resultante ayudaría a mantener la integridad del ciclo hidrológico en la Figura

PARA USO INTERNO DEL FORO CONSULTIVO

3. Los términos del tratado se deben basar sobre sólidos principios de sistemas. Como lo señala Hansen (2009), por ejemplo, una variedad de "determinantes del clima" creados por actividades humanas pueden aumentar la temperatura global, mientras que otros pueden disminuir las temperaturas de la atmósfera. Asimismo, un tratado innovador puede hábilmente manejar estos determinantes causados por empresas industriales, agrícolas o humanas para reducir la temperatura. A corto plazo, por ejemplo, el tratado podría recortar la emisión de hollín negro, metano y ozono cerca del suelo con el fin de aminorar la temperatura para permitir más tiempo para la reducción de las emisiones de dióxido de carbono. Además, la reducción de los contaminantes del aire que provocan la disminución de la temperatura a través de los aerosoles reflexivos y cambios en las nubes de aerosol se podría suspender hasta que los contaminantes del aire que aumentan la temperatura se logren poner bajo control. Por otra parte, debido a que este tratado sobre la contaminación del aire sería integrador y adaptativo, se podrían tomar las medidas adecuadas a lo largo del tiempo según lo dicte la evidencia científica y en respuesta al comportamiento emergente inesperado de la atmósfera y quizás también de los océanos. Es decir, la sociedad es la responsable de iniciar las acciones para manejar las situaciones según vayan sucediendo y reducir los impactos negativos que pudieran surgir. Finalmente, se debe cumplir con el "principio precautorio" (SEHN, 1998) hasta que se disponga de suficientes datos y conocimientos científicos (Sección 4.7 para un análisis del principio precautorio relativo a las exportaciones de agua en masa y la desviación de aguas). Por ejemplo, se debe buscar la reducción de gases invernadero dentro de un tratado hasta que la evidencia científica indique lo contrario. Si por ejemplo, la temperatura comienza una espiral sin control, el tratado debe contener provisiones para el uso responsable de técnicas de geoingeniería (Sección 5.5, así como Homer-Dixon [2009], y Blackstock y Long [2010] y las referencias ahí contenidas).

Recomendación 10. Tratado global de agua: Canadá debe guiar al mundo en la preparación de un tratado integral internacional para el agua dulce siguiendo las ideas sistémicas de la Recomendación 1 de la Sección 6.3.1.

Comentarios: Este tratado se podría realizar en conjunto o en paralelo con las Recomendaciones 8 y 9. Debido a que el agua dulce es un recurso menos interconectado globalmente que la atmósfera, este tratado podría ser aún más difícil de lograr que un acuerdo de emisiones de gases de invernadero.

7. Reconocimientos

Los autores quisieran expresar su agradecimiento a James Bruce, Adèle Hurley y Robert Sandford por la revisión cuidadosa de este artículo y por las constructivas sugerencias que hicieron para mejorarlo. Los autores también agradecen a Conrad W. Hipel por la edición experta de este texto, a Qian Wang por su ayuda en la preparación del documento y de las presentaciones científicas asociadas, y a Yuan (Justin) Liu que ayudó en la preparacion de las figuras. La Royal Society of Canada amablemente cubrió los gastos de viaje de K.W. Hipel cuando participó en las reuniones sobre los Puntos Centrales de los Programas Hídricos Nacionales de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS-Inter American Network of Academies of Science), que se llevaron a cabo en Bogota, Colombia (2005), Santo Domingo, República Dominicana (2008), Managua, Nicaragua (2009), y Buenos Aires, Argentina (2010). En cada una de estas reuniones internacionales, la Academia Nacional de Ciencias amablemente cubrió los gastos de hospedaje y subsistencia.

8. Sitios web

En la mayoría de las universidades de Canadá existen programas importantes de enseñanza e investigación sobre recursos hídricos. Debido a que se deben considerar los aspectos de los sistemas sociales y físicos de los recursos hídricos, la teoría y la práctica del agua son muy interdisciplinarias y se pueden encontrar expertos en agua en casi todas las facultades en las universidades. Por este motivo, los investigadores y profesionales que trabajan en el campo del agua son de las primeras personas fuera del ámbito militar en adoptar y expandir el uso de un planteamiento de pensamiento sistémico (Sección 6.2) para enfrentar los difíciles problemas del agua usando herramientas sistémicas creadas inicialmente en el campo de la investigación operacional e ingeniería de sistemas durante la Segunda Guerra Mundial y después de ella (Hipel *et al.*, 2008a, b). Muy desafortunadamente, a lo largo de las últimas tres décadas en todos los niveles de gobierno se han recortado los recursos dedicados al agua y al medio ambiente dentro de los organismos gubernamentales, aunque se puede encontrar algún material útil en algunos sitios web. A continuación se mencionan los sitios web informativos, creados principalmente en Canadá, en los que se puede encontrar excelente información y los resultados de investigaciones sobre temas relacionados con el agua. Gracias a la enorme

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

cantidad de investigación realizada en Canadá relativa al agua, únicamente se proporciona una lista representativa en la Sección 8 como material de referencia para los temas incluidos en este reporte.

1. 2010 Annual Conference of the McGill Institute for the Study of Canada: "Canadian Water: Towards a New Strategy," http://www.mcgill.ca/water2010/
2. Alberta WaterSMART, http://www.albertawatersmart.com/index.html
3. Canadian Academy of Engineering (CAE), http://www.acad-eng-gen.ca/e/home_.cfm
4. Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), http://www.ccme.ca/
5. Canadian Water Network (CWN), http://www.cwn-rce.ca/
6. Canadian Water Resources Association (CWRA), http://www.cwra.org/
7. Centre for International Governance Innovation (CIGI), http://www.cigionline.org/
8. Conflict Analysis Group, http://www.systems.uwaterloo.ca/Research/CAG/
9. Council of Canadians, http://www.canadians.org/
10. Council of Canadian Academies, http://www.scienceadvice.ca/en.aspx
11. David Suzuki Foundation, http://www.davidsuzuki.org/
12. Environment Canada, http://www.ec.gc.ca/
13. Forum for Leadership on Water (FLOW), http://www.flowcanada.org/
14. Geological Survey of Canada (GSC), http://gsc.nrcan.gc.ca/index_e.php
15. Global Water Partnership (GWP), http://www.gwpforum.org/
16. Gordon Water Group, http://www.gordonwatergroup.ca/
17. International Joint Commission (IJC), http://www.ijc.org/
18. International Network of Basin Organizations (INBO), http://inbonews.org/
19. National Round Table on the Environment and the Economy, http://www.nrtee-trnee.com/
20. Natural Resources Canada (NRCan), http://www.nrcan.gc.ca/com/index-eng.php
21. One Drop Foundation, http://www.onedrop.org/en.aspx
22. Pembina Institute, http://www.pembina.org/
23. Pollution Probe, http://www.pollutionprobe.org/
24. Program on Water Issues (POWI), Munk School of Global Affairs, http://powi.ca/
25. Pugwash, http://www.pugwash.org/
26. RBC Bluewater Project, http://bluewater.rbc.com/
27. Rosenberg International Forum on Water Policy, http://rosenberg.ucanr.org/
28. Royal Society of Canada, http://www.rsc.ca/
29. Trottier Energy Futures Project (Projet Trottier pour l'Avenir Énergétique), http://www.trottierenergyfutures.ca/
30. Walter & Duncan Gordon Foundation, http://www.wdgf.ca/
31. Water Institute, University of Waterloo, http://water.uwaterloo.ca/

9. Referencias

PARA USO RESTRINGIDO

1. 2003 International Year of Freshwater, "`Virtual Water," 2003. Available at http://www.wateryear2003.org/en/ev.php-URL_ID=5868&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html. Accessed on September 26, 2010.
2. Academic dictionaries and encyclopedias, "James Bay Project." Available at http://en.academic.ru/dic.nsf/enwiki/405323. Accessed on October 24, 2010.
3. Alberta Environment, "Specified Gas Reporting Regulation: Alberta Environment Report on 2007 Greenhouse Gas Emission," Edmonton, Alberta, 2008.
4. Alberta Environment. "Towards Environmental sustainability, Proposed Regulatory Framework for Managing Environmental Cumulative Effects." Government of Alberta, 21 pp., 2007.
5. American Water Resources Association (AWRA), "Adaptive Management of Water Resources," Water Resources Impact, Vol. 8, No. 3, May 2006.
6. American Water Resources Association (AWRA), "American Water Resources Association Summer Specialty Conference 2009: Adaptive Management of Water Resources II," proceedings of a meeting held 29 June - 1 July 2009, Snowbird, Utah, Curran Associates, Inc., October 2009.
7. Andersen, S.R., "Effects of waste-water treatment on the species composition and antibiotic-resistance of coliform bacteria. Current Microbiology," Vol. 26, No. 2, pp. 97-103, 1993.
8. Armin, M., "Energy Strategies of the Canadian Province of Ontario," Master's Thesis, University of Waterloo, Waterloo, Canada, 2010.
9. Bakker, K., "Commons or Commodity? The Debate over Private Sector Involvement in Water Supply," in Bakker, K. (Editor), "Eau Canada: The Future of Canada's Water", University of British Columbia Press, Vancouver, British Columbia, Canada, 2007.

FORO CONSULTIVO

10. Barlow, M., "Blue Covenant: The Global Waters Crisis and the Coming Battle for the Right to Water," McClelland and Stewart, Toronto, Ontario, Canada, 2007.
11. Barlow, M., "What You Don't Know About a Deal You Haven't Heard Of," The Globe and Mail, January 6, 2011.
12. Barlow, M. and Clarke, T., "Blue Gold: The Battle Against Corporate Theft of the World's Water," Stoddart, Toronto, Ontario, Canada, 2002.
13. Bell, J. B., Elliott, G. E. and Smith, D. W., "Influence of sewage treatment and urbanization on selection of multiple resistance in fecal coliform populations," Applied and Environmental Microbiology, Vol. 46, No. 1, 227-232, 1983.
14. Bernath Walker, S., Boutilier, T., and Hipel, K.W., "Systems Management Study of a Private Brownfield Renovation", Journal of Urban Planning and Development, published online on August 13, 2010, DOI: 10.1061/(ASCE) 0733-9488 (2010) 136:3 (249), Vol. 136, No. 3, pp. 249-260, 2010.
15. Blackstock, J.J., and Long, J.C.S., "The Politics of Geoengineering," Science, Vol. 327, January 29, 2010.
16. Bowman, C.W. and Albion, K.J., "Report on Canada's Energy Progress: 2007-2009," prepared for the Canadian Academy of Engineering, 2009.
17. Bowman, C.W. and Griesbach, R.C., "Energy Pathways Task Force, Phase 1 - Final Report". Canadian Academy of Engineering, Ottawa, Ontario, Canada, 2009. Available at www.acad-eng-gen.ca. Accessed on October 16, 2010.
18. Bowman, C.W., Marceau, R.J., and Griesbach, R.C., "Report of the Canada Power Grid Task Force", Canadian Academy of Engineering, Ottawa, Ontario, Canada, 2009. Available at www.acad-eng-gen.ca. Accessed on October 16, 2010.
19. Boyd, D.R., "Water: Water Consumption," Canada vs. The OECD: An Environmental Comparison, 2001. Available at http://www.environmentalindicators.com/htdocs/indicators/6wate.htm. Accessed on October 16, 2010.
20. Braun, D., "Boreal Forest Protection Critical to Survival as Climate Changes," National Geographic, November 12, 2009. Available at http://blogs.nationalgeographic.com/blogs/news/chiefeditor/2009/11/boreal-forest-protection.html. Accessed on November 1, 2010.
21. Brown, L.R., "World on the Edge: How to Prevent Environmental and Economic Collapse," Earth Policy Institute, 2011.
22. Brubaker, E., "Weathering the Perfect Storm: Water Survival Strategies for Alberta's Municipalities," Presentation to Mayors and Chief Administrative Officers of Alberta municipalities at an EPCOR-sponsored function held in conjunction with the Alberta Urban Municipalities Association Conference, Environment Probe, November 4, 2009. Available at http://environment.probeinternational.org/publications/water-and-wastewater/weathering-perfect-storm-water-survival-strategies-albertas-munici. Accessed on October 22, 2010.
23. Bruce, J., "Oil and Water – Will They Mix in a Changing Climate? The Athabasca River Story," Government of Canada Policy Research Initiative, 2006. Available at http://policyresearch.gc.ca/doclib/Bruce_OIL-AND-WATER-Oct-23_FINAL.pdf. Accessed on April 15, 2011.
24. Bruce, J., Burton, I., Martin, H., Mills, B., and Mortsch, L., "Water Sector: Vulnerability and Adaptation to Climate Change," Final Report, 2000. Available at www.c-ciarn.mcgill.ca/watersector.pdf. Accessed on October 24, 2010.
25. Bruce, J. and Mitchell, B., "Broadening Perspectives on Water Issues," Canadian Global Change Program Incidental Report Series, No. IR95-1. Canadian Global Change Program and Canadian Water Resources Association, 1995. 38pp., ISSN 1192-6481. Available at http://www.globalcentres.org/cgcp/english/html_documents/publications/water/toc.html. Accessed on April 9, 2011.
26. Burney, D., "Canada – US Electricity Trade: Challenges and Opportunities," mondaq, December 2, 2009. Available at http://www.mondaq.com/canada/article.asp?articleid=89950. Accessed on October 24, 2010.
27. Burton, P.J., Messier, C., Smith, D.W., Adamowicz, W.L. and Editors. "Towards Sustainable Management of the Boreal Forest," National Research Council of Canada Press, Ottawa, Ontario, 1036 pp., 2003.
28. Business Wire, "Strengthening Ontario's Leadership in Protecting Water," PR-inside.com, December 1, 2010. Available at http://www.pr-inside.com/strengthening-ontario-s-leadership-in-r2281845.htm. Accessed on December 2, 2010.
29. Byers, M., "The Devils' Diversion," The Globe and Mail. Toronto, Ontario, January 31, 2005.
30. Chen, Z. and Grasby, S.E., "Impact of Decadal and Century-Scale Oscillations on Hydroclimate Trend Analyses," Journal of Hydrology, Vol. 365, pp. 122-133, 2009.Canadian Association of Petroleum Pro-

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

ducers (CAPP), "Backgrounder: Oil Sands Economic Impacts Across Canada," Calgary, Alberta, 2008a.

31. Canadian Association of Petroleum Producers (CAPP), "Crude Oil: Forecast, Market and Pipeline Expansions," Calgary, Alberta, 2009.
32. Canadian Association of Petroleum Producers (CAPP), "Environmental Challenges and Progress in Canada's Oil Sands," Calgary, Alberta, 2008b.
33. Canadian Association of Petroleum Producers (CAPP), "Oil Sands," 2011. Available at http://www.capp.ca/CANADAINDUSTRY/OILSANDS/Pages/default.aspx#K935U5sGnr9M. Accessed on May 5, 2011.
34. Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). Canada-wide Strategy for the Management of Municipal Wastewater Effluent. Ottawa, Ontario, 18 pp., 2009.
35. Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), "Glaciers," CCME Publications. Available at http://www.ccme.ca/assets/pdf/cc_ind_nature_glaciers_e.pdf. Accessed on August 26, 2010.
36. Canadian Encyclopedia, "James Bay Project," Historica-Dominion Institute, 2010. Available at http://www.thecanadianencyclopedia.com/index.cfm?PgNm=TCE&Params=A1ARTA0004099. Accessed on September 22, 2010.
37. Canadian Geographic, "Climate Prosperity Diagram," Degrees of Change, created by the Royal Canadian Geographical Society and National Roundtable on the Environment and the Economy, 2010a. Available at http://www.canadiangeographic.ca/climate-prosperity/degrees_of_change/CanGeoClimateChange_EN.html. Accessed on October 21, 2010.
38. Canadian Geographic, "James Bay," Just the Facts, 2010b. Available at http://www.canadiangeographic.ca/magazine/nd05/indepth/justthefacts.asp. Accessed on October 24, 2010.
39. Canadian Union of Public Employees, and Council of Canadians, "Public Water for Sale: How Canada will privatize our public water systems," A report to provincial, territorial and municipal governments regarding the Canada-European Union Comprehensive Economic and Trade Agreement, December 2010. Available at http://canadians.org/trade/documents/CETA/water-report-1210.pdf. Accessed on January 8, 2011.
40. Canadian Water Issues Council, "A Model Act for Preserving Canada's Waters," Munk Centre for International Studies, University of Toronto, February 2008. Available at http://www.powi.ca/pdfs/events/20080602-T49781-Briefing_EN.pdf. Accessed on February 5, 2011.
41. Carlson, M., Wells, J., and Roberts, D., "The Carbon the World Forgot," Boreal Songbird Initiative, 2009. Available at http://www.borealbirds.org/resources/carbon/report-full.pdf. Accessed on November 1, 2010.
42. CBC Ideas, "Speaking Truth to Power, Part 2," audio of proceedings of the Fresh Water Summit, held in Bracebridge, Ontario, Canada on June 1-2, 2010, aired June 24-25, 2010. Available at http://www.cbc.ca/ideas/episodes/2010/06/24/speaking-truth-to-power-part-1-2/. Accessed on October 24, 2010.
43. CBC Manitoba, "Manitoba Flood 2011," 2011. Available at http://www.cbc.ca/manitoba/features/flood2011/. Accessed on May 1, 2011.
44. CBC News, "Bottled Water: Quenching a planet's thirst," August 20, 2008. Available at http://www.cbc.ca/news/background/consumers/bottled-water.html. Accessed on October 2, 2010.
45. CBC News, "Devils Lake Reaction Continues on Both Sides of Border", 2005. Available at http://www.cbc.ca/404.html?filename=mb_devilstues20050809. Accessed on August 9, 2005.
46. CBC News, "Prairies Losing Out on Water From Melting Glacier," January 10, 2003. Available at http://www.cbc.ca/health/story/2003/01/10/glacier030110.html. Accessed on October 21, 2010.
47. CBC News, "Sydney Tar Ponds Get $400-million Cleanup," May 13, 2004. Available at http://www.cbc.ca/news/story/2004/05/12/tarponds_20041012.html. Accessed on September 29, 2010.
48. CBC News, "Tar Ponds Timeline," January 29, 2007. Available at http://www.cbc.ca/news/background/tarponds/timeline.html. Accessed on September 29, 2010.
49. Centre for Energy, "Electricity Transmission in Canada," 2010. Available at http://www.centreforenergy.com/AboutEnergy/Electricity/Transmission/Overview.asp?page=6. Accessed on October 24, 2010.
50. Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., and Savenije, H.H.G., "`Saving Water through Global Trade," UNESCO-IHE Institute for Water Education, 2005. Available at http://doc.utwente.nl/58373/1/Report17.pdf. Accessed on October 2, 2010.
51. Christensen, R. and Lintner, A.M., "Trading Our Common Heritage? The Debate over Water Rights Transfers in Canada," in Bakker, K. (Editor), "Eau Canada: The Future of Canada's Water", University of British Columbia Press, Vancouver, British Columbia, Canada, 2007.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

52. Conservation Ontario, "The Clean Water Act," 2009. Available at http://conservation-ontario.on.ca/source_protection/Clean_Water_Actindex.htm. Accessed on January 7, 2011.
53. Council of Canadians, "Five reasons to ban bottled water," October 28, 2008. Available at http://www.canadians.org/water/issues/Unbottle_It/factsheet.html. Accessed on September 29, 2010.
54. Council of Canadian Academies (CCA), "The Sustainable Management of Groundwater in Canada," Ottawa, 337 pp., 2009.
55. Crawford, T., "Western Leaders Draw Water Charter to Protect this Resource," Vancouver Sun, June 16, 2010. Available at http://www.vancouversun.com/business/Western%20leaders%20draw%20water%20charter%20protect%20resource/3159224/story.html#ixzz0rGNp08u0. Accessed on October 24, 2010.
56. Cross, A., "Researchers alarmed at bacteria in Canadian bottled water," Canwest News Service, in The Vancouver Sun, May 28, 2010. Available at http://www.vancouversun.com/health/Researchers+alarmed+bacteria+Canadian+bottled+water/3072771/story.html. Accessed on September 27, 2010.
57. CTV News, "Some tap water safer than bottled water: report," October 6, 2006. Available at http://www.ctv.ca/CTVNews/TopStories/20061005/bottled_water_061005/. Accessed on September 27, 2010.
58. de Loë, R.C., "A Canadian Vision and Strategy for Water in the 21st Century," Policy Options, Vol. 30, No. 7, July-August 2009.
59. de Loë, R.C., "Toward a Canadian National Water Strategy," Final Report, Prepared for the Canadian Water Resources Association, Rob de Loë Consulting Services, Guelph, Ontario, 2008. Available at http://www.cwra.org/resource/assets/CNWS_Report_Final_2008_06_18.pdf. Accessed on November 8, 2010.
60. de Loë, R.C., "Transboundary Water Governance in the Mackenzie River Basin, Canada," Prepared for the 7th Biennial Rosenberg International Forum on Water Policy, Buenos Aires, Republic of Argentina, November 15-17, 2010.
61. De Sousa, C., "Contaminated sites: The Canadian situation in an international context", Journal of Environmental Management, 62, 131–154, 2001.
62. De Villiers, M., "Water," second edition, McClelland And Stewart, Toronto, 453 pp., 2003.
63. Dellapenna, J.W., "The Case Against Markets," In U. Shamir (Editor), Negotiation Over Water, Proceedings of the Haifa Workshop, 1997, IHP–V, Technical Documents in Hydrology. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Paris, 53, pp. 34-48, 2001.
64. Division of Ocean Affairs, Law of the Sea: Official text of the United Nations Convention on the Law of the Sea of 10 December 1982 and of the agreement relating to the implementation of Part XI. United Nations Press, New York, 1997.
65. Dowdeswell, L., Dillon, P., Ghoshal, S., Miall, A., Rasmussen, J., and Smol, J.P., "A Foundation for the Future: Building an Environmental Monitoring System for the Oil Sands," A report submitted to the Minister of Environment, Environment Canada, December 2010. Available at http://ec.gc.ca/pollution/default.asp?lang=En&n=E9ABC93B-1. Accessed on December 27, 2010.
66. Dyer, G., "Climate Wars," Random House Canada, 2008.
67. Eagleson, P.S., "Dynamic Hydrology," McGraw-Hill, New York, 1970.
68. Edmonton Journal, "Harper to Limit Bitumen Exports," September 27, 2008. Available at http://www.canada.com/edmontonjournal/news/story.html?id=89c1f48e-853f-403a-a117-6b33b111f360. Accessed on July 15, 2010.
69. Eggertson, L., "Investigative report: 1766 boil-water advisories now in place across Canada," Canadian Medical Association, 2008. Available at http://www.cmaj.ca/cgi/content/full/178/10/1261. Accessed on January 23, 2011.
70. Energy Resources Conservation Board (ERCB), "Alberta's Energy Reserves 2008 and Supply/Demand Outlook 2009-2018," Calgary, Alberta, June 2009. Available at http://www.ercb.ca/docs/products/STs/st98-2009.pdf. Accessed on November 2, 2010.
71. Environment Canada, "Hydrometric Data," 2010. Available at http://www.wsc.ec.gc.ca/applications/H2O/index-eng.cfm. Accessed on May 4, 2011.
72. Environment Canada, "Shared Waters: Canada - United States," 2011. Available at http://www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=en&n=B947BAA8-1#Canada. Accessed on February 15, 2011.
73. Environment Canada, "Threats to water availability in Canada," National Water Research Institute, Burlington, Ontario, Canada, NWRI Scientific Assessment Report Series, No. 3, and ACSE Science Assessment Series, No. 1, p. 128, 2004.
74. Environment Canada, "Water – The Great Lakes," 2009. Available at http://www.ec.gc.ca/eau-water/

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

default.asp?lang=En&n=678C2760-1#a5. Accessed on April 15, 2011.

75. Environment News Service, "Scientists Urge Conservation of Canada's Precious Northern Forest," May 16, 2007. Available at http://www.ens-newswire.com/ens/may2007/2007-05-16-03.html. Accessed on November 1, 2010.
76. Eyles, N. and Miall, A., "Canada Rocks: The Geological Journey," Fitzhenry and Whiteside, Markham, Ontario, 2007.
77. Fang, L., Hipel, K.W., and Kilgour, D.M., "Interactive Decision Making: The Graph Model for Conflict Resolution", Wiley, New York, 221 pp., 1993.
78. Finch, G. R. and Smith, D. W., "The survival of antibiotic-resistant escherichia coli in an activated sludge plant," Environmental Technology Letters, Vol. 7, pp. 487-494, 1986.
79. Fisheries and Oceans Canada, "Fluctuations in Lake Levels – Types," The Canadian Hydrographic Service Central and Arctic Region, 2007. Available at http://www.lau.chs-shc.gc.ca/C&A/fluctuations_e.html#TC11. Accessed on April 15, 2011.
80. Gallangher, P. and Wood, L. (Editors), "Water and the Future of Life on Earth," Proceedings from the workshop and think tank held May 22-24, 2002, published by Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, Canada, 2003.
81. Gardiner, S.M., "A Perfect Moral Storm: The Ethical Tragedy of Climate Change," Oxford University Press, New York, 2011.
82. Garrison Diversion Unit Commission, "Final Report," Secretary of the Interior, Washington, DC, December 20, 1984.
83. Gleick, P.H., "Water and Conflict: Fresh Water Resources and International Security," International Security, Vol. 18, No. 1, pp. 79-112, 1993.
84. Global Water Partnership (GWP) and International Network of Basin Organization (INBO), "A Handbook for Integrated Water Resources Management in Basins," published by GWP and INBO, 2009. Available at www.gwpforum.org and www.inbo-news.org. Accessed on October 15, 2010.
85. Gordon Water Group, "Changing the Flow: A Blueprint for Federal Action on Freshwater," 2008. Available at http://www.flowcanada.org/sites/default/files/ChangingtheFlow.pdf. Accessed on January 22, 2011.
86. Government of Alberta, "Responsible Actions: A Plan for Alberta's Oil Sands," Treasury Board, 2009. Available at http://treasuryboard.alberta.ca/docs/GOA_ResponsibleActions_web.pdf. Accessed on May 11, 2011.
87. Government of Canada, "Canada-U.S. Energy Relations," 2009. Available at http://www.canadainternational.gc.ca/washington/bilat_can/energy-energie.aspx?lang=eng. Accessed on October 17, 2010.
88. Government of Quebec, "Quebec Water Policy," 2002. Available at http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/politique/index-en.htm. Accessed on October 16, 2010.
89. Grand River Conservation Authority (GRCA), "REPORT NO. GM-05-10-25," May 28, 2010. Available at http://www.grandriver.ca/governance/GM051025.pdf. Accessed on May 4, 2011.
90. Grand River Conservation Authority (GRCA), "The Grand River Watershed," 2011. Available at http://www.grandriver.ca/index/document.cfm?Sec=12&Sub1=55&Sub2 =24. Accessed on August 3, 2011.
91. Grant, J., Dyer, S., and Woynillowicz, D. "Fact or Fiction: Oil Sands Reclamation," Pembina Institute, Drayton Valley, Alberta, 2008.
92. Grasby, S.E., "Impact on Water Resources, Drought in the West?," Gussow/Nuna Conference: The Geoscience of Climate and Energy, Canadian Society of Petroleum Geologists and Geological Association of Canada, Banff, Alberta, October 2008. Available at http://www.cspg.org/conventions/abstracts/2008Gussow/013.pdf. Accessed on October 18, 2010.
93. Grasby, S.E., Chen, Z., Hamblin, A.P., Wozniak, P.R.J., and Sweet, A.R., "Regional Characterization of the Paskapoo Bedrock Aquifer System, Southern Alberta," Canadian Journal of Earth Sciences, Vol. 45, No. 12, pp. 1501-1516, 2008.
94. Great Lakes – St. Lawrence River Sustainable Water Resources Agreement, December 13, 2005. Available at http://www.cglg.org/projects/water/docs/12-13-05/Great_Lakes-St_Lawrence_River_Basin_Sustainable_Water_Resources_Agreement.pdf. Accessed on October 18, 2010.
95. Grescoe, T., "After the deluge: Water powered the Saguenay region's economy, then almost destroyed it", Canadian Geographic and L'Actualité, 1997. Available at http://www.canadiangeographic.ca/magazine/ma97/feature_saguenay_floods.asp. Accessed on October 17, 2010.
96. Gunderson, L.H. and Holling, C.S. (Editors), "Understanding Transformations in Human and Natural Systems," Island Press, Washington, 2002.

USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

97. Gunderson, L.H. and Light, S.S., "Adaptive Management and Adaptive Governance in the Everglades," Policy Sciences, Vol. 39, No. 4, pp. 323-334, 2006.
98. Hansen, J., "Storms of my Grandchildren," Bloomsbury, New York, 2009.
99. Health Canada, "Frequently Asked Questions about Bottled Water," Food and Nutrition, 2009. Available at http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/securit/facts-faits/faqs_bottle_water-eau_embouteillee-eng.php#a2. Accessed on September 27, 2010.
100. Heathcote, I.W., "Critical Challenges in Integrated Water Management," Journal of Policy Engagement, Vol. 2, No. 6, December 2010.
101. Hipel, K.W. and Bowman, C.W., "Is our energy superpower vision slipping away?", Toronto Star (thestar.com), March 16, 2011. Available at http://www.thestar.com/opinion/editorialopinion/article/955245--is-our-energy-superpower-vision-slipping-away. Accessed on May 13, 2011.
102. Hipel, K.W. and Fang, L., "Multiple Participant Decision Making in Societal and Technological Systems", in Arai, T., Yamamoto, S. and Makino, K. (Editors), Systems and Human Science – For Safety, Security, and Dependability: Selected Papers of the 1st International Symposium, SSR2003, Osaka, Japan, published by Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, Chapter 1, pp. 3-31, 2005.
103. Hipel, K.W., Fang, L., and Kilgour, D.M., "Decision Support Systems in Water Resources and Environmental Management", Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 13, No. 9, pp. 761-770, 2008a.
104. Hipel, K.W. and Fraser, N.M., "Metagame Analysis of the Garrison Conflict," Water Resources Research, Vol. 17, No. 4, pp. 627-637, 1980.
105. Hipel, K.W., Hegazy, T., and Yousefi, S., "Combined Strategic and Tactical Negotiation Methodology for Resolving Complex Brownfield Conflicts", Pesquisa Operacional, special issue on Soft OR and Complex Societal Problems, Vol. 30, No. 2, pp. 281-304, 2010.
106. Hipel, K.W., Kilgour, D.M., and Zhao, N.Z., "Risk Analysis of the Walkerton Drinking Water Crisis", Canadian Water Resources Journal, Vol. 28, No. 3, pp. 395-419, 2003.
107. Hipel, K.W. and McLeod, A.I., "Time Series Modelling of Water Resources and Environmental Systems," Elsevier, Amsterdam, 1994.
108. Hipel, K.W. and Obeidi, A., "Trade versus the Environment: Strategic Settlement from a Systems Engineering Perspective", Systems Engineering, Vol. 8, No. 3, pp. 211-233, 2005.
109. Hipel, K.W., Obeidi, A., Fang, L., and Kilgour, D.M., "Adaptive Systems Thinking in Integrated Water Resources management with Insights into Conflicts over Water Exports," INFOR, Vol. 46, No. 1, pp. 51-69, 2008b.
110. Hipel, K.W., Obeidi, A., Fang, L., and Kilgour, D.M., "Sustainable Environmental Management from a System of Systems Perspective", In System of Systems Engineering: Innovations for the 21st Century, edited by M. Jamshidi, Wiley, New York, Chapter 18, pp. 443-481, 2009.
111. Holling, C.S. (Editor), "Adaptive Environmental Assessment and Management," Chichester: Wiley, 1978.
112. Homer-Dixon, T.F., "Plan Z: Global Responses to a Climate Emergency," speech given at workshop held at the Briarhurst Institute in Fergus, Ontario, under the sponsorship of the Centre for International Governance Innovation, on September 17th and 18th, 2009.
113. Homer-Dixon, T.F., "The Upside of Down: Catastrophe, Creativity and the Renewal of Civilization," Washington, Island Press, 2006.
114. Horbulyk, T.M., "Liquid Gold? Water Markets in Canada," in Bakker, K. (Editor), "Eau Canada: The Future of Canada's Water", University of British Columbia Press, Vancouver, British Columbia, Canada, 2007.
115. Hrudey, S.E., Gosselin, P., Naeth, M.A., Plourde, A., Therrien, R., Van Der Kraak, G., and Xu, Z., "Environmental and Health Impacts of Canada's Oil Sands Industry," Royal Society of Canada Expert Panel Report, 2010, 414p. Available at http://www.rsc.ca/documents/expert/RSC%20report%20complete%20secured%209Mb.pdf. Accessed on December 17, 2010.
116. Humphries, M., "North American Oil Sands: History of Development, Prospects for the Future," Congressional Research Service, Washington, D.C., 2008.
117. Hydro-Québec, "Hydro-Québec's Electricity Facts: Energy Supplies and Air Emissions," 2009. Available at http://www.hydroquebec.com/sustainable-development/documentation/pdf/etiquette_achats_en.pdf. Accessed on October 24, 2010.
118. Hydro-Québec, "James Bay Project," 2010. Available at http://www.hydroquebec.com/sustainable-development/documentation/pdf/autres/pop_06_02.pdf. Accessed on October 15, 2010.
119. Interamerican Academies of Science (IANAS), "Managua Declaration," jointly written at the Fourth Meeting of the Focal Points of the IANAS Water Programme which was held at the Auditorio Carlos

USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Martinez Rivas, Universidad National Autonoma de Nicaragua (UNAN) in Managua, on May 30-31, 2009.

120. International Energy Agency, "Electricity," 2008. Available at http://www.eia.doe.gov/cabs/Canada/Electricity.html. Accessed on October 15, 2010.
121. International Joint Commission (IJC), "Impacts on Upper Great Lakes Water Levels: St. Clair River," Final Report to the International Joint Commission, December 2009a. Available at http://pub.iugls.org/en/Other_Publications/IUGLS_Final_Report.pdf. Accessed on October 19, 2010.
122. International Joint Commission (IJC), "Protection of the Waters of the Great Lakes", Final Report to the Governments of Canada and the United States, February 27, 2000. Available at http://www.ijc.org/php/publications/html/finalreport.html. Accessed on October 15, 2010.
123. International Joint Commission (IJC), "Rules of Procedure and Text of Treaty," Ottawa, Canada – Washington, D.C., 1965.
124. International Joint Commission (IJC), "The International Watersheds Initiative: Implementing a New Paradigm for Transboundary Basins," Ottawa, Canada – Washington, D.C., 2009b. Available at http://www.ijc.org/php/publications/pdf/ID1627.pdf. Accessed on October 15, 2010.
125. International Joint Commission (IJC), "Transboundary Implications of the Garrison Diversion Unit," Report to the Governments of Canada and the United States, Ottawa, Canada – Washington, D.C., 1977.
126. International Upper Great Lakes Study, "Impacts on Upper Great Lakes Water Levels: St. Claire River," Final Report to the International Joint Commission, December 2009. Available at http://pub.iugls.org/en/Other_Publications/IUGLS_Final_Report.pdf. Accessed on April 17, 2011.
127. Jain, S.K. and Singh, V.P., "Water Resources Systems Planning and Management", Elsevier, New York, 2003.
128. Johnson, B., "Potential Impact of Selected Agricultural Chemical Contaminants on a Northern Prairie Wetland: A Microcosm Evaluation," Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 5, No. 5, pp. 473-485, 1986. Abstract available at http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/etc.5620050507/abstract. Accessed on October 29, 2010.
129. Kart, J., "Adaptive Management Means Managing to Learn," International Upper Great Lakes Study, 2010. Available at http://www.iugls.org/adaptive-management-story.aspx. Accessed on January 20, 2011.
130. Kelly, E., Schindler, D., Hodson, P., Short, J., Radmanovich, R., and Nielsen, C., "Oil Sands Development Contributes Elements Toxic at Low Concentrations to the Athabasca River and Its Tributaries," Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2010. Available at http://www.pnas.org/content/107/37/16178. Accessed on October 1, 2010.
131. Kelly, E., Short, J., Schindler, D., Hodson, P., Ma, M., Kwan, A., and Fortin, B., "Oil Sands Development Contributes Polycyclic Aromatic Compounds to the Athabasca River and Its Tributaries," Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009. Available at http://www.pnas.org/content/106/52/22346. Accessed on October 1, 2010.
132. Kerr, J.L., Guo, Z., Smith, D.W., Goss, G.G. and Belosevic, M., "Use of goldfish (Carassius auratus L.) for assessment of xenobiotic presence in wastewater and reuse water," Journal of Environmental Engineering and Science, Vol. 7, No. 4, 2008.
133. Kim, Y.-J., Hipel, K.W., and Bowman, C.W., "Water Problems in Canada's Oil Sands," unpublished manuscript, Department of Systems Design Engineering, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 2011.
134. Lapp, S., Byrne, J., Townshend, I., and Kienzle, S., "Climate Warming Impacts on Snowpack Accumulation in an Alpine Watershed," International Journal of Climatology, Vol. 25, pp. 521-536, 2005.
135. Lem, S., "Canada: Too Many Plastic Bottles, Too Little Landfill," The Toronto Sun, in Inside the Bottle, May 26, 2008. Available at http://www.insidethebottle.org/canada-too-many-plastic-bottles-too-little-landfill. Accessed on October 4, 2010.
136. Lenton, R. and Muller, M. (Editors), "Integrated Water Resources Management in Practice: Better Water Management for Development," Earthscan, London, United Kingdom, 2009.
137. Leung, L.R. and Ghan, S.J., "Pacific Northwest Climate Sensitivity Simulated by a Regional Climate Model Driven by a GCM. Part II: 2×CO_2 Simulations," Journal of Climate, Vol. 12, pp. 2031-2053, 1999.
138. Levels Reference Study Board, "Levels Reference Study, Great Lakes-St. Lawrence River Basin," submitted to the International Joint Commission, 1993.
139. Loucks, D.P., "Water Resources Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models, and Applications," Division of Water Sciences, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Paris, 2004.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

140. Lupick, T., "B.C. Glaciers Steadily Disappearing," straight.com, Vancouver, British Columbia, Canada, October 2, 2008. Available at http://www.straight.com/article-164354/bc-glaciers-steadily-disappearing. Accessed on October 21, 2010.
141. Ma, J., Hipel, K.W., and De, M., "Devils Lake Emergency Outlet Diversion Conflict", Journal of Environmental Management, Vol. 92, No. 2, pp. 437-447, 2011.
142. Ma, J., Hipel, K.W., De, M., and Cai, J., "Transboundary Water Policies: Assessment, Comparison and Enhancement", Water Resources Management, Vol. 22, pp. 1069-1087, 2008.
143. Ma, K., "Chapter 3: Searching the Waters-The Water Crisis," End to End – The State of the Sturgeon River and the Alberta Water Crisis, Master's Research Project, Carleton University, May 16, 2006. Available at http://www.bless.ab.ca/Documents/EndToEnd/MaMRPChap3v3.pdf. Accessed on August 25, 2010.
144. Maas, A., Hufschmidt, M.M., Dorfman, R., Thomas Jr., H.A., Marglin, S.A., and Fair, M.G., "Design of Water-Resource Systems", Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1962.
145. Manitoba Water Stewardship, "Regional map - drainage basins and Garrison features," Potential Transboundary Water Projects. Available at http://www.gov.mb.ca/waterstewardship/water_info/transboundary/potential.html. Accessed on October 15, 2010.
146. Marsden, W., "Stupid to the Last Drop: How Alberta is Bringing Environmental Armageddon to Canada (and Doesn't Seem to Care)", Vintage Canada, Toronto, Ontario, 2008.
147. McCarthy, S., "Heat is on Arctic as Temperatures on Rise, Sea Ice Melts," The Globe and Mail, December 3, 2010.
148. McKenzie-Brown, P., "New Computer Modeling System Allows Exploration of Canada's Potential Energy Future," Oilsands Review. August 2008, pp. 24-26, 2009.
149. McMurty, J., "Value Wars," Pluto Press, London, United Kingdom, 2002.
150. Miall, A., "Forget gimmicks – think energy," The Globe and Mail, April 22, 2011.
151. Miltenberger, J.M., "Northern Voices, Northern Waters: Traditional Knowledge and Water Policy Development in the Northwest Territories," A Discussion Paper prepared for the Rosenberg International Forum on Water Policy, 2010.
152. Montreal Gazette, "Churchill Falls deal probed," CanWest MediaWorks Publications Inc., December 20, 2005, in Canada.com. Available at http://www.canada.com/montrealgazette/story.html?id=17f52755-7ede-45a5-8b2f-6a8b7d004957. Accessed on September 25, 2010.
153. Mourougane, A., "Achieving Sustainability of the Energy Sector in Canada," Economic Department Working Paper No. 618, Organization for Economic Co-operation and Development, Paris, France, June 2008.
154. Nalcor Energy, "Churchill Falls," 2010a. Available at http://www.nalcorenergy.com/churchill-falls.asp. Accessed on October 24, 2010.
155. Nalcor Energy, "`Requests for Proposals Issued for the Lower Churchill Falls Project," July 9, 2010b. Available at http://www.nalcorenergy.com/assets/final%20lcp%20rfp%20news%20release%20-%20july%209%202010.pdf. Accessed on October 24, 2010.
156. National Energy Board (NEB), "Canada's Oil Sands: Opportunities and Challenges to 2015," An Energy Market Assessment, Calgary, Alberta, 2004.
157. National Research Council, "Adapting to the Impacts of Climate Change," National Academy of Sciences, Panel on Adapting to the Impacts of Climate Change, 2010a.
158. National Research Council, "Adaptive Management for Water Resources Project Planning," National Academies Press, Washington, D.C., 2004.
159. National Research Council, "Advancing the Science of Climate Change," National Academy of Sciences, Panel on Advancing the Science of Climate Change, 2010b.
160. National Research Council, "Informing an Effective Response to Climate Change," National Academy of Sciences, Panel on Informing an Effective Response to Climate Change, 2010c.
161. National Research Council, "Limiting the Magnitude of Climate Change," National Academy of Sciences, Panel on Limiting the Magnitude of Climate Change, 2010d.
162. Natural Resources Canada (NRCan), "Forest regions classification," Classification, 2007, Available at http://ecosys.cfl.scf.rncan.gc.ca/classification/intro-region-eng.asp. Accessed on August 9, 2011.
163. Natural Resources Canada (NRCan), "Freshwater: The Role and Contribution of Natural Resources Canada," Sustainable Development, 2010. Available at http://www.nrcan-rncan.gc.ca/sd-dd/pubs/h20/issque-1-eng.php?PHPSESSID=95df6485cd782f2c0f188dea209072ca#ess1c. Accessed on October 26, 2010.

USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

164. Natural Resources Canada (NRCan), "Glaciers and Icefields," The Atlas of Canada, 2009. Available at http://atlas.nrcan.gc.ca/auth/english/maps/freshwater/distribution/glaciers/1. Accessed on October 25, 2010.
165. Natural Resources Canada (NRCan), "Great Lakes Basin," Provincial and Territorial , 2003. Available at http://atlas.nrcan.gc.ca/auth/english/maps/reference /provincesterritories/gr_lks/referencemap_image_view. Accessed on April 16, 2004.
166. Natural Resources Canada (NRCan), "Impacts on Water Supply," Climate Change Impacts and Adaptation: A Canadian Perspective, 2007. Available at http://adaptation.nrcan.gc.ca/perspective/water_3_e.php. Accessed on October 25, 2010.
167. Natural Resources Canada (NRCan), "Map of Canada," 2002, in Water Resources in Canada: A Strategic View, Hipel, K., Miall, A., Smith, D., Inter American National Academies of Science (IANAS) Meeting, Managua, Nicaragua, May 30 - 31, 2009.
168. Natural Resources Canada (NRCan), "Map of Prairie Provinces", 2003. Available at http://atlas.nrcan.gc.ca/auth/english/maps/reference/provincesterritories/prairie_provinces/referencemap_image_view. Accessed on October 15, 2010.
169. Natural Resources Canada (NRCan), "Map of the Río Rojo and the central portion of the Río Rojo Valley, Manitoba, depicting the limits of the 1997 flood and places and features mentioned in the text," Geoscientific Insights into the Río Rojo and Its Flood Problem in Manitoba Geological Controls on Río Rojo Flooding, 2008. Available at http://gsc.nrcan.gc.ca/floods/redriver/geological_e.php. Accessed on August 22, 2010.
170. Natural Resources Canada (NRCan), "Melting Glaciers", The Winds of Change: Climate Change in Prairie Provinces, 2001. Available at http://adaptation.nrcan.gc.ca/posters/pr/pr_04_e.php. Accessed on October 21, 2010.
171. National Round Table on the Environment and the Economy (NRTEE), "Cleaning up the Past, Building the Future: A National Brownfield Redevelopment Strategy for Canada", ISBN 1-894737-05-9, Ottawa, Canada, 2003.
172. Neumann, N. F., Smith, D. W. and Belosevic, M., "Waterborne disease: An old foe re-emerging?", Journal of Environmental Engineering and Science, Vol. 4, No. 3, p. 155, 2005.
173. Ng, G. and Felder, M., "Water and the Future of the Canadian Economy," The Innovolve Group, 2010. Available at http://bluewater.rbc.com/news/CDN_Water_Report_PDF_English.pdf. Accessed on February 2, 2011.
174. Nikiforuk, A., "On the Table: Water, Energy and North American Integration," prepared on behalf of the Program on Water Issues, Munk Centre for International Studies, University of Toronto, October 16, 2007. Available at http://www.powi.ca/pdfs/waterdiversion/waterdiversion_onthetable_new.pdf. Accessed on February 7, 2011.
175. Nikiforuk, A., "Tar Sands: Dirty Oil and the Future of a Continent," Greystone Books, Vancouver, British Columbia, 2008.
176. Noble, B.F., "Applying Adaptive Environmental Management," pp. 442–466 in B. Mitchell, editor, Resource and Environmental Management in Canada, Oxford University Press, Don Mills, Ontario, Canada, 2004.
177. Noone, M.S., "The Dilemma of Devils Lake Part 1." The Western Planner, Casper, Wyoming, Vol. 25, No. 4, 2004.
178. Noone, M.S., "The Dilemma of Devils Lake Part 2." The Western Planner, Casper, Wyoming, Vol. 26, No. 2, 2005.
179. North Dakota State Government, "Devils Lake (Peterson Coulee) Outlet Request for Proposal", 2001. Available at http://www.gov.mb.ca/waterstewardship/transboundary/devilslake/rfp.html. Accessed on March 8, 2005.
180. North Dakota State Water Commission, "Devils Lake Flood Facts", 2010. Available at http://www.swc.state.nd.us/4DLink9/4dcgi/GetContentPDF/PB-206/DL_Quick_Facts.pdf. Accessed on July 20, 2010.
181. Obeidi, A., and Hipel, K.W., "Strategic and Dilemma Analyses of a Water Export Conflict", INFOR, Vol. 43, No. 3, pp. 247-270, 2005.
182. Obeidi, A., Hipel, K.W., and Kilgour, D.M., "Canadian Bulk Water Exports: Analyzing the Sun Belt Conflict using the Graph Model for Conflict Resolution", Knowledge, Technology, and Policy, Vol. 14, No. 4, pp. 145-163, 2002.
183. Ontario Ministry of the Environment, "Survey of the Occurrence of Pharmaceuticals and Other Emerging Contaminants in Untreated Source and Finished Drinking Water in Ontario Ministry of the Environment," PIBS 7269e, 2006. Available at PIBS 7269e http://www.ene.gov.on.ca/publications /7269e.pdf. Accessed on October 29, 2010.
184. Owen, B., and Rabson, M., "Devils Lake health threat rising daily", Winnipeg Free Press, 2010. Available

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

at http://www.winnipegfreepress.com/local/devils-lake-health-threat-rising-daily-97370884.html. Accessed on July 20, 2010.

185. Pacific Institute, "Bottled Water and Energy: A Fact Sheet," 2006. Available at http://www.pacinst.org/topics/water_and_sustainability/bottled_water/bottled_water_and_energy.html. Accessed on September 20, 2010.

186. Parks Canada, "Reservoirs of the Rockies," Time for Nature, August 18, 2003. Available at http://www.pc.gc.ca/canada/pn-tfn/itm2-/2003/au/index_e.asp. Accessed on October 21, 2010.

187. Parrott, J. and Blunt, B., "Life-cycle exposure of fathead minnows (Pimephales promelas) to an ethinylestradiol concentration below 1 ng/L reduces egg fertilization success and demasculinizes males," Environmental Toxicology, Vol. 20, No. 2, pp. 131-141, 2005. Abstract available at http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/tox.20087/abstract?systemMessage=Due+to+scheduled+maintenance+access+to+the+Wiley+Online+Library+may+be+disrupted+as+follows%3A+Saturday%2C+30+October+-+New+York+0500+EDT+to+0700+EDT%3B+London+1000+BST+to+1200+BST%3B+Singapore+1700+SGT+to+1900+SGT. Accessed on October 29, 2010.

188. Parsons, L., "Ontario Inquiry Finds Tory Government Responsible for Walkerton Deaths," World Socialist Web Site, August 3, 2002. Available at http://www.wsws.org/articles/2002/aug2002/walk-a03.shtml. Accessed on October 28, 2010.

189. Pearse, P.H., "Water Management in Canada: The Continuing Search for the Federal Role," Keynote Address at the 51st Annual Conference of the Canadian Water Resources Association, Victoria, BC, pp. 10-12, 1998.

190. Petroleum Technology Alliance Canada (PTAC), "Water Use in Alberta Oil Sands," May 29, 2007. Available at http://www.albertacanada.com/documents/AIS-ENVIRO_oilsands07.pdf. Accessed on September 2, 2010.

191. Petroleum World, cited in National Energy Board, "Canada's Oil Sands: Opportunities and Challenges to 2015," An Energy Market Assessment, May 2004, p. 109.

192. Polaris Institute, "University of Winnipeg Bans Bottled Water!", March 23, 2009. Available at http://www.polarisinstitute.org/university_of_winnipeg_bans_bottled_water. Accessed on September 26, 2010.

193. Pollution Probe, "Towards a Vision and Strategy for Water Management in Canada," 2008. Available at http://www.pollutionprobe.org/Reports/WPWS%20Final%20Report%202007.pdf. Accessed on January 22, 2011.

194. Prebble, P., Coxworth, A., Simieritsch, T., Dyer, S. Huot, M., and Walsh, H., "Carbon Copy: Preventing Oil Sands Fever in Saskatchewan," Oil Sands Fever Series, Pembina Institute, Saskatchewan Environmental Society, Canadian Parks and Wilderness Society, Drayton Valley, Alberta, 2009.

195. Prime Minister Stephen Harper, St. Petersburg, Russia, 2006 G8 Summit.

196. Pugwash, "Freshwater Declaration," Canadian Pugwash and Science for Peace, Freshwater Expert Roundtable, Global Issues Project, November 8-9, 2008. Available at http://www.rwsandford.ca/2009.01.15-freshwater_declaration-EN.pdf. Accessed on May 1, 2011.

197. Rajabi, S., Hipel, K.W., and Kilgour, D.M., "Multiple Criteria Screening of a Large Water Policy Subset Selection Problem," Journal of the American Water Resources Association, Vol. 3, No. 3, pp. 533-546, June 2001.

198. Reisner, M., "Cadillac Desert," Penguin Books, New York, 582 pp., 1993.

199. Reuters, "UPDATE 2-Pipe break hits U.S., Canada refineries," July 26, 2010. Available at http://www.reuters.com/article/2010/07/27/enbridge-idUSN2623027120100727. Accessed on May 14, 2011.

200. Richardson, G.R.A., "Adapting to Climate Change: An Introduction for Canadian Municipalities," National Resources Canada, Ottawa, ON, 2010. Available at http://adaptation.nrcan.gc.ca/mun/pdf/mun_e.pdf. Accessed on April 9, 2011.

201. Richardson, L., "The Oil Sands: Toward Sustainable Development," Report of the Standing Committee on Natural Resources, 39th Parliament, 1st session, House of Commons, Ottawa, Ontario, 2007.

202. Rinehart, D., "Watergate, How bottled water could drink Canada dry," The Hamilton Spectator, March 3, 2007, in Polaris Institute. Available at http://www.polarisinstitute.org/watergate_how_bottled_water_could_drink_canada_dry_0. Accessed on September 28, 2010.

203. Rutter, N., Coppold, M., and Rokosh, D., "Climate change and landscape in the Canadian Rocky Mountains", The Burgess Shale Geoscience Foundation, Field, British Columbia, 2006.

204. Saleth, M.R., "Institutional Response as an Adaptation to Water Scarcity," Madras Institute of Development Studies, 2010.

205. Salmon, S.M.A., "The Helsinki Rules, the UN Watercourses Convention and the Berlin Rules: Perspec-

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

tives on International Water Law," Water Resources Development, Vol. 23, No. 4, pp. 625-640, December 2007. Available at http://www.internationalwaterlaw.org/bibliography/articles/general/Salman-BerlinRules.pdf. Accessed on December 8, 2010.

206. Sandford, R., "Water, Weather and the Mountain West", Rocky Mountain Books, Canada, pp. 88-90, 2007.
207. Sandford, R., "Restoring the Flow: Confronting the World's Water Woes", Rocky Mountain Books, Canada, 2009.
208. Schindler, D.W., "Forward," in Bakker, K. (Editor), "Eau Canada: The Future of Canada's Water", University of British Columbia Press, Vancouver, British Columbia, Canada, 2007.
209. Schindler, D.W. and Adamowicz, V., "Running out of Steam? Oil Sands Development and Water Use in the Athabasca River-Watershed: Science and Market Based Solutions," University of Alberta, Edmonton, Alberta, 2007.
210. Schindler, D.W. and Donahue, W.F., "An Impending Water Crisis in Canada's Western Prairies Provinces," Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 103, No. 19, pp. 7210-7216, 2006.
211. Schwartz, D., "Profile: David Schindler," CBC News, October 18, 2010. Available at http://www.cbc.ca/canada/story/2010/10/15/f-david-schindler.html. Accessed on November 1, 2010.
212. Science and Environmental Health Network (SEHN), "Precautionary Principle," January 26, 1998. Available at http://www.sehn.org/wing.html. Accessed on May 7, 2005.
213. Sea Grant Michigan, "Great Lakes Basin Map," About the Great Lakes, 2009. Available at http://www.miseagrant.umich.edu/explore/greatlakes/index.html. Accessed on September 8, 2010.
214. Sego, D. "Environmental Impact of the Oil Sands Development," Geoscience of Climate Change, 2008 Gussow-Nuna Geoscience Conference, Banff, Alberta, 2008.
215. Servos, M. R., Bennie, D. T., Burnison, B. K., Jurkovic, A., McInnis, R., Neheli, T., Schnell, A., Seto, P., Smyth, S. A. and Ternes, T. A., "Distribution of estrogens, 17β-estradiol and estrone, in Canadian municipal wastewater treatment plants," Science of the Total Environment, Vol. 336, No. 1-3, pp. 155-170, 2005.
216. Shrybman, S., "The Accord to Prohibit Bulk Water Removal – Will It Actually Hold Water?" West Coast Environmental Law, Remarks Prepared for the B.C. Freshwater Workshop, 2000.
217. Simonovic, S.P., "Managing Water Resources: Methods and Tools for a Systems Approach," UNESCO, Paris, France, 2009.
218. Simonovic, S.P., "Systems Approach to Management of Disasters: Methods and Applications," Wiley, Hoboken, New Jersey, 2011.
219. Simpson, J., "As the Sea Ice Melts, So Melts the Arctic," The Globe and Mail, October 23, 2010.
220. Simpson, J., Jaccard, M., and Rivers, N., "Hot Air: Meeting Canada's Climate Change Challenge," McClelland and Stewart, Toronto, Ontario, Canada, 2007.
221. Sprague, J.B., "Great Wet North: The Myth of Water Abundance," in Eau Canada, Ed. Bakker, K., 2007. Available at http://www.watergovernance.ca/factsheets/pdf/FS_Myth_of_Water_Abundance.pdf. Accessed on September 2, 2010.
222. Tar Sands Watch, "Canada's Water Crisis 'Escalating'; Experts Expect Climate Change to Present Serious Water Challenges, Many Already Exist," Polaris Institute, April 22, 2008. Available at http://www.tarsandswatch.org/canadas-water-crisis-escalating-experts-expect-climate-change-present-serious-water-challenges-man-0. Accessed on October 25, 2010.
223. The Canadian Press, "Walkerton E. coli payout tops $65M but angry businesses feel shut out," in The Telegram, February 18, 2008. Available at http://www.thetelegram.com/Politics/2008-02-18/article-1441423/Walkerton-E-coli-payout-tops-65M-but-angry-businesses-feel-shut-out/1. Accessed on October 28, 2010.
224. Top 100: Canada's Biggest Infrastructure Projects, "Sydney Tar Ponds Cleanup," December 21, 2009. Available at http://top100projects.ca/2009/sydney-tar-ponds-cleanup/. Accessed on October 3, 2010.
225. United Nations Environment Programme (UNEP), "Handbook for the International Treaties for the Protection of the Ozone Layer: The Vienna Convention (1995), The Montreal Protocol (1997), Sixth edition," UNEP, Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya, 2003.
226. US Army Corps of Engineers. "Devils Lake Basin", North Dakota, 2005. Available at http://www.mvp.usace.army.mil/fl_damage_reduct/default.asp?pageid=14. Accessed on March 8, 2005.
227. US Energy Information Administration, "International Petroleum (Oil) Reserves and Resources Tables and Reports: Most Recent Estimates," Based on Information from the Oil & Gas Journal – January 2009. Available at http://www.eia.doe.gov/international/oilreserves.html. Accessed on July 15, 2010,
228. US Environmental Protection Agency (EPA), Road Map to Understanding Innovative Technology Op-

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

tions for Brownfields Investigation and Cleanup, Fourth Edition, EPA-542-B-05-001, September 2005.

229. Walters, C.J., "Adaptive management of renewable resources," McMillan, New York, New York, USA, 1986.

230. Wang, L., Fang, L., and Hipel, K.W., "Integrated Hydrologic-Economic Modeling of Coalitions of Stakeholders for Water Allocation in the South Saskatchewan River Basin", Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 13, No. 9, pp. 781-792, 2008.

231. Wang, J., Leshkvich, G., Sellinger, C., Clites, A., and Bai, X., "Seasonal, Interannual, and Spacial Variability of Great Lakes Ice Cover in Response to Climate Change," presented at Lake Michigan: State of the Lake and Great Lakes Beach Association, Milwaukee, WI, September 29 – October 1, 2009. Available at http://aqua.wisc.edu/SOLM/LinkClick.aspx?filetic ket=Jg34HPGezkk%3D&tabid=74. Accessed on April 15, 2011.

232. Water Footprint Network, "Introduction," 2008. Available at http://www.waterfootprint.org/?page=files/home. Accessed on September 25, 2010.

233. Wellington, A., Burley, C., and Rollinson-Lorimer, M., "Comprehensive Chronology of Events Surrounding the Walkerton Tragedy," November 2007. Available at http://www.ryerson.ca/~awelling/documents/Wellington_Walkerton_Chronology.pdf. Accessed on October 28, 2010.

234. Weston, G., "Flushing Out Local Polluters," QMI Agency, in Toronto Sun, March 28, 2010. Available at http://www.torontosun.com/news/columnists/greg_weston/2010/03/26/13370351.html. Accessed on November 2, 2010.

235. Williams, B.K., Szaro, R.C., and Shapiro, C.D., "Adaptive Management: The U.S. Department of the Interior Technical Guide," US Department of the Interior, 2007.

236. Wingrove, J., "A dire warning from a broken pipeline," The Globe and Mail, May 14, 2011.

237. Wolf, A.T., "Conflict and Cooperation along International Waterways," Water Policy 1, 2 (1998), 251-265, in A. T. Wolf, A. T. Elgar (Editors), Conflict Prevention and Resolution in Water System. Cheltenham, United Kingdom, 185-199, 2002.

238. Wolf, A.T., "Hydropolitics," Water Encyclopedia, 2010. Available at http://www.waterencyclopedia.com/Hy-La/Hydropolitics.html. Accessed on November 9, 2010.

239. Wood, C., "The Last Great Water Fight," The Walrus, pp. 26-36, October 2010.

240. Woynillowicz, D. and Severson-Baker, C., "Down to the Last Drop: The Athabasca River and the Oil Sands," Oil Sands Issue Paper No.1, Pembina Institute, Calgary, Alberta, 2006.

241. Yin, Y.Y., Huang, G.H., and Hipel, K.W., "Fuzzy Relation Analysis for Multicriteria Water Resources Management," Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 25, No. 1, pp. 41-47, January/February 1999.

NADA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Salar de Talar, cerca de San Pedro de Atacama, Chile
Foto tomada por Luca Galuzzi (http://www.galuzzi.it)

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

El sector del agua en Chile

Su estado y sus retos

James McPhee[1,2], Alberto de la Fuente[1], Paulo Herrera[1], Yarko Niño[1,2], Marcelo Olivares[1,2], Ana María Sancha[1], Aldo Tamburrino[1,2] y Ximena Vargas[1]

[1]Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
[2]Centro Avanzado de Tecnología para la Minería, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

1. Introducción

Chile es un país de extremos: no sólo muestra el mayor rango de latitudes para un solo país en el mundo (Arica, la ciudad más septentrional, se encuentra 18° S, bien al norte del Trópico de Capricornio, mientras que Cabo de Hornos se sitúa a aproximadamente 57° S), sino también tiene dramáticas variaciones en altitud, desde la costa del Océano Pacífico hasta las cumbres más altas de la cordillera de los Andes a sólo 200 km de distancia. Debido en parte a estas características, Chile comprende una gran variedad de climas y, por ello, diversos regímenes hidrológicos. El desierto de Atacama, el más seco del mundo, coexiste en el mismo país con regiones de la Patagonia en donde es común que la precipitación anual sobrepase los 4 m.

No es sencillo dar un panorama integral y condensado de los recursos hídricos de un país tan diverso. Este capítulo pretende proporcionar dicho panorama desde la perspectiva de la disponibilidad del agua en cuanto a su calidad y cantidad, en contraste con la demanda del recurso hídrico.

Se pone especial énfasis en el agua en las ciudades, en los retos relacionados con el ambiente y los asuntos de escasez. En Chile la escasez es tanto natural como producto de la actividad humana. La legislación chilena sobre recursos hídricos es única en el mundo y así como ha creado riqueza, también en ocasiones ha dado lugar a desigualdades. Esto se analiza a mayor profundidad en secciones más adelante.

Este reporte tiene como objetivo principal proporcionar un informe de la situación en la que se encuentra el recurso hídrico; sin embargo, también se hace énfasis en los retos a futuro con el fin de abrir la discusión sobre las distintas vías de desarrollo asociadas.

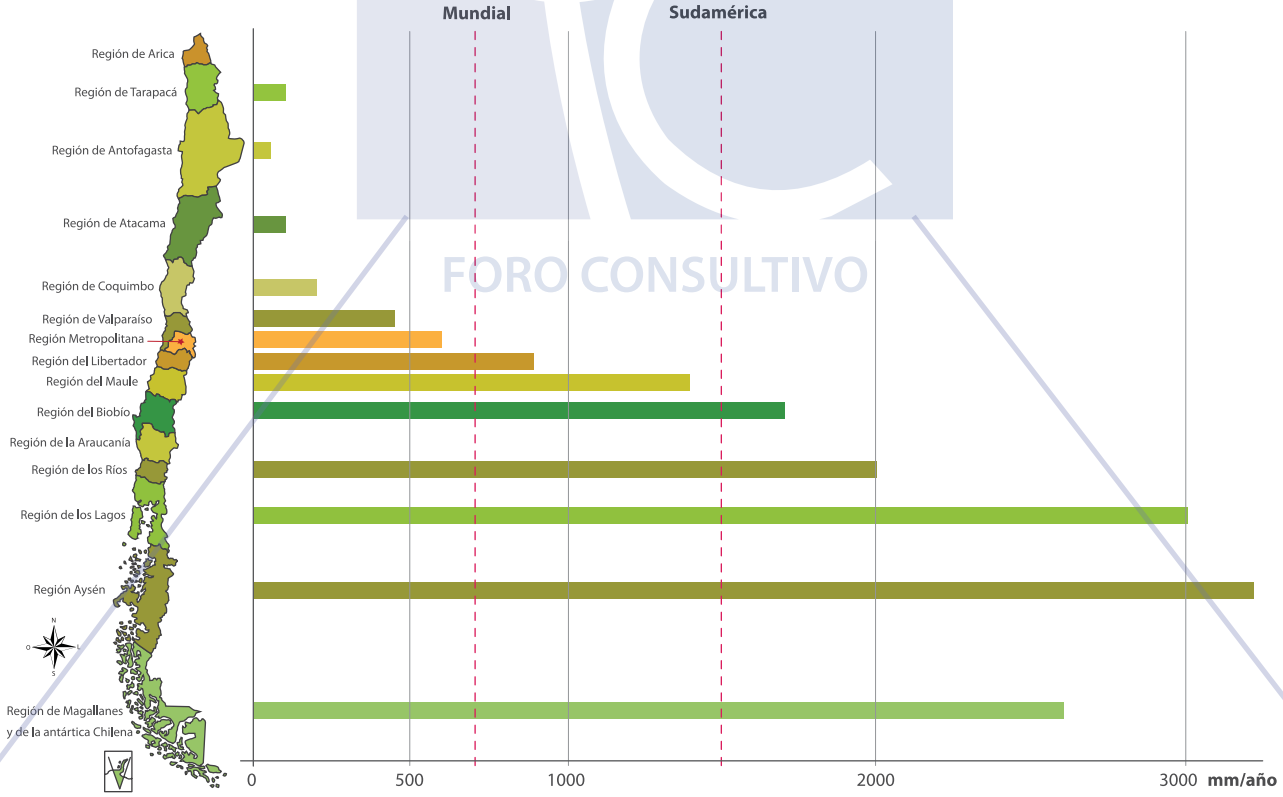
2. Disponibilidad de los recursos hídricos

2.1 Aguas superficiales

La precipitación anual promedio en Chile va desde menos de 20 mm en la región de Norte Grande a más de 6,000 mm en algunas partes de la Patagonia. Además, los gradientes locales de elevación provocan efectos de sombra orográfica que dan como resultado una variabilidad espacial muy importante en el aporte de precipitación. Como consecuencia, el agua superficial varía mucho a lo largo del país. La Figura 1 muestra la variación latitudinal de la precipitación anual promedio, acumulada de acuerdo a las distintas regiones administrativas antes de 2007, y la compara con los promedios mundiales y de América del Sur.

En la región norte, entre los 18º S y 29º S, apenas existe precipitación, presentándose la mayor parte de la lluvia en las regiones más altas del Altiplano y las cumbre andinas. Esta lluvia alimenta acuíferos, corrientes efímeras y algunos ríos exorréicos tales como el Lluta, San José, Loa, Copiapó y Huasco. Estos ríos, aunque modestos en flujo anual promedio, son de gran importancia regional desde el punto de vista económico, social y ambiental. Al ir hacia el sur, la precipitación aumenta hasta 200-800 mm/año en las regiones conocidas como Norte Chico y Chile Central. Estas áreas típicamente tienen climas mediterráneos, debido al movimiento estacional del anticiclón del Pacífico, lo que permite precipitación invernal y la acumulación de una cubierta de nieve dominante. Por ello, muchos de los ríos de la región, tales como Limarí, Elqui, Aconcagua,

Figura 1. Precipitación anual promedio



PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

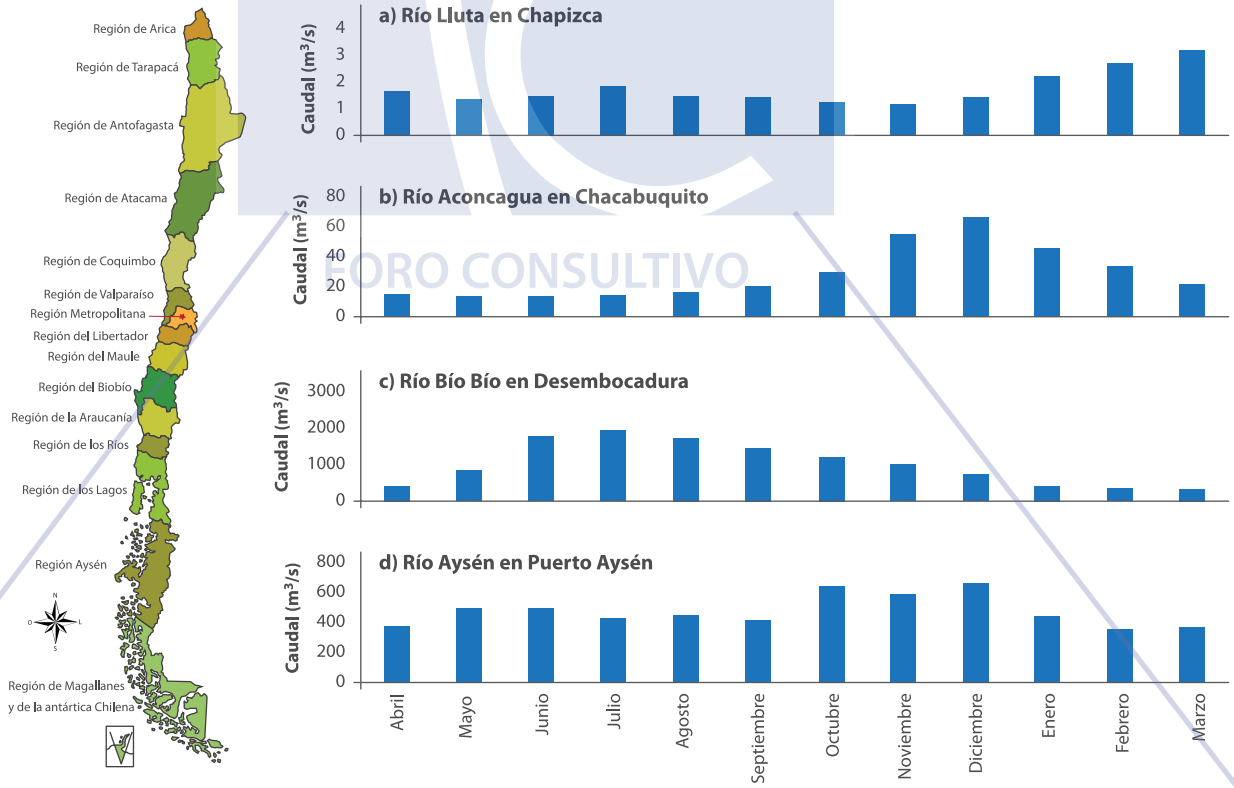
Maipo, Rapel, Mataquito y Maule tienen regímenes hidrológicos determinados por la nieve, con flujos mensuales pico en sincronía con las mayores demandas agrícolas. Ello ha determinado el desarrollo de una industria agrícola muy dinámica en la región, que contribuye aproximadamente 5% del PIB chileno (Latin Focus, 2009).

Todavía más al sur, en las regiones escasamente pobladas de la Patagonia y el círculo subantárctico, la precipitación aumenta significativamente. Son comunes los promedios anuales de 3,000 mm o más, y la precipitación deja de concentrarse en unos pocos meses del año, presentándose casi continuamente a lo largo de las estaciones.

Este clima da lugar a grandes ríos tales como Biobío, Imperial, Bueno, Futaleufu, Aysén, Baker y Pascua, que aunque relativamente menores en comparación con otros ríos de Suramérica, son muy significativos en términos de flujo anual para Chile. Como se explicará más adelante en este reporte, estos ríos representan *la última frontera* en el desarrollo de los recursos hídricos en Chile. La Figura 2 muestra ejemplos de los hidrogramas promedio mensuales de ríos chilenos típicos.

Además, en la mayoría de las corrientes a lo largo del país, existe gran variabilidad temporal. Los patrones climáticos, tales como la oscilación del Atlántico (NAO, SAO, NATL), influyen sobre los flujos de humedad hacia el norte árido, mientras que la región central recibe la influencia de los patrones relacionados con el Océano Pacífico, principalmente el ENSO. Hacia el sur, la variabilidad disminuye gradualmente, y los ríos de la Patagonia muestran algunos de los regímenes más estables del país en términos de flujo anual. En la Figura 3 se observan ejemplos de lo antes mencionado, ya que se muestran las series de tiempo para el flujo anual dividido entre el flujo anual promedio de tres ríos representativos. La parte a) muestra los flujos normalizados en el río Loa, en medio del desierto de Atacama. La región central está fielmente representada por el río Maipo (parte b), que fluye del Macizo Andino hacia el fértil valle central. Finalmente la parte c) muestra los flujos anuales normalizados para el río Baker, el de mayor tamaño en Chile. Este último tiene la menor variabilidad interanual de los ríos mostrados, con flujos anuales que siempre se encuentran a menos de 50% del promedio. El río Loa tiene un comportamiento diferente, algo estable por la importante infiltración de aguas subterráneas hacia la corriente, pero

Figura 2. Hidrogramas mensuales promedio típicos de algunos ríos chilenos



PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

también caracterizado por ciclos de sequía interrumpidos por años más húmedos. Finalmente, el río Maipo muestra el comportamiento típico para la parte central de Chile, con un flujo anual extremadamente variable de un año a otro, y con oscilaciones de baja frecuencia.

Al computar el equilibrio hídrico a lo largo del país, las dramáticas diferencias entre las regiones se vuelven claramente aparentes (Figura 4). Mientras que en el tercio norte de Chile la mayor parte del agua se pierde hacia la atmósfera a través de la evapotranspiración y la evaporación desde la superficie de los cuerpos de agua (por ejemplo, salares, humedales), la porción central del país muestra ríos que fluyen libremente al océano. Aquí aproximadamente la tercera parte de la totalidad de los recursos (4,000 m^3/s) se evaporan hacia la atmósfera, mientras que las dos terceras restantes fluyen al Océano Pacífico. El tercio sur del país, al sur de la isla Chiloé, tiene la mayor abundancia de recursos de agua superficial. Aquí las demandas de evapotranspiración se satisfacen casi totalmente y más de 20,000 m^3/s fluyen libremente hacia el Océano Pacífico. En esta región la densidad de población es muy baja (menos de 1 hab/km^2) y las demandas de irrigación son mínimas.

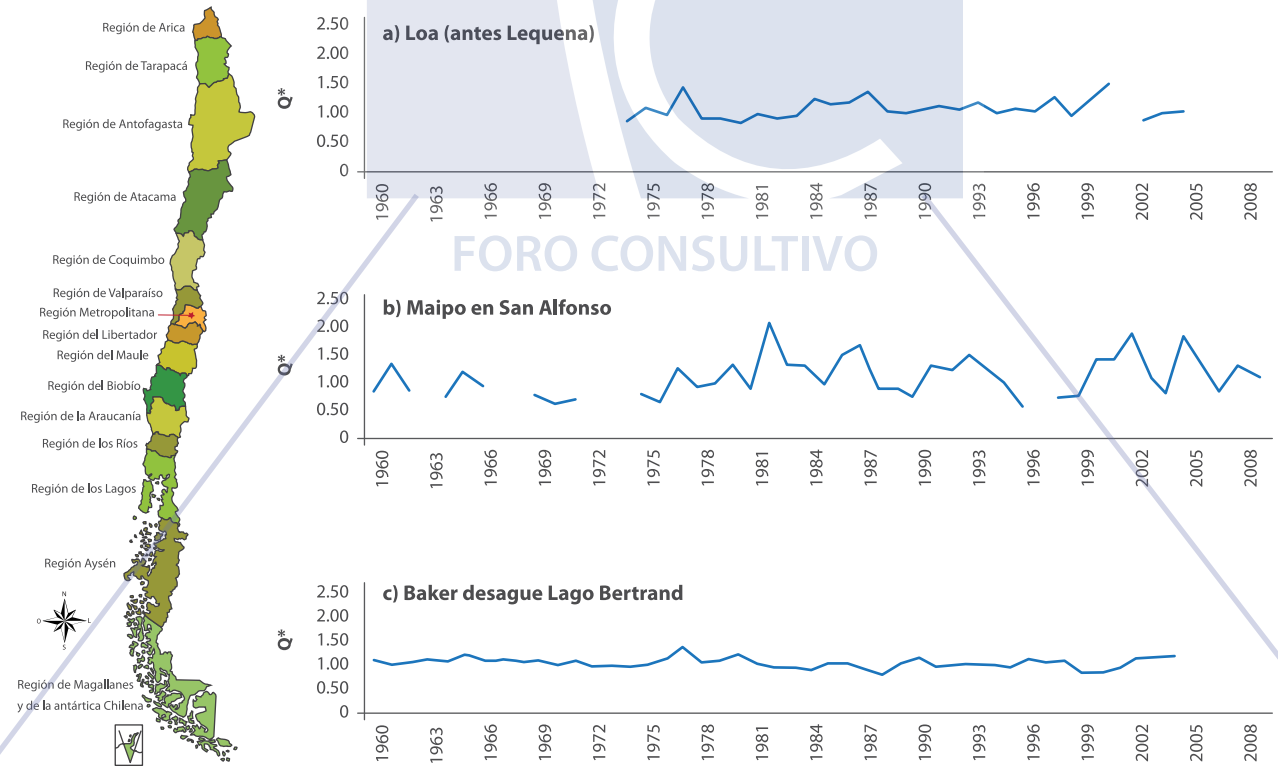
Como se mencionó anteriormente, la variabilidad espacial es clave incluso al considerar esta burda división del país en tercios. Por ejemplo, en Aysén, la región con mayor abundancia de agua, los fuertes gradientes longitudinales causados por el efecto de sombra orográfica tiene como resultado que las áreas costeras tengan una precipitación de más de 3,000 mm/año, mientras que ciudades como Coyhaique, localizada 200 km al este, tienen promedios anuales del orden de 300 mm/año.

La Figura 5 muestra la disponibilidad *per cápita* de recursos hídricos para aquellas regiones en donde esta cifra es relevante. Las regiones de Aysén y Magallanes no se muestran por la escasa población que tienen.

Como ya se ha discutido, la disponibilidad hídrica aumenta en dirección sur; sin embargo, lo que resulta interesante notar es cómo una gran parte del país está bajo lo que se conoce como *grado de presión sobre el recurso hídrico* (Falkenmark, 1989). Esto no sólo incluye la zona de Norte Grande (entre los paralelos 18º y 25º S), sino también la región Metropolitana, en donde vive aproximadamente 40% de la población del país (INE, 2008).

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 3. Serie de tiempo del flujo anual en tres ríos representativos: a) el Loa en Lequena, b) el Maipo en El Manzano, c) el Baker en Bertrand Lake



2.2 Aguas subterráneas

Aunque existen acuíferos a lo largo de la mayor parte del territorio chileno, es en la región centro-norte donde tienen el mayor papel como fuente de recursos hídricos para las actividades mineras y agrícolas. En general, se sabe poco al respecto del grado de interconexión de los acuíferos, su extensión horizontal y vertical, así como la tasa de recarga. La complejidad geológica, con sistemas fracturados de rocas y estratos altamente fallados, la información de campo limitada y estimaciones de tasa de extracción poco confiables, aumentan la incertidumbre asociada a la sustentabilidad real del uso actual del agua subterránea (Hiscock *et al.*, 2002).

En las regiones del Tarapacá y Antofagasta, los acuíferos se recargan por tormentas esporádicas originadas en el Atlántico que corresponden a lo que se conoce como Invierno Altiplánico. Se puede observar un tiempo de rezago hasta de ocho meses entre el pico de precipitación sobre la altiplanicie de Atacama y las descargas pico de algunos de estos acuíferos (Silva, 2010). Algunos acuíferos infiltran hacia las aguas superficiales en áreas con gran pendiente, lo que resulta en oasis que sostienen asentamientos humanos tales como Pica, Mamiña, etc. En la región de Antofagasta, las tasas de recarga son dudosas, y en algunos casos, se podría estar extrayendo aguas subterráneas fósiles. Más al sur, en la región de Copiapó, los acuíferos existentes se recargan cada varios años por inundación de los ríos locales. Estos episodios de flujo elevado y recarga posterior se pueden relacionar con la variabilidad climática interanual y decadal asociada con el ENSO, y en menor grado que con el PDO (Houston, 2006). En la Figura 6 se muestran estimados globales de la recarga anual promedio en los acuíferos en aquellas zonas donde las aguas subterráneas son más relevantes. Las regiones de Tarapacá, Antofagasta y Atacama tienen tasas de recarga global de unos 10 m³/s, mientras que la región de Valparaíso y la Metropolitana tienen velocidades de recarga de entre 50 y 100 m³/s. En estas dos últimas, los recursos hídricos subterráneos se reponen por una combinación de precipitación infiltrada al suelo, infiltración de los lechos de los ríos durante la estación de flujo alto de deshielo, y por lo menos en la ciudad de Santiago, por pérdidas del sistema de distribución de agua potable (Bartosch, 2007).

En algunas áreas, los actuales niveles de extracción de los acuíferos chilenos pueden no ser sostenibles. El Estado, a través de la Dirección General de Aguas y la Dirección de Obras Hidráulicas, está llevando a cabo varios estudios para cerrar este vacío en el conocimiento. Entretanto, la

Figura 4. Equilibrio hídrico a lo largo de tres regiones: norte, centro y sur de Chile

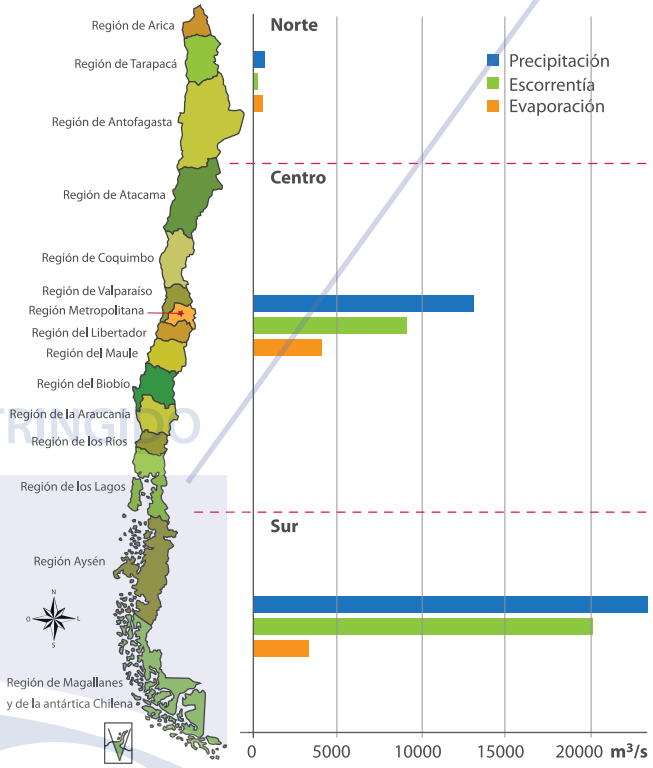
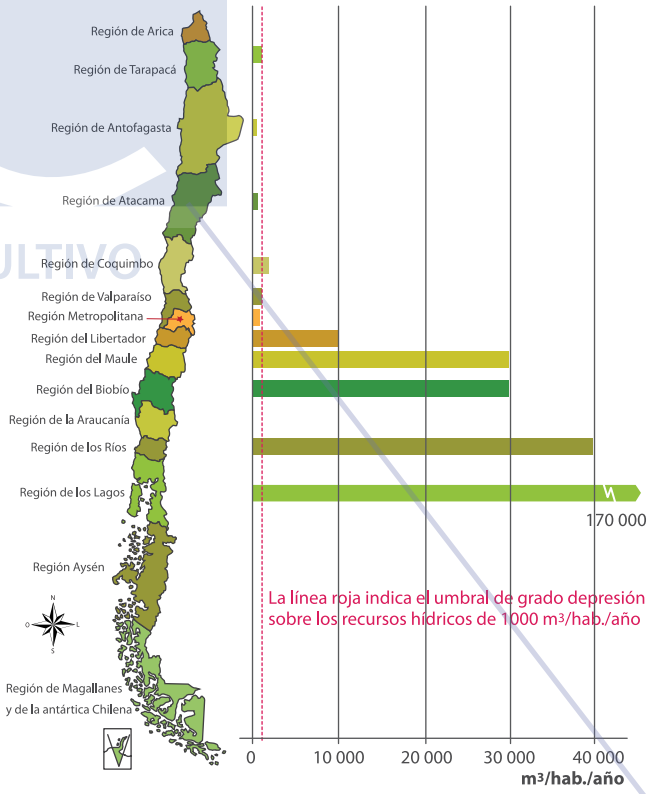


Figura 5. Disponibilidad regional de agua per cápita



PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

presión sobre los recursos subterráneos va en aumento, ya que las solicitudes de concesión para extraer aguas subterráneas exceden por mucho las estimaciones actuales de recarga disponible. Al mismo tiempo, los ecosistemas y asentamientos humanos que dependen de la infiltración de agua subterránea para sobrevivir están amenazados por la sobreexplotación (Vila *et al.*, 2007). Por ello, es de relevancia clave que continúen los esfuerzos en investigación dirigida a refinar las estimaciones actuales de recarga y que la sociedad en general los apoye.

2.3 Cambio climático y agua

Las proyecciones de cambio climático en Chile, aunque todavía sujetas a cierto grado de incertidumbre, indican una tendencia al calentamiento a lo largo del país junto con signos de reducción de la precipitación para la mayor parte de las regiones centro-norte y centro-sur. La Figura 7 muestra las estimaciones más recientes de aumento de temperatura en el territorio chileno. Se observa que las variaciones son mayores en las áreas de alta elevación a lo largo de la cordillera de los Andes, y que también aumentan en dirección sur. Las tendencias en precipitación muestran una caída de 20-30% en la precipitación anual para el final del siglo XXI con relación al período basal. Esta disminución afecta la región entre Atacama y Chiloé (23º-43º S), mientras que se podría esperar cambios insignificantes o incluso aumentos leves en los extremos sur y norte del país (Figura 8).

Muchos estudios han intentado traducir estas proyecciones climatológicas en impactos relacionados con el agua. McPhee *et al.* (2010) evaluaron los cambios en el caudal de acuerdo con los cambios de temperatura y precipitación para el siglo XXI, y encontraron que las cuencas dominadas por el deshielo a gran altitud podrían verse gravemente afectadas en su régimen hidrológico y flujo promedio anual bajo las proyecciones climáticas más probables. En general, las reducciones en el porcentaje de precipitación se ven exacerbadas por el aumento de temperatura, de manera que para 2070-2100, por ejemplo, una disminución de 30% en la precipitación anual promedio combinada como un calentamiento de 1.5°C podría dar como resultado una caída del 40% en el flujo anual en los frentes montañosos.

Las proyecciones climáticas actuales para Chile central indican una disminución en la frecuencia de los eventos de precipitación, mas no necesariamente una disminución en la magnitud de precipitación diaria. Combinado con

Figura 6. Recursos hídricos subterráneos calculados como descarga anual promedio

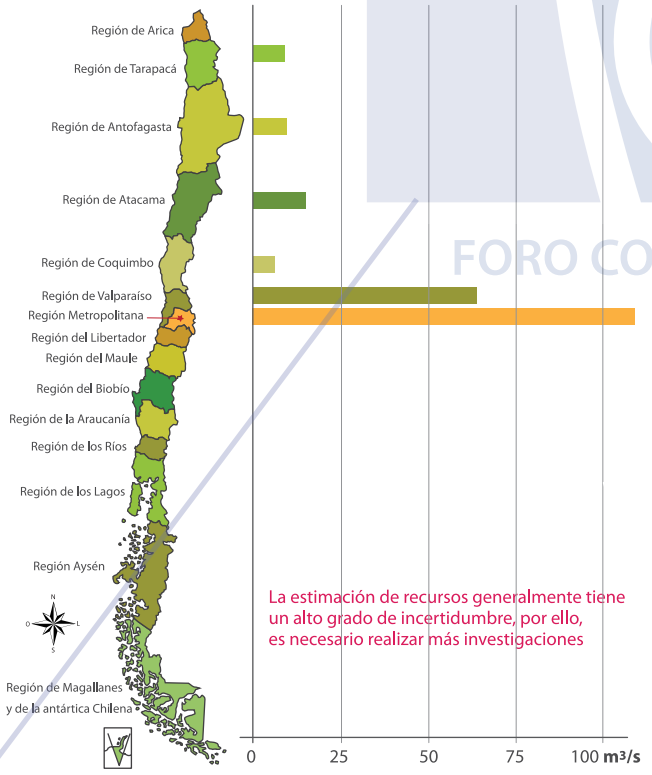
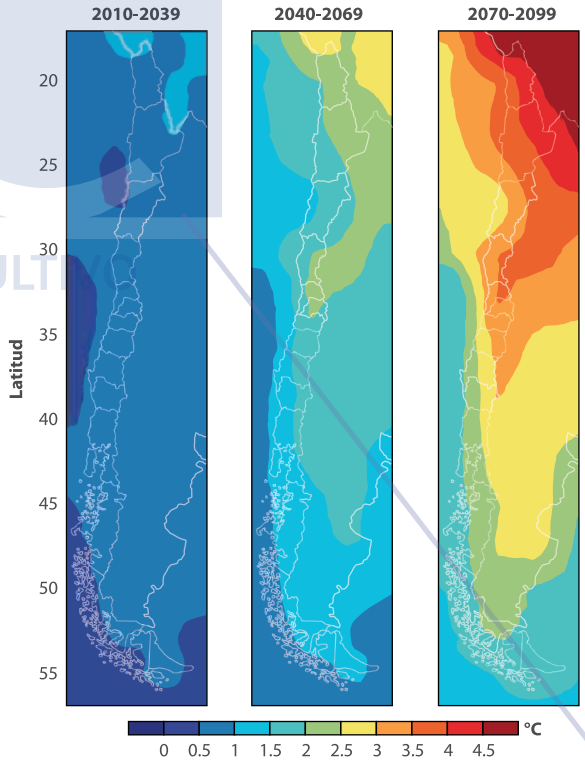


Figura 7. Proyecciones de temperatura bajo el escenario de emisiones A2 (Adaptado de CEPAL, 2009)



Los valores se expresan como cambio en porcentaje desde la línea basal (1960-1990)

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 8. Proyecciones para la precipitación bajo el escenario de emisiones A2 (Adaptado de CEPAL, 2009)

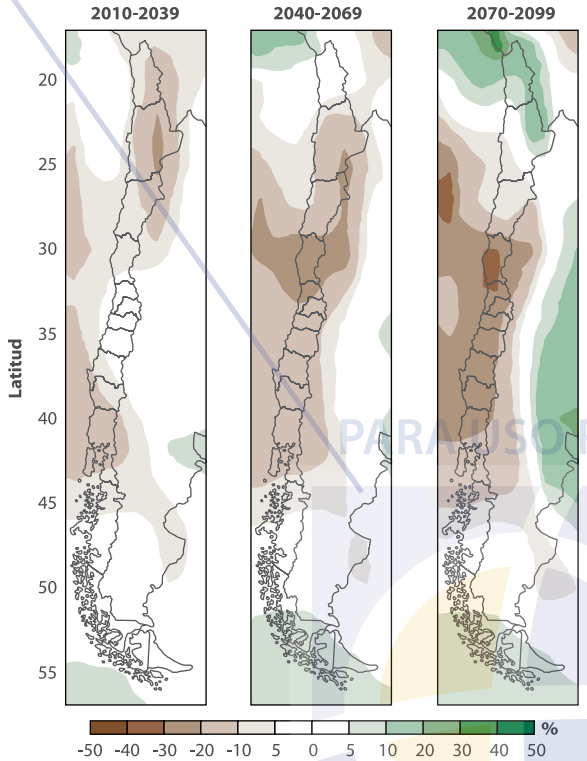
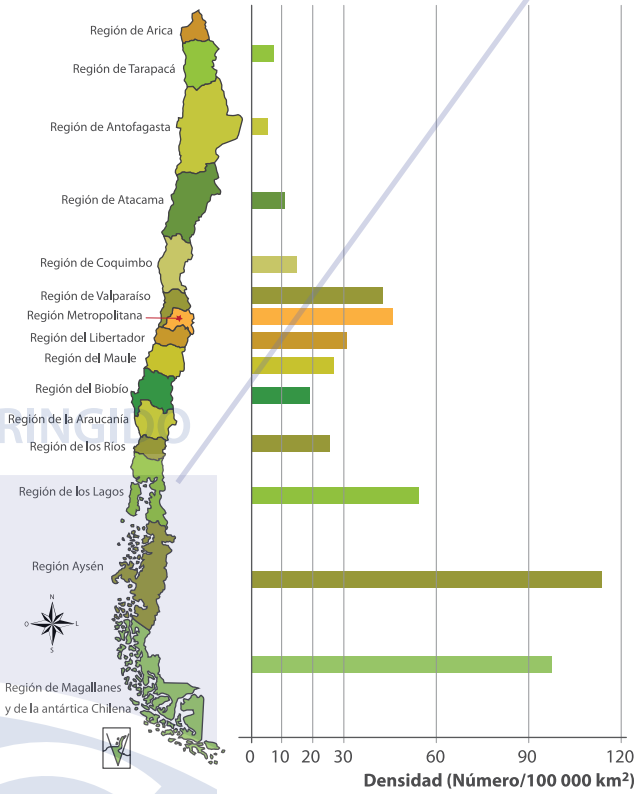


Figura 9. Densidad de lagos, lagunas y embalses (Adaptado de Salazar y Soto 2006)



temperaturas más elevadas, esto podría resultar en mayores inundaciones, ya que los episodios de lluvia-sobre-nieve podrían volverse más importantes (Pérez y Vargas, 2009). El conocimiento en específico sobre este asunto aún está por desarrollarse y está limitado por la escasez de datos de campo para alimentar los modelos hidrológicos y de inundación.

2.4 Limnología

La región sur de Chile a latitudes mayores a 40°S, concentra más del 90% de la distribución de lagos, embalses y lagunas (Salazar y Soto, 2006). Esta tendencia también se presenta en términos de la densidad de lagos por unidad de superficie que se muestra en la Figura 9, y que indica que las condiciones climáticas de alta precipitación observadas en la Figura 4 son un factor clave para entender esta abundancia espacial de lagos. La naturaleza de los lagos, lagunas y embalses también varía a lo largo de Chile. En el norte, los cuerpos de agua son principalmente lagunas saladas del Altiplano, en donde el agua subterránea que surge a la superficie se evapora completamente en una superficie pequeña (de la Fuente y Niño, 2010). En la parte central del país, se forman los humedales costeros y su hidrodinámica está determinada por el viento y la vegetación emergida (Baladrón, 2011). Los lagos grandes y profundos formados por glaciares aparecen en el sur de Chile, entre los cuales los lagos Villarrica y Llanquihue son lugares de importancia turística para la región. Las condiciones de estratificación gobiernan su dinámica durante nueve meses (primavera, verano y otoño), y debido a las grandes dimensiones de estos lagos, la hidrodinámica interna del oleaje también es modificada por la rotación de la Tierra (Meruane, 2005; CENMA, 2006; Rozas, 2011). A pesar de la gran abundancia de lagos en las regiones de Aysén y Magallanes, los agentes clave que determinan su dinámica se conocen poco, y esta falta de información deberá ser superada cuanto antes. Se sabe que el agua de deshielo de los glaciares alimenta estos cuerpos de agua y que los fuertes vientos que se registran en la región parecen ser el agente dominante que determina su hidrodinámica; sin embargo, debido a la temperatura baja de los influjos, no está claro si se presentan condiciones mixtas en el invierno.

2.5 Calidad del agua

Las cuestiones relativas a la calidad del agua son tan diversas como las de su cantidad. Muchos problemas de calidad

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

son de origen humano, pero en algunas áreas los constituyentes naturalmente asociados con depósitos geológicos metalogénicos (norte de Chile) representan, en el mejor de los casos, una molestia, y en el peor, una amenaza a las poblaciones humanas y a la actividad económica.

Un ejemplo de esto es el río Lluta, donde el boro que se presenta naturalmente en el agua afecta la agricultura local. Por otra parte, el arsénico es uno de los contaminantes naturales más conspicuos en Chile. Hasta hace poco, el estándar de arsénico en el agua potable era 50 µg/l. Actualmente, este límite se ha bajado a 10 µg/l para equipararse con los estándares internacionales. Además, la alta evaporación y el aumento en la extracción de agua han impactado negativamente en el contenido de sales de muchos cuerpos de agua de la región (Vila *et al.*, 2007).

La actividad minera representa un problema singular en cuanto a la calidad del agua. El río Loa (el de mayor longitud en Chile) es un buen ejemplo de algunas de las cuestiones relativas a la calidad a la que se enfrentan los ríos del norte, ya que, en su cabecera en el Altiplano y en elevaciones medias, la erosión de las formaciones rocosas pone en contacto al agua con suelos ricos en minerales y moviliza componentes tales como cobre, cromo, molibdeno, boro y aluminio. No obstante que las actividades mineras juegan un papel importante en la determinación de la calidad del agua, la falta de información suficiente entorpece nuestra capacidad para evaluar sus efectos precisos (CADE-IDEPE, 2004).

Figura 10. Distribución regional de problemas relacionados con la calidad del agua

En el centro de Chile, donde la agricultura representa el mayor usuario de agua y donde reside la mayoría de la población, las cuestiones de calidad de agua son el resultado de la contaminación dispersa de pesticidas y fertilizantes, además de las cargas orgánicas provenientes de los asentamientos humanos. Como se analizará más adelante, la cobertura de tratamiento de aguas residuales ha aumentado drásticamente en los años recientes, de manera que la contaminación por materia orgánica es un problema algo menor de lo que fue en décadas pasadas. En cuanto a la contaminación por fertilizantes y pesticidas, a pesar de que existe la percepción entre los expertos de que representan un problema, la información al respecto es limitada porque hasta ahora las regulaciones ambientales en el país se han ocupado de las descargas controladas a los cuerpos de agua, y no de la calidad del agua en los cuerpos receptores en sí mismos (existen estándares de emisión, pero no se han promulgado los estándares de calidad ambiental).

A aproximadamente 34° S, donde desaparecen las formaciones metalogénicas a lo largo de la cordillera de los Andes, se presenta un cambio significativo en los asuntos relativos a la calidad del agua. A su vez, la actividad volcánica juega un papel importante en la determinación de las características del suelo en cuencas como la del río Maule, y de ahí la calidad natural de dichas cuencas. En ellas, el aluminio es uno de los componentes naturales más característicos. Más al sur, las condiciones más húmedas aumentan la tasa de descarga en las corrientes superficiales, diluyendo así muchas de las descargas municipales e industriales de desechos líquidos que se hacen en los ríos como el Maule y Biobío (CADE-IDEPE, 2004). Sin embargo, eventos contaminantes de alto perfil (tal como los eventos de mortalidad de peces en el río Mataquito) han destacado los riesgos asociados con la industria de fabricación de papel en un área donde la tala y la explotación forestal representan un agente económico importante.

La calidad del agua de lagos y embalses ha cambiado debido a modificaciones en el uso de suelo y la urbanización. Salazar y Soto (2006) muestran mayores concentraciones de nutrientes en los siete lagos cuya calidad es medida sistemáticamente por la DGA, un organismo del Minis-

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

terio de Obras Públicas. Como consecuencia, el oxígeno disuelto en las aguas superficiales ha disminuido en 2 mg/l en 20 años (1980 a 2000), y observaciones recientes en el lago Villarrica, un lugar turístico en el sur de Chile, indican la presencia de proliferación microalgal nociva durante el verano (V. Durán, comunicación personal), que puede convertirse en un riesgo para la salud de las personas con las correspondientes pérdidas económicas en la actividad turística. Como un mecanismo para revertir esta tendencia, aparte de las regulaciones generales que aplican a todas las descargas, se están definiendo las normas específicas para regular la calidad del agua de las descargas a los sistemas acuáticos en particular. Esta regulación específica considera las condiciones particulares del cuerpo de agua receptor. En los lagos Llanquihue y Villarrica, entre otros, la normatividad específica ha sido definida (Woelfl, 2010).

En la Figura 10 se muestra, de forma muy aproximada, la distribución regional de los temas relacionados con la calidad del agua que afectan a algunos de los principales cuerpos de agua en Chile.

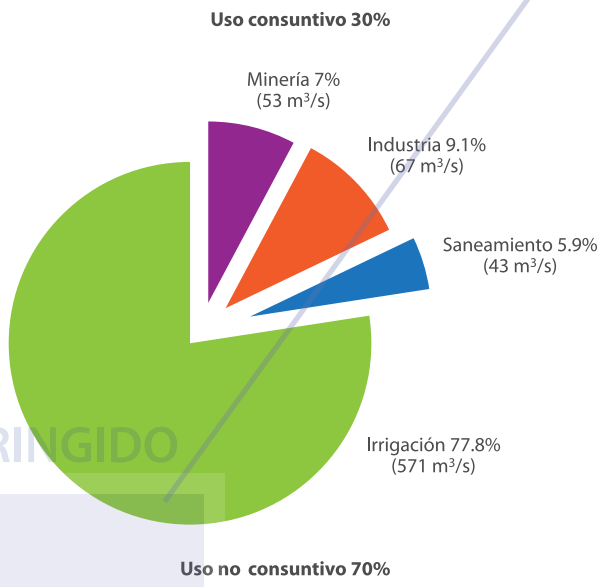
3. Aprovechamientos del agua

3.1 Consideraciones generales

Al considerar los aprovechamientos consuntivos del agua (Figura 11), la agricultura es el usuario más importante de agua en Chile por volumen, representando más de tres cuartas partes del total del uso del agua en el país. La industria no minera es el segundo mayor usuario, con cerca de 10% del total del consumo de agua. La minería, por su parte, con 7% de la extracción de agua, genera el mayor valor en términos del PIB. Esta situación, junto con el marco legal único que regula la gestión del agua en Chile, ha dado como resultado un cambio de uso del agua de la agricultura a la minería en algunas cuencas. En otros casos, parte del aprovechamiento del agua ha pasado de la agricultura al suministro municipal para poder mantenerse al día con el incremento poblacional y la creciente demanda de agua per cápita.

A nivel regional, la irrigación representa la mayor parte del aprovechamiento de agua en todas excepto dos de las regiones al norte del paralelo 40º S (Figura 12). Sólo en Antofagasta y Atacama la minería representa una mayor fracción del uso consuntivo debido a la aridez extrema y al avanzado nivel de la actividad minera en esas regiones. Los grandes nuevos proyectos mineros en construcción sugieren que la tendencia hacia el incremento del uso del agua en la minería continuará aun en caso de que esta industria mantenga su actual camino hacia la eficiencia en el uso de este recurso (Sección 3.6).

Figura 11. Distribución agregada de los usos consuntivos del agua



La parte central del país está dominada por la agricultura de irrigación, mientras que el saneamiento y la industria representan una parte relevante de los aprovechamientos del agua únicamente en las regiones de Valparaíso, Los Lagos y Metropolitana (Figura 12). Por lo tanto, aún cuando más del 80% de la población chilena vive en áreas urbanas (INE, 2008), el modelo de desarrollo que sigue el país coloca una gran importancia en la agricultura, y esto se refleja en los patrones de aprovechamiento del agua.

3.2 Agua, ganadería y agricultura

Como se mencionó antes, la agricultura es el mayor consumidor de agua en cuanto a los usos consuntivos en Chile. Desde mediados de los años 80 se pusieron en práctica fuertes políticas públicas a favor de aumentar el área irrigada, y a partir de 1990 el estado chileno buscó el objetivo de transformar el país en una potencia productora de alimentos. Junto con una tendencia constante hacia el aumento del área irrigada –el gobierno declara como objetivo para el 2020 tener 1,500,000 has. bajo irrigación (MOP 2010)– un cambio importante ha sido el aumento en el valor asociado con la producción agrícola, y la creciente dependencia del agua subterránea debido a su mayor calidad, confiabilidad y flexibilidad (Peña *et al.*, 2004).

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

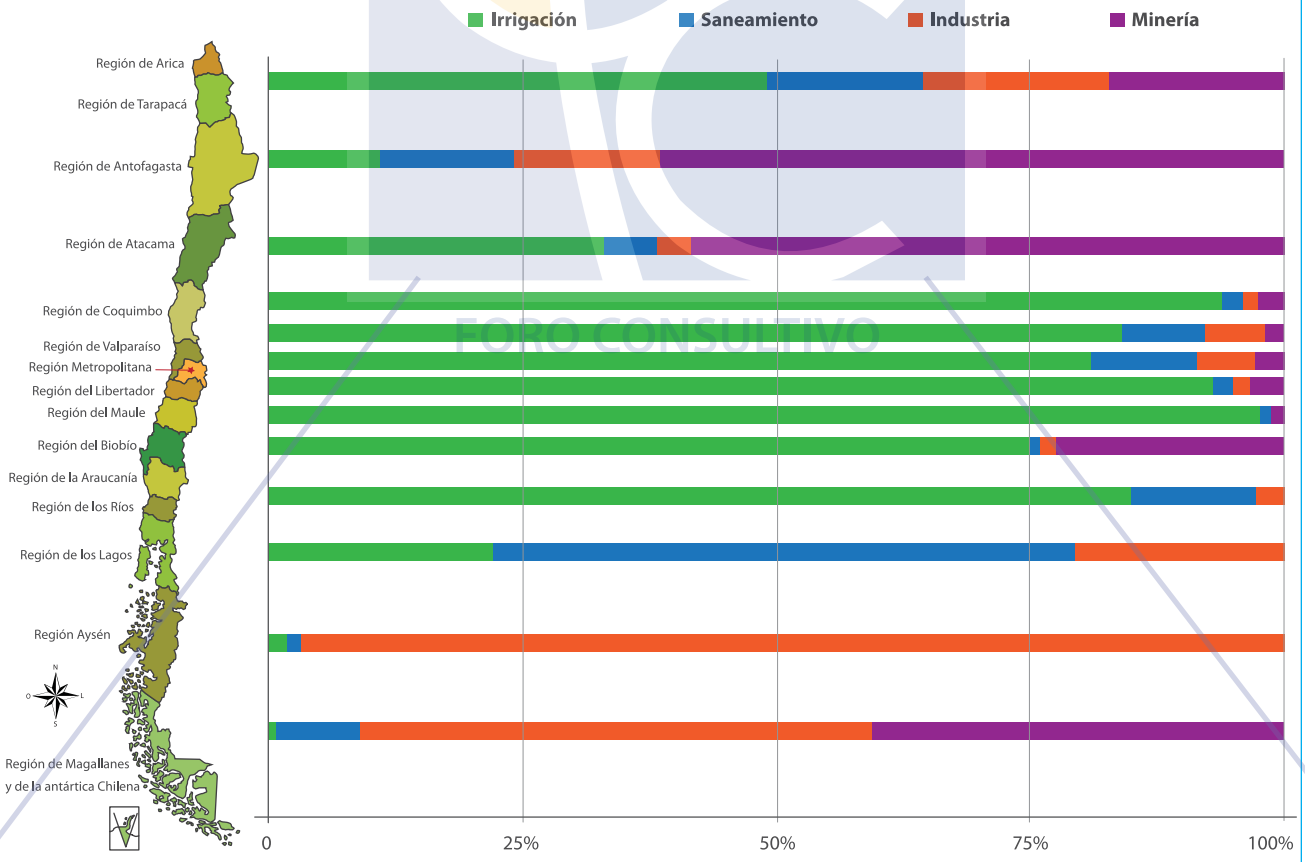
La Figura 13 muestra la distribución regional de las áreas irrigadas a lo largo del país y las demandas de agua asociadas. Se puede observar la forma como la agricultura de irrigación predomina en el tercio central de Chile, que no es de sorprenderse dada sus características climáticas. Lo que es más notable es el hecho de que las demandas agrícolas no son insignificantes al norte de Santiago, donde el clima varía desde el semiárido hasta el extremadamente árido. El desarrollo de mercados globales para productos agrícolas de alto valor como uvas, aceitunas, aguacate, entre otros, ha dado como resultado una mayor demanda agrícola. Las mayores ganancias permiten el cultivo de las laderas de los cerros, no sólo de los valles, y todos estos efectos se combinan para estimular una mayor demanda de aguas subterráneas, particularmente en las regiones de mayor incidencia solar (las más secas) del país.

En la Figura 14 se muestran las áreas irrigadas y la eficiencia de irrigación promedio para cada región del país. La eficiencia más baja se da en la región central, donde los recursos hídricos se perciben como abundantes y predomina el cultivo de alfalfa así como otro tipo de forraje. En el norte del país la eficiencia aumenta entre 45% y 60% estimulada por la escasez de agua y por el alto valor de los productos agrícolas que permiten mayor inversión en sistemas de irrigación.

3.3 El agua y los ecosistemas

En Chile se combina una población relativamente baja con regiones remotas y una amplia variedad de climas, lo que ha resultado en muchas áreas con ecosistemas que en gran medida se mantienen prístinos. Además de los parques y monumentos nacionales, que en muchos casos incluyen cuerpos de agua de manera importante, Chile está afiliado a la Convención Ramsar, de tal manera que los humedales nacionales tienen un estatus especial. Los humedales, a pesar de estar protegidos, son ecosistemas frágiles que en muchas ocasiones se encuentran rodeados de actividades humanas como son la explotación de pozos para procesos industriales, la agricultura, el pastoreo y la tala, todas capaces de tener efectos negativos sobre la recarga de agua, el aporte de químicos, la carga de sedimentos y demás factores que determinan la salud del ecosistema.

Figura 12. Usos consuntivos en porcentaje



PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 13. Áreas irrigadas en Chile y el uso consuntivo asociado

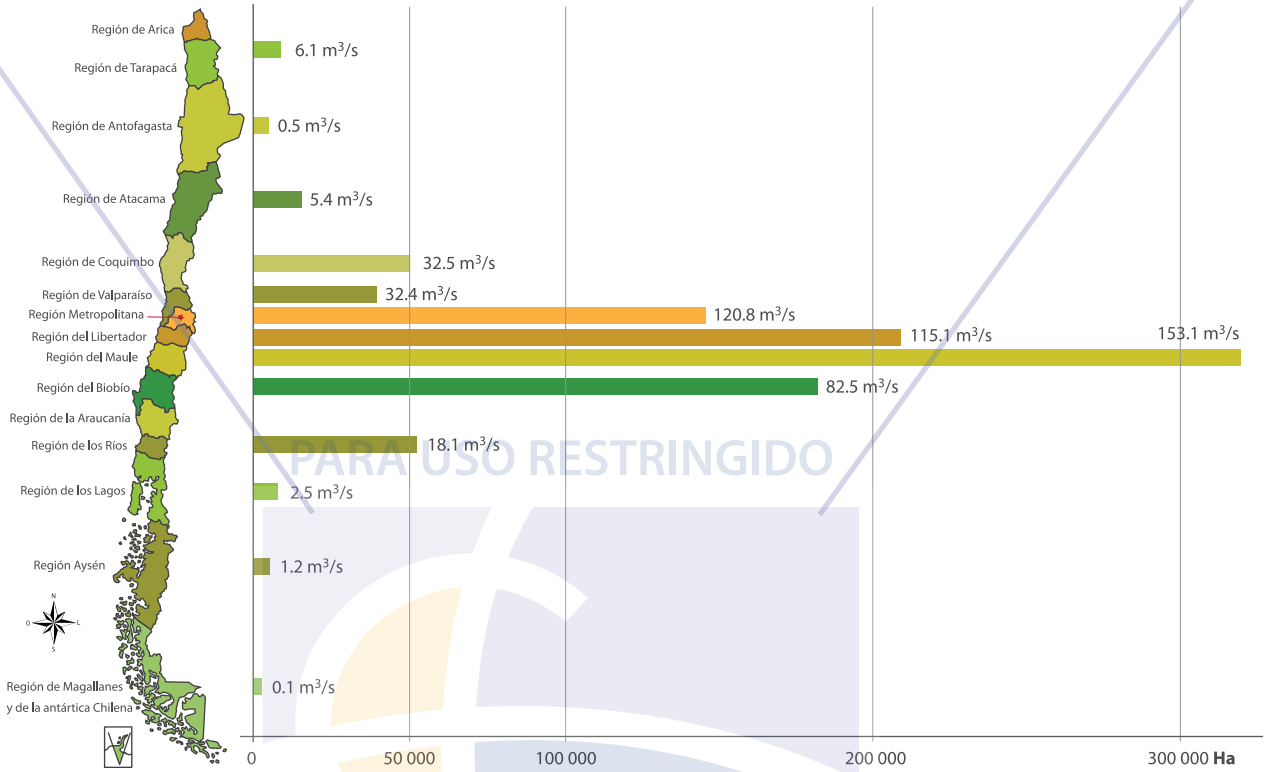
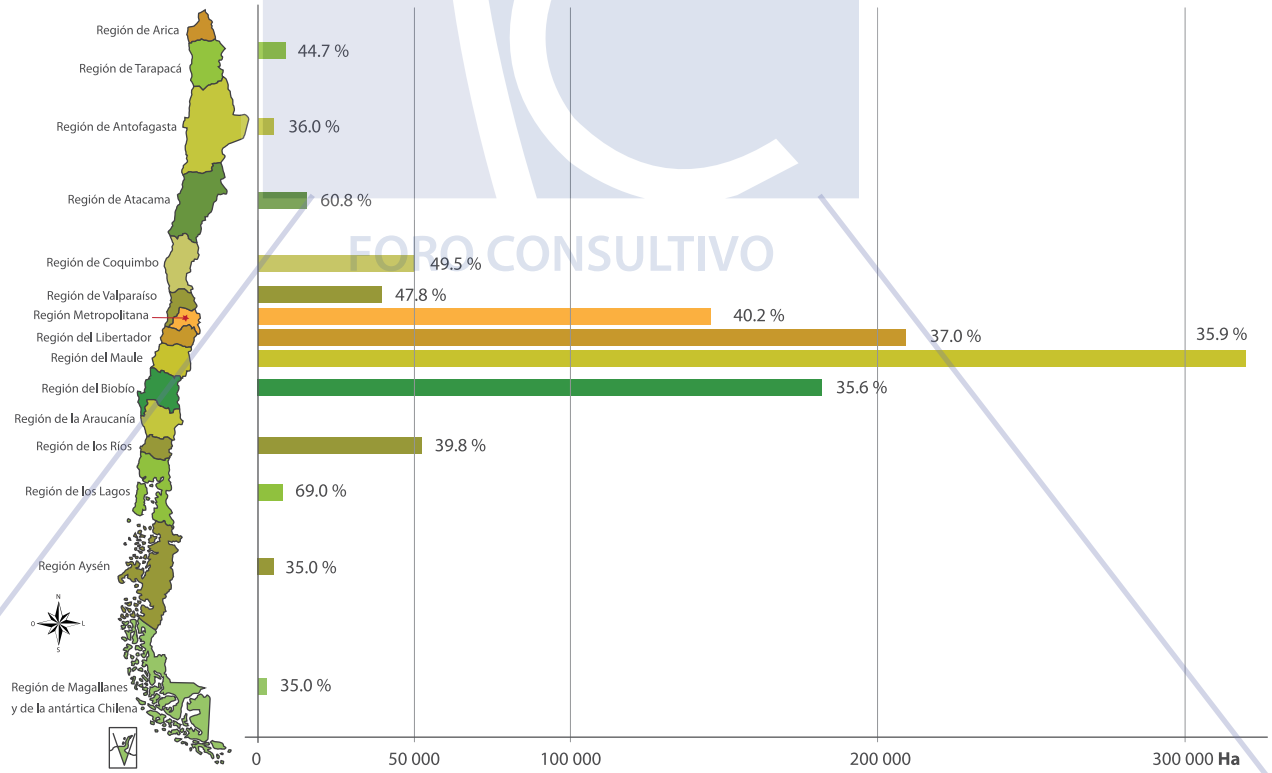


Figura 14. Áreas irrigadas en Chile y la eficiencia de irrigación asociada



PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

En Chile, los sitios Ramsar han ido ganando atención en la última década y el público chileno ahora muestra conciencia de la relevancia del tema, si no de los detalles específicos. Un factor clave en este proceso fue el incidente relativo al *Santuario Carlos Anwandter*, donde la mortalidad de cisnes se asoció con los residuos industriales irregulares de una fábrica de papel. Este caso recibió gran cobertura de los medios y dio lugar a varios reportes técnicos. Hasta la fecha, siguen activas las disputas sobre el origen y la responsabilidad del incidente (Muñoz, 2005).

El Cuadro 1 menciona los sitios Ramsar administrados por la agencia nacional encargada de los parques y reservas nacionales (CONAF-Corporación Nacional Forestal); la mayoría son humedales en los Salares de la Altiplanicie, pero también se incluyen lagunas costeras y hábitats riparios.

El Cuadro 2 menciona los sitios Ramsar manejados por otras entidades. Los dos primeros sitios son lagunas costeras localizadas en el extremo sur (Bahía Lomas) y el centro-norte semiárido del país (Laguna Conchali). El tercero (Juncal) es un sitio agregado recientemente que se localiza en un valle de gran altura en los Andes semiáridos, dos horas al norte de Santiago.

3.4 Servicios de agua para municipios

El análisis de los servicios municipales de agua en Chile debe dividirse en localidades pequeñas (con menos de 500 conexiones) y localidades grandes (más de 500 conexiones). El sector de aguas municipales en Chile sufrió un cambio gradual pero continuo desde la década de los 1970, cuando el estado lentamente abrió espacios para la inversión privada en el sector sanitario. Actualmente, el estado chileno ejerce un papel exclusivamente regulatorio a través de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), mientras que la producción y distribución de agua potable, la recolección de aguas residuales así como su tratamiento (en las localidades grandes) son responsabilidad de compañías privadas. Estas compañías constituyen monopolios naturales en sus áreas de servicio, de forma que el Estado controla la calidad del servicio y la fijación de tarifas a través de un proceso de negociación definido con precisión. El Estado mantiene una participación minoritaria en la mayoría de la compañías que actualmente operan en el país, mientras que la participación que cualquier empresa en particular pudiera tener en una región geográfica es controlada por regulaciones especiales. Con el fin de mantener los costos de servicios básicos bajo control en los

Cuadro 1. Sitios Ramsar administrados por CONAF

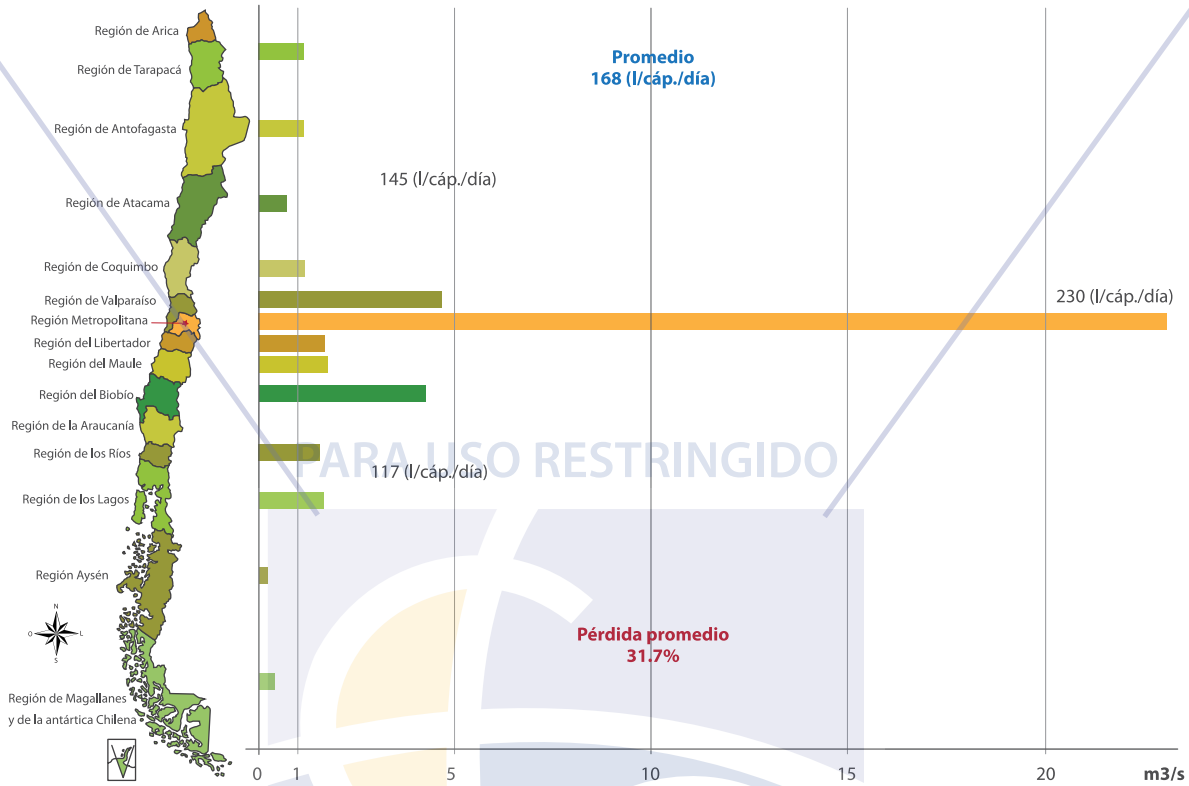
Sitios	Coordenadas	Área (ha)	Protección adicional	Tipo de humedal
Salar de Surire	18° 46′ a 18° 55′ S y 68° 58′ a 69° 06′ O	15,858	Monumento natural	Lagunas saladas perenes asociadas a los salares de altiplanicie
Salar de Huasco	20° 18′ S ; 68° 50′O.	6,000	Parque nacional	Lagunas saladas perenes asociadas a los salares de altiplanicie
Salar de Tara	23° 01′ S; 67° 18′O	5,443	Reserva nacional	Lagunas saladas perenes asociadas a los salares de altiplanicie
Sistema Hidrológico Soncor	23° 15′ a 23° 22′ S y 68° 07′ a 68° 11′ O	5,016	Reserva nacional	Lagunas saladas perenes asociadas a los salares de altiplanicie
Salar de Pujsa	23° 11′ S; 67° 32′O	7,397	Reserva nacional	Lagunas saladas perenes asociadas a los salares de altiplanicie
Aguas Calientes IV	24° 59′ S ; 68° 38′ O	15,529	Ninguna	Lagunas saldas perenes
Laguna del Negro Francisco y laguna Santa Rosa	27° 27′ S y 69° 13′ O y 27° 04′ S y 69° 10′ O	62,460	Parque nacional	Lagunas saladas perenes asociadas a los salares de altiplanicie
El Yali	33° 50′ S ; 71° 36′ O	520	Reserva nacional	Costero, laguna
Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter	39° 35′ a 39° 47′ y 73° 07′ a 73° 16′ O	4,877	Santuario natural, registro Montreux	Ripario perene con efectos periódicos de marea

Cuadro 2. Sitios Ramsar administrados por otras entidades

Sitios	Coordenadas	Área (ha)	Protección adicional	Tipo de humedal
Bahía Lomas	68° 49′a 69° 26′ y 52° 27 a 52° 32′	58,946	Ninguna	Costero, con grandes planicies formadas por la marea
Laguna Conchalí	31° 53′ S ; 71° 30′ O	34	Ninguna	Costero, de transición
Parque Andino Juncal	32º 55' S; 70º 03' O	13,796	Ninguna	Alpino alimentado por manantiales

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

Figura 15. Producción de agua municipal y tasa de diseño promedio per cápita



segmentos de población con menores recursos, el estado emite subsidios dirigidos que cubren un porcentaje del cobro mensual por servicios sanitarios.

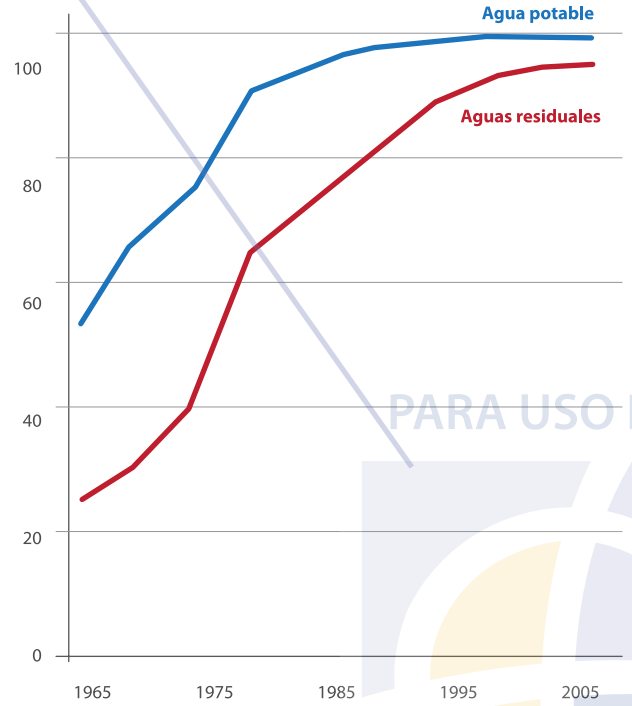
En las localidades pequeñas, los que administran la producción y distribución del agua son los comités locales (comités rurales de agua potable), quienes reciben apoyo técnico y algo de apoyo económico del Estado. Estos comités operan de manera autónoma y están formados por los residentes del área que recibe el servicio. Generalmente compuestos por un pozo de aguas subterráneas, un tanque elevado y una red de distribución de PVC, unos 1,000 sistemas de este tipo existen en el país y han tenido un enorme éxito suministrando agua potable segura en ciudades pequeñas y pueblos. Sin embargo, aún persisten algunos retos, ya que estos pequeños sistemas son vulnerables a la sequía y a otras emergencias, además de que carecen de recursos para invertir y así aumentar su suministro garantizado.

En la Figura 15 se muestra la cantidad de agua potable producida a lo largo del territorio chileno. Las tasas de suministro son bastante homogéneas, con casos excepcionales como las ciudades de Valparaíso-Viña y Concepción (con casi 5 m^3/s), así como Santiago, con más de 20 m^3/s. Este cuadro refleja de cerca la distribución de la población en Chile, pero además amplifica este factor mediante efectos climáticos (Santiago se localiza en la región semiárida) y económicos. En Santiago, donde el ingreso promedio generalmente es mayor que en otras ciudades, el consumo per cápita (230 l/cáp./día) casi duplica la del resto de la nación (110-150 l/cáp./día). Sin embargo, la gráfica no muestra la gran variabilidad espacial del consumo per cápita dentro de las ciudades: en Santiago, esta medida puede ser tan baja como 150 l/cáp./día –propia de las ciudades en zonas muy áridas como Antofagasta–, o tan alta como 600-800 l/cáp./día en las zonas de mayores ingresos de la ciudad. Los usos no indispensables, tales como riego de jardines y el llenado de albercas, son la causa de esta gran diferencia.

Como ya se mencionó anteriormente, los sucesivos gobiernos chilenos han implementado políticas que permiten el ingreso de capitales privados en el sector sanitario. Dejando a un lado las consideraciones políticas, este proceso inyectó recursos frescos a los servicios regionales, los cuales han servido para: a) la cobertura casi total de servicios de suministro de agua y recolección de aguas residuales a lo largo del país (Figura 16), y de manera más importante, b) un aumento dramático en la cobertura de tratamiento de aguas residuales. La Figura 17 muestra esta tendencia y es evidente cómo, entre los años 1998-2000, el sector

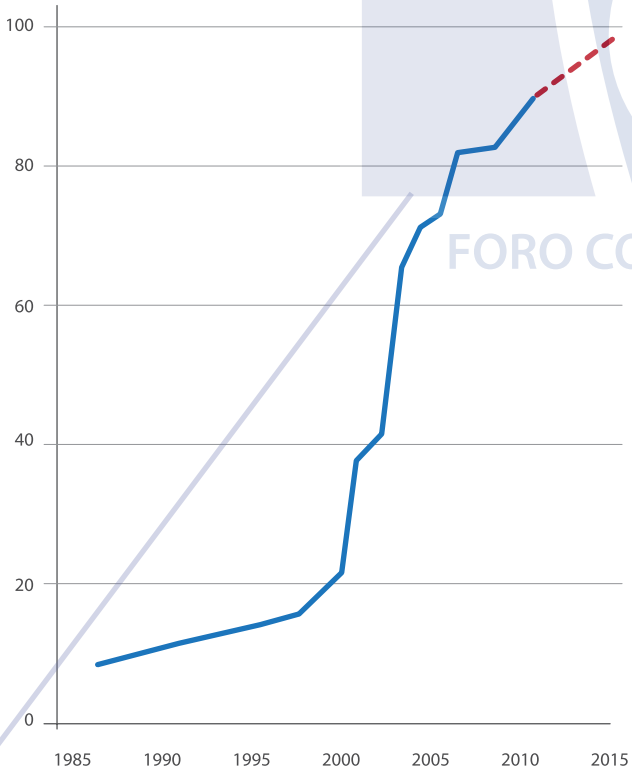
PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 16. Evolución histórica de la cobertura del sector sanitario (compañías privadas + agencias de control público)



Población rural con cobertura del sector sanitario = 75%

Figura 17. Evolución histórica del tratamiento de aguas negras



sanitario sufrió una transformación sistémica que desembocó en una cobertura casi total de tratamiento de aguas negras hoy en día.

No obstante estos notables avances, aún persisten retos para el sector sanitario del agua. Un ejemplo de ello es que las áreas de servicio de las compañías generalmente evolucionan más lentamente que la urbanización, por lo que hay casos en los que los asentamientos humanos adyacentes a áreas "urbanizadas" carecen de servicios hídricos adecuados. Desde el punto de vista legal, estos asentamientos se consideran "rurales" o "periurbanos" y las empresas no están obligadas a incorporarlos dentro de su área de servicio. Por otra parte, en las áreas rurales, donde operan sistemas cooperativos manejados por las comunidades, las limitaciones económicas impiden el robustecimiento del suministro y los servicios sanitarios no se incluyen dentro de las responsabilidades de los municipios o de los comités locales de administración de servicios.

3.5 Agua y salud

La inversión en los servicios sanitarios realizada por el gobierno chileno y compañías privadas antes descrita llevaron directamente a una gran mejora en los índices de morbilidad y mortalidad de las enfermedades de origen hídrico o relacionadas con el agua. De hecho, Chile tiene tasas de mortalidad infantil comparables a las de los países desarrollados, lo cual se puede remontar al mejoramiento de las condiciones socioeconómicas, entre las que cuales el acceso a agua potable limpia y alcantarillado es clave.

Por otra parte, la elevada exposición al arsénico en el norte de Chile durante los años 1950-1970 tuvo efectos tempranos en la salud incluyendo mayores tasas de mortalidad infantil. Un estudio epidemiológico que se llevó a cabo entre 1994 y 1996 produjo datos que relacionan la exposición al arsénico y las tasas de mortalidad por cáncer de pulmón, vejiga, riñón y piel para el período 1950-1996. Los autores del estudio concluyen que el efecto más significativo en la salud pública de la presencia de arsénico en el agua potable fue el cáncer de pulmón. (Ferreccio *et al.*, 2002). El alto riesgo de sufrir cáncer de pulmón en Antofagasta persistió durante 20-30 años después que las plantas de tratamiento construidas para retirar el arsénico comenzaron a operar. De 1993 a 2002 el riesgo de morir de cáncer de vejiga o de pulmón en Antofagasta era cuatro y siete veces mayor que en el resto de Chile, respectivamente (Ferreccio y Sancha, 2006).

Se espera que estas tasas disminuyan en los próximos años, debido a la reducción significativa de las concentraciones

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

de arsénico en el agua potable. Sin embargo, el impacto de mayores emisiones de arsénico en la atmósfera, mitigado hasta cierto punto por la captura de gases en años recientes, podría tener consecuencias negativas en las décadas por venir (Sancha y O´Ryan, 2008).

3.6 Agua e industria

En términos del rendimiento económico, la minería constituye el uso industrial del agua más importante en Chile. En conjunto, la totalidad de la actividad minera genera aproximadamente la mitad de las exportaciones chilenas. La mayoría de las actividades mineras se concentran en la mitad norte del país, donde el clima varía de árido a semiárido. Por ello, aun las demandas de agua relativamente modestas que ejerce la industria minera sobre le equilibrio hídrico nacional se vuelven relevantes a nivel local. Debido a que la minería se desarrolló después de otros uso del agua de larga tradición (como la agricultura), la transferencia de derechos de estos usos históricos a la minería ha creado problemas en el equilibrio hídrico de muchas cuencas. En contraste, la industria minera ha progresado significativamente en la reducción del uso que hace del agua dulce; actualmente el promedio para esta industria es de 0.75 m^3/ton Cu (Cuadro 3), que al precio de US$3.00/onza Cu es equivalente al rendimiento económico de aproximadamente US$1,400/litro de agua dulce. El objetivo de largo plazo en cuanto a la eficiencia para esta actividad es de 0.50 m^3/ton Cu, lo que representa una proporción de recirculación de aproximadamente 4-5 (Figura 18).

La Figura 19 muestra el consumo industrial no minero en Chile, según su distribución geográfica. Las industrias más importantes en este aspecto son la industria de procesamiento de papel/celulosa, la metalurgia y la industria de procesamiento de alimentos. Como se puede observar en la ilustración, las demandas se concentran en la parte central del país, especialmente en las cuencas de los ríos Maipo, Maule y Biobío. Esta última concentra una buena cantidad de actividad papelera en el país, y como se analizó anteriormente, puede tener efectos negativos en la calidad del agua asociados con los derrames accidentales de solventes, subproductos, etc. (Gaete *et al.*, 2005).

3.7 Agua y ecoturismo

En Chile, el concepto de ecoturismo ha sido sustituido por el de turismo de intereses especiales (TIS). De acuerdo con el Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR), en 2008 ingresaron aproximadamente 2,650,000 turistas extranjeros a Chile, y 70% de ellos lo hicieron atraídos por las actividades de intereses especiales. De hecho, el TIS se presenta en áreas donde los cuerpos de agua juegan un papel preponderante en la formación del paisaje, tal como en Patagonia, el distrito lacustre y los salares del norte de Chile. En algunas de estas áreas, el agua es clave ya sea para la conservación de especies únicas (por ejemplo las especies de flamencos en el Altiplano) o en la integración de un paisaje prístino (por ejemplo en Patagonia), o como un medio de sostén para una actividad de gran valor, tal como la pesca con mosca en muchas posadas de pesca en el sur de Chile.

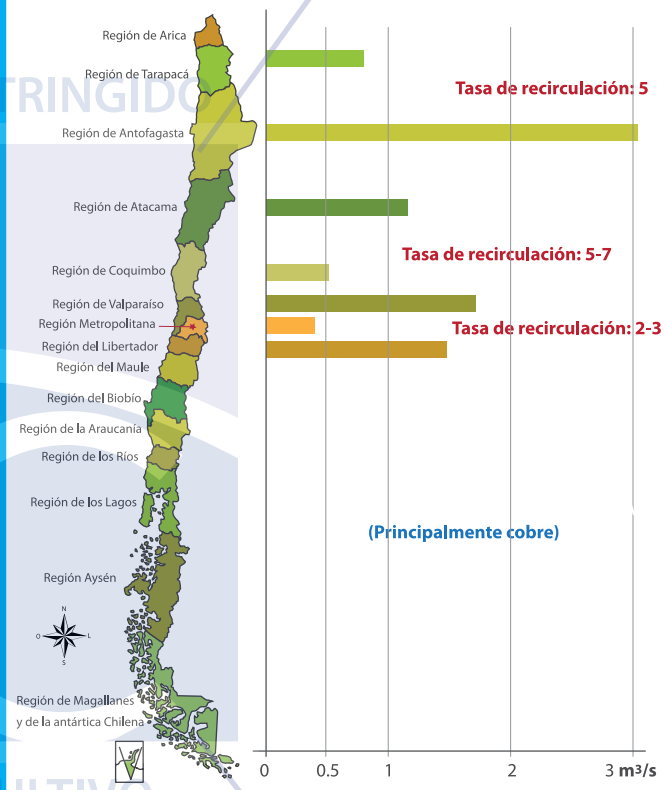
Chile tiene 9,140,330 hectáreas de parques nacionales, 5,402,669 hectáreas de reservas naturales y 26,896 hectáreas de monumentos nacionales. Además, los sitios

Cuadro 3. Usos del agua para distintos procesos mineros

Proceso	Consumo actual (m^3/ton Cu)	Objetivo (m^3/ton Cu)
Concentración	1.10 (0.40-2.30)	0.60
Hidrometalurgia	0.30 (0.15-0.40)	0.25
Otros	0.10	0.05
Promedio	0.75	0.50

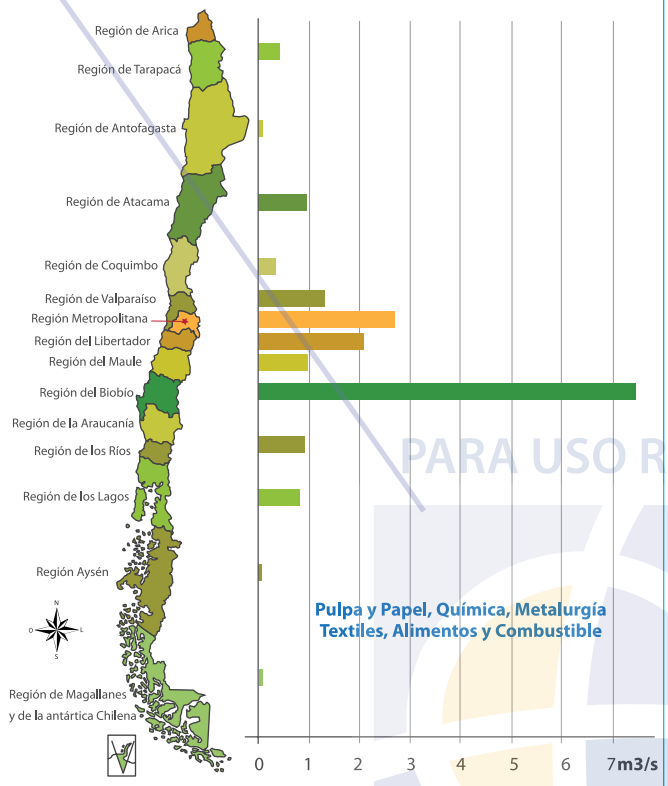
Fuente: GWP, 2004

Figura 18. Demanda de agua de parte de la minería en Chile, asociada con la proporción de recirculación



PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 19. Consumo de agua para usos industriales no mineros



Ramsar están asociados específicamente con los humedales y son destinos asociados al ecoturismo (Sección 3.3).

3.8 Agua y energía

La relación entre al agua y la energía es múltiple. Aparte de ser esencial en la generación de hidroelectricidad, se usan grandes cantidades de agua con fines de enfriamiento en las centrales térmicas. Cuando el agua se usa para enfriamiento, regresa al ambiente a temperaturas altas, con el daño potencial a ecosistemas sensibles. No obstante la importancia del agua en la generación termoeléctrica, y debido a la disponibilidad de datos, esta sección se concentrará en la producción hidroeléctrica.

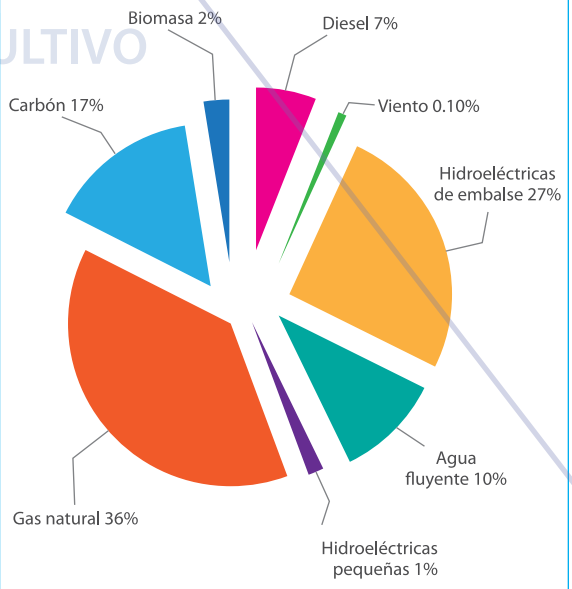
En la Figura 20 se muestra la contribución de cada una de las tecnologías de generación de electricidad a la capacidad instalada nacional para el 2007 (Palma *et al.*, 2009). El 38% de los 12,847 MW de generación instalada a nivel nacional corresponden a la energía hidroeléctrica. Esta proporción se puede subdividir en 27% correspondiente a plantas hidroeléctricas de embalse, 10% a plantas de agua fluyente y 1% a plantas hidroeléctricas pequeñas, que son aquéllas que tienen una capacidad de generar energía igual o menor a 20 MW.

La contribución de la energía hidroeléctrica a la capacidad instalada nacional está concentrada casi exclusivamente en el Sistema Interconectado Central (SIC), la mayor de cuatro redes que conforman el sistema de electricidad chileno (Figura 21). El Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) y el Sistema Interconectado de Aysén (SIA), de mucho menor tamaño, tienen una capacidad hidroeléctrica pequeña de 13 MW y 20 MW, respectivamente (Palma *et al.*, 2009).

La dinámica de la energía hidroeléctrica en relación con la capacidad instalada del SIC se observa en la Figura 22. Esta evolución se puede explicar en gran medida con base en la disponibilidad y el precio de las combustibles alternativos. Cuando los precios de los combustibles son relativamente bajos, la inversión en nuevos proyectos hidroeléctricos se posponen, y aumenta la proporción invertida en las termoeléctricas. Dado el escenario que se espera con respecto a los precios de los combustibles, la inversión en las plantas hidroeléctricas se debe reactivar en los próximos años.

Además, como una manera de promover la generación de electricidad a partir de fuentes renovables, en 2007 se promulgó una ley que obliga a que una parte de la energía que venden las compañías a los usuarios finales debe provenir de este tipo de fuentes (incluyendo pequeñas hidroeléctricas). Específicamente, la ley impone una proporción del 5% correspondiente a fuentes renovables entre los años 2010 y 2014, con incrementos anuales del 0.5% hasta alcanzar el

Figura 20: Capacidad instalada por tecnología generadora en 2007 (Modificado de Palma *et al.*, 2009)



PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

10% en el año 2024. Como consecuencia de este cambio, a partir de diciembre de 2008 más de 230 MW provenientes de proyectos hidroeléctricos menores fueron puestos bajo evaluación ambiental y se espera que sean muchos más en el futuro cercano.

Una característica destacable es que tanto el sector del agua como el de electricidad han sufrido reformas de libre comercio que han resultado en esquemas bajo los cuales agentes privados son responsables de tomar decisiones de inversión. En este contexto, surge una pregunta sobre el equilibrio correcto entre el mercado y la regulación, particularmente cuando el cambio climático provocará que las interacciones agua-energía sean más críticas que en el pasado (Bauer, 2010).

A pesar de su gran contribución a la capacidad instalada del SIC actual, el potencial hidroeléctrico está lejos de agotarse. El potencial sin explotar se concentra en las regiones del sur, particularmente en la Patagonia, donde actualmente se están evaluando desde el punto de vista ambiental grandes proyectos hidroeléctricos correspondientes a 3,000 MW (Figura 23).

3.9 Agua y transporte

Debido a las características geográficas singulares de Chile, sus ríos generalmente no son adecuados para la navegación y no proporcionan medios de transporte importantes. Existen algunas excepciones en la región centro-sur del país, donde una mayor precipitación y topografía más plana generan grandes ríos más profundos y anchos por los que se pueden transportar personas y bienes localmente. En este aspecto destacan los ríos Biobío, Toltén, Bueno y Calle-Calle.

En el Distrito Lacustre, algunos lagos proporcionan rutas hacia pueblos cercanos a la frontera con Argentina, convirtiéndose de hecho en parte de rutas internacionales. Éste es el caso de los lagos Pirihueico, Todos Los Santos, y General Carrera.

3.10 Acuacultura

En las últimas dos décadas, la acuacultura ha sido una de las industrias más dinámicas en Chile, hasta el punto en que Chile es el octavo productor (por peso) de peces cultivados en el mundo con más de 650,000 toneladas (FAO, 2005). Económicamente, la acuacultura ha sobrepasado incluso la pesca en su valor de exportación, al representar más de la mitad de producción de este sector.

Figura 21: Los cuatro sistemas interconectados de Chile (Fuente: Palma *et al.*, 2009)

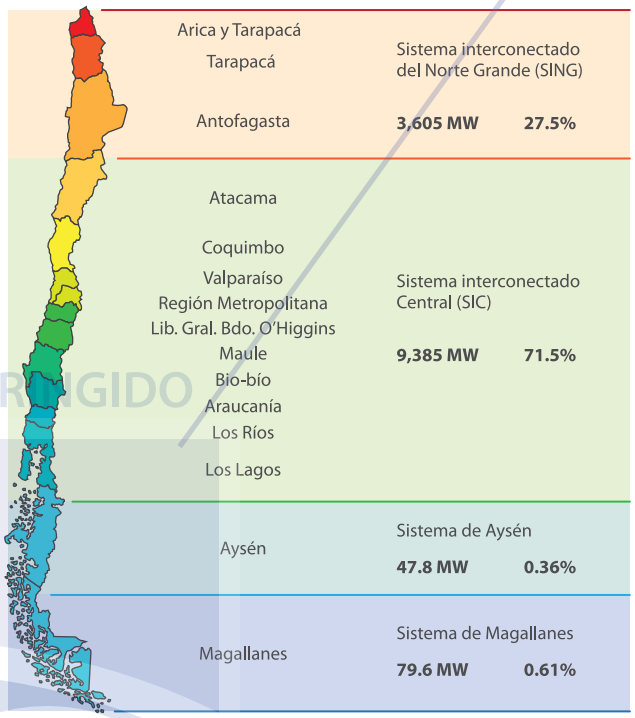
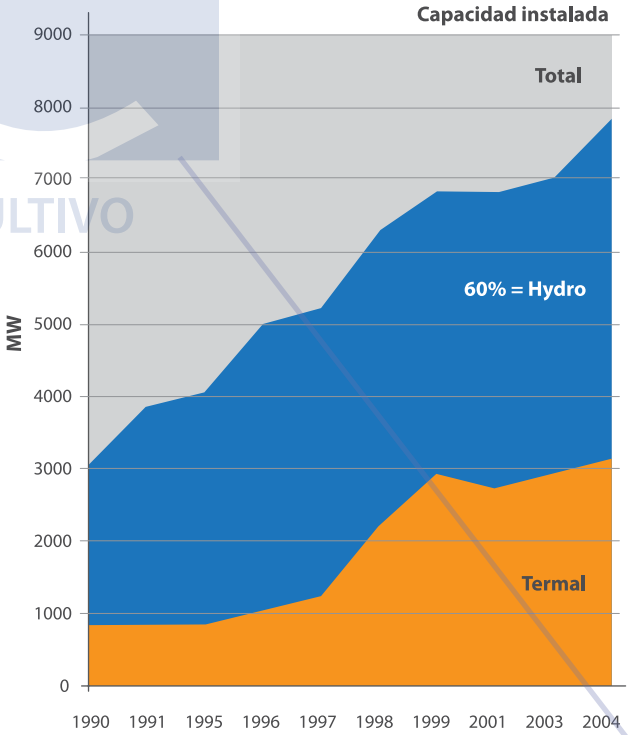
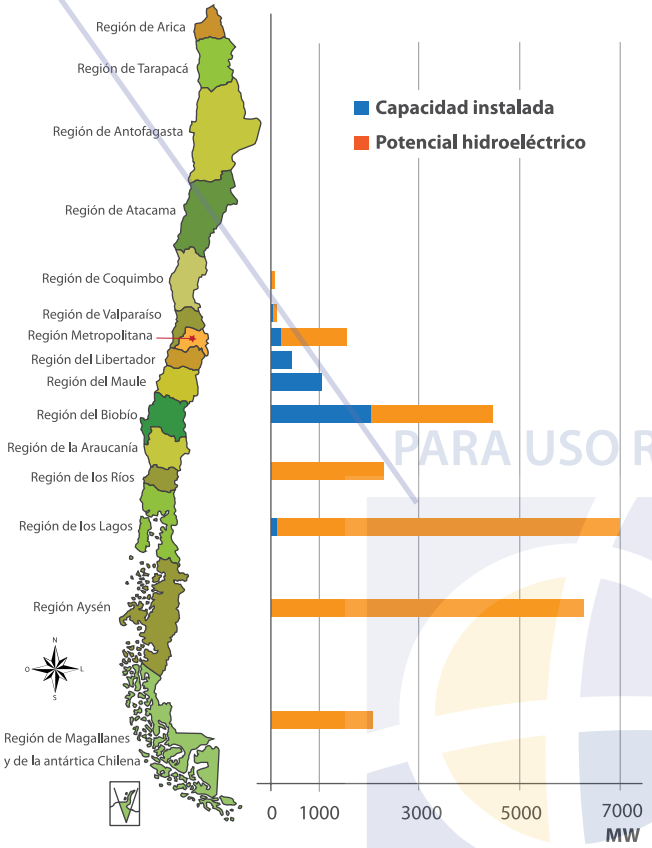


Figura 22. Proporción de energía hidroeléctrica en la matriz energética del Sistema Interconectado de Chile



PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 23. Potencial hidroeléctrico y capacidad instalada



A pesar de que la mayor parte de la actividad acuicultora se da en lugares como fiordos, estuarios y canales marinos protegidos del sur de Chile, algunos estados de desarrollo de los peces y una fracción no despreciable de esta industria ocurre en cuerpos de agua dulce, particularmente en lagos. La acuacultura se ha asociado con un efecto negativo en la calidad del agua debido a la eutrofización por pérdida de alimento y concentración de heces de las jaulas de los peces. Además, una cantidad no cuantificada de vacunas, antibióticos y otros compuestos químicos aplicados a los peces acaban en la columna de agua. El efecto global sobre el ambiente de estas variables no se ha calculado correctamente, aunque muchos autores apuntan a los costos ambientales asociados con la producción de salmón y trucha en Chile (por ejemplo, Buschmann y Fortt, 2005; Cabello, 2004).

4. Agua y sociedad

4.1 Agua urbana

Siguiendo una tendencia global, en Chile más del 80% de la población vivía en ciudades en 2010 (INE, 2008). Esto crea retos y oportunidades asociados por una parte con el suministro y los servicios de agua, y por el otro con ries-

Cuadro 4. Inversión pública proyectada para sistemas de alcantarillado urbano 2010-2020 (MM$)
Incluye planeación, construcción y mantenimiento

Programa	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total (MM$)*
Planes maestros en ciudades sobre 20,000 hab.	0	200	800	800	800	800	600	0	0	0	0	4.000
Diseño y ejecución de obras en ciudades sobre 20,000 hab.	0	0	0	400	1.000	17.000	17.000	21.000	21.000	24.600	24.000	126.000
Diseño y ejecución de obras en ciudades sobre 50,000 hab.	20.000	23.000	21.500	17.000	16.000	8.000	8.000	8.000	8.000	7.000	7.000	144.000
Elaboración marcos estratégicos para nueva Ley de Aguas Lluvia	0	1.200	900	900	900	600	500	0	0	0	0	5.000
Estudios normativos de aguas lluvia	200	200	100	0	0	0	0	0	0	0	0	500
Conservación redes primarias de aguas lluvia	2.200	2.400	2.500	2.600	2.700	2.800	3.000	3.000	3.200	3.200	3.400	31.000
Total	22.900	27.000	25.800	21.700	21.400	29.200	29.100	32.000	32.200	34.800	34.000	310.500

* Moneda del año 2009
Fuente: Dirección de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 24. Dique de control construido con gaviones

Figura 25. Diques de control construidos con viguetas prefabricadas de concreto

gos y peligros. Muchos de los asuntos relacionados con el saneamiento han sido discutidos en la sección anterior. Con respecto a los riesgos relacionados con el agua, el gobierno ha buscado un plan de infraestructura ambicioso para controlar y mitigar los riesgos por inundación, flujo de escombros y otros fenómenos. En ocasiones, el impacto de estos eventos es local y se circunscribe a las áreas adyacentes a arroyos y barrancas de flujo, mientras que en otros los efectos de inundación afectan áreas urbanas de mayor tamaño.

El modelo técnico adoptado por Chile para manejar este problema generalmente depende de la administración central del escurrimiento excedente a través de sistemas de recolección que convergen en canales de desagüe principales. El Cuadro 4 muestra la inversión programada en sistemas urbanos de alcantarillado para aguas pluviales hasta el 2020. Aunque se han propuesto proyectos piloto para el manejo descentralizado de aguas pluviales y existen investigaciones que demuestran algunas de las ventajas de este enfoque alternativo (por ejemplo, Parkinson y Mark, 2005), por mucho el modelo de sistema de drenaje centralizado es aún la alternativa técnica dominante para manejar este asunto.

En las últimas décadas, ha aumentado la conciencia social en cuanto a los flujos de escombros en Chile como resultado de eventos catastróficos que han ocurrido a lo largo del país. Esta conciencia, junto con el conocimiento de medidas de control utilizadas en otros países, ha provocado que gobiernos sucesivos y empresas privadas desarrollen varios proyectos para reducir el daño generado por los flujos de escombros (Hauser, 2004).

A pesar de que en los últimos 20 años se han construido obras de gran tamaño y costo para controlar los flujos de escombros, existen muchas obras más pequeñas diseñadas para el control local de estos flujos de períodos anteriores. Por ejemplo, en 1940 se construyeron diques de control de mampostería en Valparaíso para controlar y capturar el sedimento arrastrado por eventos de flujo de escombros en las principales barrancas que llegan al centro urbano (Hauser, 2004). También se han utilizado gaviones para construir diques de control, como los que se localizan en el riachuelo Los Piches de la región Metropolitana (Figura 24). En Coyhaique, en el sur de Chile, se han usado diques de control llamados "quinchos" construidos con troncos y que se rellenan con rocas grandes para arrestar el sedimento transportado por los flujos de escombros y evitar la erosión de canales. A pesar de que se tienen registros de flujos de escombros en esta área desde 1928, los estudios sistemáticos y obras de protección comenzaron después del evento grave de 1966 (Hauser, 2004). En los últimos años se han construido diques de control ensamblando viguetas prefabricadas de concreto y rellenando con rocas (Figura 25).

En las últimas dos décadas se han construido grandes obras de infraestructura de control como reacción a varios eventos catastróficos que se presentaron en los años 90 y que tuvieron como resultado la desaparición y fallecimiento de personas. El grado de riesgo asociado a este tipo de eventos ha ido aumentando paulatinamente a lo largo del tiempo, ya que las faldas y laderas de los cerros han sido ocupadas por el crecimiento urbano. Por ello, después del evento de flujo de escombros en la ciudad de Antofagasta (1991), en la que murieron 119 personas y se dañó gravemente la infraestructura (C.R.H., 1993; Ayala, 1996; Hauser, 2004), el Ministerio de Obras Públicas construyó una serie de diques de control en 10 barrancas (MOP, 2009) (Figuras 26).

En mayo de 1993, la combinación de precipitación intensa y altas temperaturas que se presentó en las partes elevadas de zonas montañosas afectó la región central de Chile provocando flujos de escombros en un área extensa.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 26. Vista panorámica de diques de control construidos en barrancas en El Ancla y Baquedano, Antofagasta

La ciudad de Santiago se vio particularmente afectada con 34 fallecimientos y más de 5,000 casas dañadas. Como respuesta, se construyeron siete cuencas de sedimentación en Quebrada de Macul, una barranca que experimentó los mayores flujos. Se construyeron cuencas de sedimentación similares en Copiapó, una ciudad al norte de Chile que en junio de 1997 sufrió las consecuencias de fuertes flujos de escombros que produjeron grandes pérdidas económicas. Es interesante notar que las personas que viven cerca de las cuencas de sedimentación las han cuidado transformándolas en campos de futbol y así ayudar a mantener limpias las cuencas.

4.2 Hidroeconomía

La estrategia de desarrollo que ha seguido Chile en los últimos 30 años ha sido la de una mayor participación de la iniciativa privada en el desarrollo de la minería, agricultura, acuacultura e industria maderera como principales motores de la economía chilena. Como tal, el agua ha visto un aumento en su relevancia como factor de producción intermedio en muchas industrias. Probablemente uno de los mayores retos que enfrenta Chile a la fecha es la de asegurar el suministro adecuado de energía para poder sostener el nivel de crecimiento económico que ha llevado el país en las últimas décadas. En este escenario, la energía hidroeléctrica sobresale como la única fuente de energía renovable a gran escala que actualmente puede competir económicamente con las plantas de carbón y diesel. El impacto ambiental de las centrales hidroeléctricas de gran tamaño (tanto de agua fluyente como de embalse) se ha debatido intensamente, y no hay un consenso nacional en cuanto a la estrategia más sustentable para la producción energética. A pesar de ello, es probable que se sigan diseñando y construyendo centrales hidroeléctricas (grandes, medianas y pequeñas).

4.3 Marco institucional y legal

En Chile, el principal cuerpo legal vigente para la gestión del agua es el Código de Aguas de 1981 (con modificaciones en 2005, ley 20.017). El Código de Aguas señala que las aguas continentales chilenas son bienes nacionales de uso público, pero asigna derechos de aguas a particulares, quienes pueden hacer uso de ellas como si fueran cualquier otra propiedad privada. Es decir, el agua en Chile es un bien público hasta que es asignada, a través de derechos de aguas, a un individuo o compañía; a partir de entonces es gobernada por principios de propiedad privada. El agua en Chile está disociada de la tierra, por lo que los derechos de aguas se pueden comprar, vender y rentar sin tomar demasiado en cuenta su propósito inicial.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

El Código de Aguas de 1981 se inspira notoriamente en una visión liberal del manejo del recurso natural, lo que le da precedencia al valor económico del recurso hídrico como un bien final o como un recurso intermediario para la actividad económica. Pretende la creación de mercados de agua e incluye la noción de que dichos mercados asignarían recursos de manera eficiente a los usos más rentables. Como tal, el código minimiza el papel del Estado en la planeación y manejo de recursos hídricos, y otorga a un organismo gubernamental la responsabilidad de conceder derechos de aguas sobre un cuerpo de agua (acuíferos o corrientes) cuando sean solicitados y se compruebe la disponibilidad hidrológica.

Desde su inicio, el Código de Aguas de 1981 fue criticado por adoptar una visión extremadamente ideológica de los asuntos hídricos, con poca consideración hacia las características específicas de la gran variedad de cuencas que se pueden encontrar en un país tan diverso como Chile. A partir de 1990, con la llegada al poder de los partidos políticos de centro-izquierda, y también como consecuencia de la evidencia creciente de lo inadecuado que resultaron los mercados solos en el manejo de la gestión del agua, en combinación con asuntos sociales y ambientales, se han tomado pequeños pasos para corregir algunos aspectos de la ley.

Los principales problemas que se han identificado involucran la falta de regulación para asegurar que se otorguen usos benéficos a los recién otorgados derechos de aguas; de hecho, entre 1981 y 1990, muchos de los derechos sobre el agua concedidos a compañías hidroeléctricas no se tradujeron en actividades económicas sino que fueron usados como herramientas especulativas, entorpeciendo precisamente la actividad económica que pretendía impulsar el Código de Aguas. Además, la versión original del Código no reconocía la conexión entre las aguas superficiales y subterráneas, estableciendo, en efecto, mercados independientes paralelos en sistemas hidrológicos físicamente interconectados.

Una modificación al Código de Aguas de 2005, pretende corregir algunas de las distorsiones mencionadas arriba al pedir que los solicitantes de nuevos derechos de aguas justifiquen la cantidad de agua solicitada en relación con el uso que se pretende hacer de ella. Además, establece cobro de tributo por no uso de los derechos de aguas para evitar la especulación (aunque en ocasiones estos cobros son bajos en comparación con los potenciales beneficios de la especulación); reconoce la relación entre aguas superficiales y subterráneas, y por primera vez establece el concepto de requisitos de flujo de corrientes. Desafortunadamente, el flujo de corrientes sólo aplica a derechos de aguas otorgados *después* de la modificación a la ley en 2005. Debido a que para 2005 casi todos los ríos en Chile ya estaban plenamente asignados, la mayoría de los ríos en el país no están asociados a los requisitos de estos flujos.

Otros cuerpos legales que aplican y complementan el Código de Aguas incluyen:

- **Código de pueblos indígenas:** establece subsidios para apoyar a las poblaciones o comunidades indígenas al comprar derechos de aguas, y reconoce los aprovechamientos ancestrales que estas comunidades le dan a los cuerpos de agua.

- **Código de saneamiento:** regula las actividades de los servicios de aguas, incluyendo las inversiones requeridas en infraestructura y fijación de tarifas.

- **Código ambiental:** establece el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental.

- **Ley de irrigación 18.450:** fija los préstamos y otras formas de financiamiento para aumentar la superficie irrigada y mejorar la eficiencia del aprovechamiento de agua para propósitos agrícolas.

Institucionalmente, los organismos con responsabilidades que pertenecen al sector hídrico incluyen:

- **Dirección General de Aguas (DGA):** con la misión de investigar y manejar los recursos hídricos. Otorga derechos de aguas, mantiene la red de vigilancia hidrometeorológica en el país, incluyendo niveles de aguas subterráneas, cargas de sedimentos y calidad del agua. La DGA también se encarga de aplicar el Código de Aguas en relación con la extracción del agua de corrientes y acuíferos, así como la aprobación de la construcción de proyectos de infraestructura de medianos a grandes.

- **Dirección de Obras Hidráulicas (DOH):** planea y ejecuta los proyectos asociados con la gestión del agua tales como los embalses para irrigación y redes de distribución, canalización de aguas pluviales, e infraestructura fluvial; también proporciona asistencia técnica para los sistemas de aguas rurales.

- **Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS):** este organismo se encarga de regular las operaciones de las

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

compañías de servicios de aguas; además vigila las descargas de aguas residuales industriales hacia los cuerpos de agua. Dentro de sus funciones, el componente regulador de servicios incluye la fijación de tarifas, la definición de las áreas de concesión, y la supervisión general de la operación de las compañías que otorgan servicios.

- **Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (Ministerio de Medio Ambiente, SEIA):** coordina y supervisa el proceso de evaluación de impacto ambiental.

4.4 El agua y las mujeres

Chile, como el resto de América Latina, ha estado trabajando por varios años en incluir un mayor enfoque de género en relación con la gestión del agua. En particular, el *acceso al agua para todos* es una meta que ha estado en la agenda gubernamental por más de 40 años al establecerse el Programa de Agua Potable Rural (APR). Este programa involucra sistemas pequeños de suministro y distribución que dan servicio a comunidades menores. Cada sistema es automanejado a modo de cooperativa con asistencia técnica de la DOH, un organismo gubernamental. Es en este campo donde las mujeres tienen la mayor oportunidad de convertirse en agentes relevantes de cambio y participantes activos en los asuntos del agua. A lo largo del país, la participación de las mujeres es de más del 80% en los aspectos administrativos de los sistemas de aguas rurales; su presencia en consejos ejecutivos baja a 34%, y sólo el 4% de los operadores de los sistemas son mujeres. Dentro del sistema APR, las mujeres han podido cambiar del paradigma de gestión enfocado únicamente en cubrir los costos de operación hacia uno centrado en la eficiencia, estableciendo cuotas que toman en cuenta los costos reales de operación y mantenimiento de los sistemas de distribución de agua potable rural.

El papel de la mujer en la ciencia y tecnología en Chile es limitada (Rebufel, 2009), pero su participación en el desarrollo de conocimiento para la gestión del agua es relevante. En este sentido, es importante promover asociaciones y sinergia entre profesionales de campos técnicos y sociales que trabajan sobre asuntos del agua. Las mujeres tienden a pensar de manera sustentable de tal forma que se preocupan del impacto sobre los recursos hídricos y el ambiente, minimizando los efectos de las actividades humanas. Como ejemplo de esto, está la iniciativa INEH (Iniciativa de Eficiencia Hídrica, ww.ineh.cl) de 2008 en la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas, que está formada principalmente por profesionistas mujeres quienes a través del trabajo en equipo han formulado propuestas para las políticas de recursos hídricos, así como tecnologías limpias y eficientes para el agua de uso doméstico (M. A. Alegría, comunicación personal).

4.5 Participación pública

El marco institucional para la gestión del agua en Chile, como se mencionó anteriormente, es uno en donde se espera que aquéllos que tienen derecho de operar los mercados del agua coloquen el recurso a los usos más eficientes de manera óptima. En el Código de Aguas se contempla la participación pública según las definiciones de las asociaciones de usuarios: una *asociación de usuarios de canal* que agrupa a todos los usuarios de un canal primario; una *junta de vigilancia* que agrupa a quienes poseen derechos de agua de la misma corriente; una *comunidad de aguas subterráneas*, que reúne a todos aquéllos con derechos de aguas en el mismo acuífero. En todos los casos, las personas que participan en estas asociaciones deben forzosamente poseer derechos de aguas. Sin embargo, cuando las cuestiones del agua se cruzan con asuntos ambientales o sociales, este modelo se vuelve inadecuado, ya que quienes tienen intereses en los problemas relacionados con el agua ambiental podrían no poseer derechos de aguas. Entonces, de acuerdo con las leyes chilenas, estos interesados no son participantes válidos en los debates que involucran la planeación y gestión del agua.

Por otra parte, el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) contempla una instancia de participación pública asociada con el proceso de evaluación de proyectos individuales. En este caso, en ciertos momentos durante el período de evaluación, se convoca a reuniones del ayuntamiento en las que el promotor del proyecto lo presenta a los interesados y los comentarios públicos se registran y organizan. Así, la participación pública para cuestiones del agua se da sólo si hay un proyecto específico que se esté evaluando ambientalmente, y en el caso de que este proyecto afecte de alguna manera los cuerpos de agua locales.

Otras instancias de participación pública incluyen los comités rurales de agua potable, en los que los habitantes de una localidad operan y manejan su propio sistema de distribución. Dentro de la planeación territorial, en la que se discuten públicamente los planes de uso de la tierra, los asuntos hídricos, como la construcción en áreas propensas a inundaciones, podrían proporcionar espacios adicionales para la discusión.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

5. Conclusiones

Este capítulo revisa algunas de las principales cuestiones y retos en relación al agua a los que se enfrenta Chile en cuanto a sus dimensiones humanas, ambientales y geográficas. El desarrollo del sector hídrico en Chile ha sido fuertemente influenciado por una transición decidida hacia las políticas económicas liberales, en donde la inversión privada tiene un papel preponderante y la participación del Estado se limita a la regulación y supervisión. El Código de Aguas de 1981 separó los derechos de aguas de la posesión de territorio y enfatizó el valor del agua como un bien económico. Aunque esta transformación agregó un dinamismo importante al sector productivo, y podría decirse que contribuyó al crecimiento económico que se presentó en Chile en las últimas décadas del siglo XX, también generó algunos problemas que el Estado Chileno ha tratado de corregir desde 1990. Estos problemas están relacionados principalmente con el funcionamiento de los mercados del agua en términos de la especulación, monopolio y falta de equidad en el acceso al agua de los grupos de población menos privilegiados. El valor ambiental del agua y los servicios que prestan los ecosistemas asociados a los sistemas acuáticos no se contemplaron en el código de aguas original, pero lentamente han ganado importancia en el análisis público y en la evaluación de proyectos de investigación, a través del sistema de evaluación de impacto ambiental. Ahora que han quedado firmemente establecidas las cuestiones relativas a la administración del agua y han sido aceptadas por los interesados, el sector hídrico debe esforzarse por equilibrar estos aspectos con la sustentabilidad ambiental y social.

El población chilena, en su mayoría, tiene un acceso adecuado a los servicios de agua (suministro y saneamiento). De nuevo, las políticas gubernamentales han favorecido la participación de compañías privadas en la posesión de los servicios de agua, mientras que el Estado ha mantenido un papel importante en la supervisión. Esto ha dado como resultado un aumento dramático en la cobertura de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales desde la década de los 1990. Las prácticas de saneamiento han prácticamente erradicado las enfermedades de origen hídrico, aunque sigue existiendo la preocupación por la presencia de elementos químicos que ocurren naturalmente en las fuentes de agua de la parte norte del país, como son el boro y el arsénico.

En cuanto al uso del agua como un bien económico intermedio, la situación varía según la industria: la agricultura por irrigación sigue siendo, por mucho el mayor usuario de agua en el país (en volumen), con niveles de eficiencia de aplicación del orden del 50% como promedio nacional. A pesar de que no existen cálculos de la importancia del "reciclaje involuntario" (es decir, el uso por parte de usuarios río abajo del exceso de agua de irrigación), a nivel de cuenca se puede suponer que la eficiencia global es un poco mayor. Por otra parte, la minería es la industria que extrae el mayor valor económico por unidad de volumen de agua y esto se ve reflejado, por mucho, en el costo de las transacciones por agua (voluntad de pagar) en este industria.

Al mismo tiempo, la mayoría de las actividades mineras en Chile se desarrollan en zonas áridas o semiáridas, de forma que el impacto de extracciones nuevas o bien del ahorro de agua puede ser elevado para las poblaciones y ecosistemas locales. Los problemas de la calidad del agua en cuanto a las actividades agrícolas, industriales y mineras se han reconocido por algún tiempo; sin embargo, estos problemas se han vuelto más visibles en los últimos años debido a casos de contaminación de alto perfil que han dado como resultado una mayor conciencia pública.

Chile tiene un marco institucional un tanto coherente y técnicamente competente para manejar los distintos aspectos del sector hídrico. Sin embargo, el nivel de actividad provocado por el sector privado con frecuencia desborda la capacidad de respuesta del gobierno en términos de gestión y vigilancia. El aumentar el número de funcionarios del gobierno encargados de hacer cumplir las regulaciones ambientales y del Código de Aguas es uno de los principales retos que debe enfrentar el sector hídrico chileno en los próximos años.

6. Reconocimientos

Los autores quisieran agradecer a Ernesto Brown por sus atentos comentarios sobre este documento. También agradecemos a Edward Cornwell por su valiosa ayuda en la preparación de algunas de la figuras presentadas.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

7. Referencias

1. Baladrón, F. "Estudio de la hidrodinámica del humedal Ciénagas del Name". Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, mención recursos y medio ambiente hídrico. Memoria para optar al título de ingeniero Civil. Universidad de Chile. (2011).
2. Bartosch, A. "Die Wasserversorgung in einer Metropolregion in Lateinamerika. Das Beispiel Santiago de Chile". Diploma thesis, Jena. (2007).
3. Bauer, C.J.. "Dams and Markets: Rivers and Electric Power in Chile". Natural Resources Journal, 49(3-4): 583-651. (2010)
4. Buschmann, A., and A. Fortt. "Efectos ambientales de la acuicultura intensiva y alternativas para un desarrollo sustentable". Revista Ambiente y Desarrollo 21, no. 3: 58-64. (2005)
5. Cabello, F. C. "Antibiotics and aquaculture in Chile: Implications for human and animal health". Rev. Med. Chile: 1001-1006. (2004)
6. Cenma. "Estudio para la implementación de medidas para el control de la contaminación hídrica: antecedentes de apoyo a la elaboración de la norma secundaria de calidad ambiental para la protección de las aguas del lago Llanquihue". Realizado para el Gobierno de Chile, Comisión Nacional del Medio Ambiente, X Región. (2006)
7. CEPAL. "La economía del cambio climático en Chile. Síntesis". United Nations Publication. (2009)
8. CRH, Centro de Recursos Hidráulicos, Universidad de Chile. "Crecidas súbitas y corrientes de detritos ocurridos el 18 de Junio de 1991 en Antofagasta", Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. (1993)
9. de la Fuente, A., and Niño, Y. "Temporal and spatial features in the thermo-hydrodynamics of a shallow salty lagoon in northern Chile". Limnol. Oceanogr. 55: 279-288. (2010)
10. DOH–MOP. "Infraestructura Hidráulica del Chile 2020". Publicación Ministerio de Obras Públicas. (2010)
11. Falkenmark, M. "The massive water scarcity now threatening Africa–why isn't it being addressed?" Ambio 18:112-118. (1989)
12. FAO. "Visión general del sector acuícola nacional. Chile". National Aquaculture Sector Overview Fact Sheets. Texto de Norambuena, R. & González, L. In: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO [en línea]. Roma. (2005) http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_chile/es
13. Ferreccio C., Gonzalez C., Milosavjlevic V., Marshall G., Sancha A., Smith A. "Luna cancer and arsenic concentrations in drinking water in Chile". Epidemiology 11:673-679. (2000)
14. Ferreccio C., Sancha A. "Arsenic exposure and its impact on health in Chile". J. Health Popul Nutr 24(2): 164-175. (2006)
15. Gaete, H., E. B. Schmith, and A. Riveros. "Toxicidad crónica de las aguas receptoras de efluentes de industrias de celulosa sobre larvas de chironomus piger". Rev. Int. Contam. Ambient 21, Nº 2, pp. 83-89. (2005).
16. Golder Associates S.A. "Informe sobre vulnerabilidades ante riesgo de aluviones en el sector Adit 71". Codelco Chile, División El Teniente. (2001)
17. Hauser, A. "Remociones en masa en Chile". Subdirección Nacional de Geología. Boletín Nº 59. SERNAGEOMIN, Chile. (2000)
18. Hauser, A. "Los flujos aluvionales en Chile: causas, efectos y medidas de mitigación". Servicio Nacional de Geología y Minería. Subdirección Nacional de Geología. (2004)
19. Hiscock, K. M., M. O. Rivett and R. M. Davison. "Sustainable groundwater development". Geological Society, London, Special Publications 2002; vol. 193; pp. 1-14, doi: 10.1144/GSL.SP.2002.193.01.01. (2002)
20. Houston, J. "Variability of precipitation in the Atacama Desert: its causes and hydrological impact". International Journal of Climatology 26(15): 2181-2198. (2006)
21. INE. "Población y sociedad, aspectos demográficos". Instituto Nacional de Estadísticas. ISBN: 978-956-7952-74-8. (2008)
22. Latin Focus. "Gross Domestic Product, by Sector. Chile 2000-2008". (2009) http://www.latin-focus.com/latinfocus/countries/chile/chlgdpsector.htm
23. Meruane, C. "El efecto del Viento Puelche en la hidrodinámica del lago Villarrica". Memoria para optar al título de Ingeniera Civil, Universidad de Chile. (2005)
24. MOP, Ministerio de Obras Públicas. "Obras públicas. una mirada de diez años". Unidad de Comunicaciones, Dirección de Arquitectura MOP. (2009)
25. Muñoz, A. Desarrollo Cronológico del Conflicto Ambiental en los Humedales del Río Cruces, primer Sitio RAMSAR de Chile. Centro de Estudios Agrarios y Ambientales, Valdivia. (2005). http://www.ceachile.cl/Cruces/PDF/38.%20Cronologia%203.pdf

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

26. Palma, R., G. Jiménez and I. Alarcón. "Las energías renovables no convencionales en el mercado eléctrico chileno". Published by Comisión Nacional de Energía (CNE) and Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). (2009)
27. Parkinson, J. and O. Mark. "Urban stormwater management in developing countries". IWA publishing. (2005)
28. Peña, H., M. Luraschi and S. Valenzuela. "Agua, desarrollo y políticas públicas: la experiencia de Chile". REGA, Vol. 1, N° 2. pp. 25-50. (2004)
29. Perez J. y Vargas X. "Impacto del cambio climático en las crecidas de la quebrada San Ramón. Análisis de variables meteorológicas". Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica, XIX Congreso Chileno de Hidráulica. (2009)
30. Rebufel, V. "Chile: participación de la mujer en los fondos públicos de financiamiento en investigación científica y tecnológica y algunas propuestas de intervención". Editorial: FLACSO. ISBN: 978-956-205-239-9. (abril de 2009)
31. Rozas, C. "Análisis modal para el estudio de resonancia de ondas internas excitadas por el viento en el lago Villarrica". Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, mención recursos y medio ambiente hídrico. Memoria para optar al título de ingeniero Civil. Universidad de Chile. (2011)
32. Sancha, A. M. and R. O´Ryan. "Managing hazardous pollutants in Chile: Arsenic Reviews of Environmental Contamination and Toxicology". Springer Ed. D. Whitacre. Vol. 196, pp.123-144. (2008)
33. Salazar, C. and Soto, M. "Caracterización y monitoreo de sistemas lacustres en Chile". Dirección General de Aguas. (2006) http://www.aprchile.cl/Investigaciones/caracterizacion-y-monitoreo-de-sistemas-lacustres-en-chile.html
34. Silva, C. "Aplicabilidad de funciones de transferencia para proyección de efectos de cambio climático sobre caudales en la cuenca alta del río Loa". Memoria para optar al título de Ingeniera Civil. Escuela de Ingeniería, Universidad de Chile. (2010)
35. Vila, Irma, Marco A. Mendez, Sergio Scott, Pamela M. Morales, and Elie Poulin. "Threatened fishes of the world: Orestias ascotanensis Parenti, 1984 (Cyprinodontidae)". Environmental Biology of Fishes 80, no. 4: 491-492. (November, 2006)
36. Woelfl, S. "Consideraciones acerca de la eficiencia de normas secundarias para la protección de lagos de Chile". VII Congreso de la Sociedad Chilena de Limnología. Villarrica, Chile. (2010)

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Bosque Andino en el Santuario de Fauna y Flora de Iguaque, departamento de Boyacá, Colombia
http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Bosque_Andino_Iguaque.JPG

Una visión al estado del recurso hídrico en Colombia

Mtra. Claudia Patricia Campuzano[1], Dr. Gabriel Roldán Pérez[2], Ing. Ernesto Guhl Nanneti[3], José Manuel Sandoval Pedroza[4]

[1] Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia.
[2] Universidad Católica de Oriente, Rionegro.
[3] Director de Instituto Quinaxi.
[4] Asesor Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

USO RESTRINGIDO
FINES CONSULTIVOS

Palabras clave: disponibilidad, oferta, demanda, calidad del agua, uso del agua, salud, agua potable, saneamiento básico, gobernanza, normatividad.

1. Introducción

Hasta 1990 Colombia ocupaba el cuarto lugar en el mundo después de la Unión Soviética, Canadá y Brasil en mayor volumen de agua por unidad de superficie. El rendimiento hídrico promedio del país, según los expertos, era de 60 litros por kilómetro cuadrado, lo que era seis veces mayor que el rendimiento promedio mundial y tres veces el de Suramérica. Actualmente el panorama es totalmente diferente. El volumen de agua ha disminuido y su calidad también ha hecho que la disponibilidad de agua en el país sea inferior, esto debido a la tala indiscriminada de bosques, situación que atañe directamente a los ecosistemas acuáticos y terrestres, de los cuales depende casi en su totalidad la vida de la tierra.

A pesar de que aún somos un país privilegiado en materia de recursos hídricos, existen millones de colombianos sin acceso a agua potable y saneamiento básico.

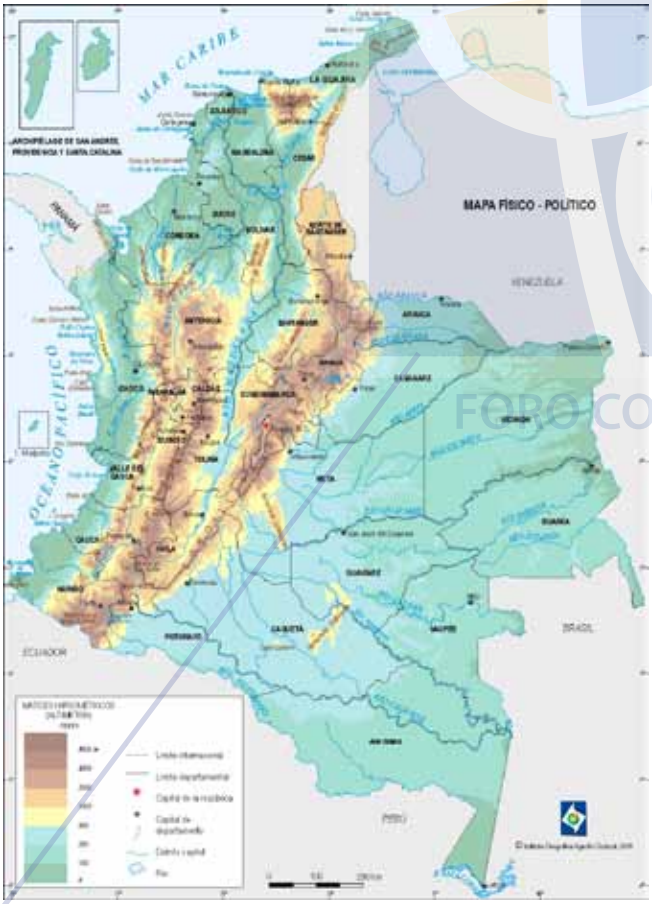
El presente documento busca simplemente dar un vistazo al estado actual de los recursos hídricos en nuestro país

como resultado de las extracciones, en la mayoría de las veces textuales, de las publicaciones de importantes entidades existentes en Colombia que trabajan en torno al recurso hídrico y en general al medio ambiente; entre ellas se encuentran el Ministerio de Ambiente, y Desarrollo Sostenible-MADS; el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM; Las Corporaciones Autónomas Regionales y las Autoridades Ambientales; la Contraloría General de la Nación, así como importantes entidades de generación de conocimiento como la Universidad Católica de Oriente, la Universidad del Valle, el Instituto Quinaxi y el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia.

2. El territorio colombiano

Colombia está ubicada en la esquina noroccidental de Suramérica, entre los 12° 30′ N y los 4° 13′ S de la línea ecuatorial. Se extiende en un área continental de 1.141.748 km² y 928.660 km² de plataforma continental y de mar territorial (Figura 1). Es el cuarto país de la región en extensión territorial después de Brasil, Argentina y Perú. Colombia, además, disfruta de un segmento importante de la órbita geoestacionaria, del espacio aéreo y del espacio electromagnético.

Figura 1. Mapa del territorio colombiano



Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC

Colombia es el único país de Suramérica con 1.600 km de costa en el Mar Caribe y 1.300 km en el Océano Pacífico. Debido a su ubicación geográfica en la zona ecuatorial y a sus complejas formas de relieve, posee una diversidad de climas y un mosaico de ecosistemas. Nuestro país posee uno de los ecosistemas más complejos y frágiles del mundo, el cual alberga el 10% de la fauna y la flora mundial.

El elemento topográfico más característico de Colombia es la cordillera de los Andes, situada en la parte central y occidental del país, y que se extiende de norte a sur a través de casi toda su longitud. Los Andes están conformados por tres cadenas montañosas principales paralelas entre sí: la cordillera Oriental, la cordillera Central y la cordillera Occidental. Sobre la costa del Caribe se encuentra una masa montañosa aislada conocida como la Sierra Nevada de Santa Marta, donde el punto más alto (el pico Simón Bolívar) alcanza los 5.775 m. Dentro de la cordillera Central se encuentran los picos volcánicos de Huila (5.750 m) y Tolima (5.215 m). Cerca de 240 km al sur del mar Caribe, la cordillera Central desciende hasta zonas cenagosas y reductos de bosque húmedo tropical. Los picos de la cordillera están permanentemente cubiertos de nieve; el nivel de la vegetación en estas montañas se extiende hasta los 3.050 m de altitud.

Al este de la cordillera Oriental se encuentran vastas extensiones de tierras bajas tórridas, escasamente pobladas y sólo parcialmente exploradas. La porción meridional de esta región está cubierta por selvas de vegetación espesa y es drenada por el río Caquetá y otros tributarios del río Amazonas. La parte norte de la región, que es la más grande, está formada por enormes planicies conocidas como Los Llanos Orientales y es atravesada por el Meta y otros tributarios del río Orinoco. Entre las cordilleras se encuentran altiplanicies, en su mayoría a más de 2.438 m de altitud, y fértiles valles drenados por los principales ríos del país.

El río Magdalena es el más importante de Colombia, fluye hacia el norte entre las cordilleras Oriental y Central, cruzando prácticamente todo el país, y desemboca en el mar Caribe cerca de la ciudad de Barranquilla después de un curso de aproximadamente 1.538 kms. El río Cauca también es un importante curso fluvial y medio de comuni-

FUERA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

cación; tiene una longitud de 1.350 km y fluye hacia el norte entre las cordilleras Central y Occidental y se une con el Magdalena unos 320 km antes de llegar al mar Caribe. En el oeste, el río Patía corre a través de los Andes para desembocar en el Pacífico. Son numerosas las desembocaduras de ríos a lo largo de las costas, pero no existen buenos puertos naturales.

Teniendo en cuenta lo anterior, las cinco regiones geográficas de Colombia (Figura 2) son:

- La región Andina, en el occidente, donde se concentra la mayoría de la población colombiana. Conformada por tres cordilleras (Andes) que recorren al país de sur a norte.
- La región del Caribe, en el norte, caracterizada por climas cálidos, costa, playas. Zona agrícola y turística en la parte costera.
- La región Pacífica, en el occidente a lo largo de la costa pacífica, cubierta por bosques tropicales y vegetación exuberante, con climas cálidos y húmedos.
- La región de los Llanos Orientales, en la parte suroriental, consiste en vastas extensiones de tierras onduladas y planas. Es rica en agricultura y ganadería, así como en yacimientos de petróleo.
- La región Amazónica, en el suroeste del país, cubierta de inmensas selvas tropicales.

Colombia posee una población de 44.935.461 habitantes y está dividida político-administrativamente en 32 Departamentos y 1051 Municipios. Los centros urbanos más importantes son: Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena, Santa Marta, Bucaramanga, Cúcuta, Pereira, Manizales. El 70% de la población vive en dichos centros urbanos.

3. Generalidades sobre el recurso hídrico en Colombia

La ubicación geográfica, la variada topografía y el régimen climático que caracterizan el territorio colombiano han determinado que éste posea una de las mayores ofertas hídricas del planeta; sin embargo, esta oferta no está distribuida homogéneamente en todo el territorio, y está sometida a fuertes variaciones que determinan la disponibilidad en el recurso hídrico.

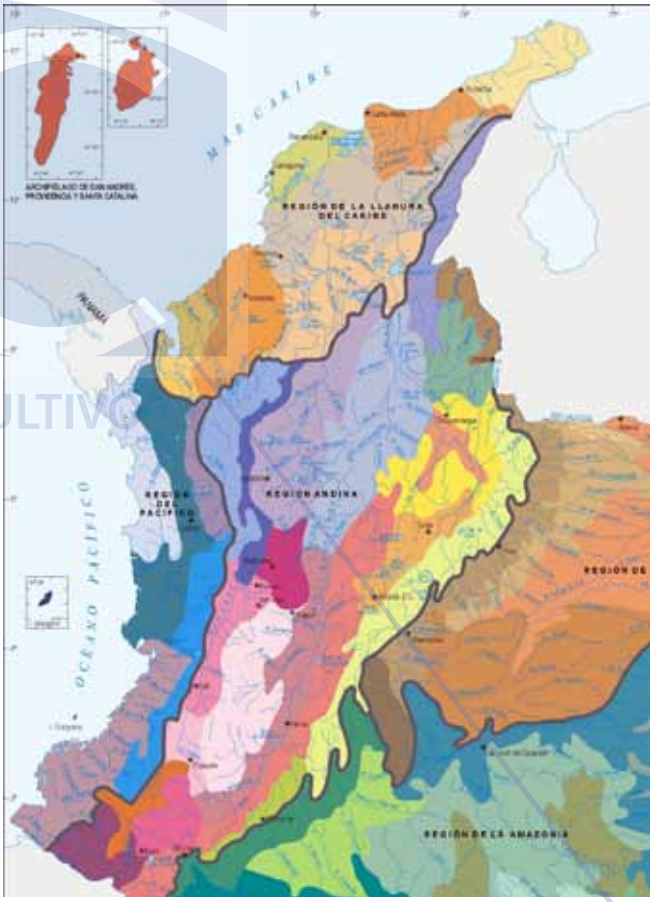
La riqueza hídrica del país se manifiesta en su extensa red fluvial superficial que cubre al país en unas condiciones favorables de almacenamiento de aguas subterráneas, la existencia de cuerpos de agua lénticos y la presencia de enormes extensiones de humedales.

La presencia de altas montañas, abundantes precipitaciones, extensas sabanas y selvas húmedas, junto con su ubicación estratégica, caracterizan el territorio nacional y determinan la existencia de ecosistemas con un potencial hídrico valioso y sistemas complejos de regulación.

Sin embargo, este potencial hídrico se restringe en su aprovechamiento por una serie de factores antrópicos que generan efectos sobre el ciclo hidrológico y en particular en la calidad del agua. También lo afecta la forma de aprovechamiento que se caracteriza por el uso inadecuado y poco eficiente.

Para realizar un análisis del recurso hídrico en Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ha avanzado en la definición de una Política Nacional para la Gestión

Figura 2. Regiones geográficas de Colombia



Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 3. Zonificación hidrográfica de Colombia

Fuente: IDEAM, Estudio Nacional de Aguas, 2010.

Figura 4. Zonificación hidrogeológica de Colombia

Fuente: IDEAM, Estudio Nacional de Aguas, 2010.

Integrada del Recurso Hídrico, la cual reconoce a la cuenca hidrográfica como la unidad de planificación del territorio colombiano, para lo cual se realizó una zonificación hidrográfica que consta de tres niveles: el primer nivel corresponde a cinco grandes áreas hidrográficas, como la presentada en la Figura 3; el segundo nivel a 41 zonas hidrográficas, y el tercer nivel a 309 subzonas hidrográficas.

Los indicadores hídricos se analizan para las zonas y subzonas hidrológicas; para el caso de las aguas subterráneas, el análisis se realiza para las zonas hidrogeológicas, en las cuales también fue dividido el país, tal como se muestra en la Figura 4.

ACCESO RESTRINGIDO

4. Balance hídrico

Según el IDEAM (2008), a finales del siglo XX Colombia ocupaba el cuarto lugar en el mundo por disponibilidad per cápita de agua, mientras que de acuerdo con el informe de la ONU sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo "agua para todos-agua para la vida", Colombia ocupa el puesto 24 entre 203 países; este lugar aún hace figurar a Colombia como potencia hídrica mundial, muy a pesar de los problemas actuales relacionados con el desabastecimiento de agua y la afectación de fuentes hídricas naturales. Esta situación se refleja en las siguientes cifras:

- Colombia cuenta con al menos 737.000 cuerpos de agua entre ríos, quebradas, caños y lagunas (HIMAT, 1994).
- En el territorio colombiano en promedio cada año caen 3.400 km^3 de agua, se evaporan 1.100 km^3 y escurren 2.300 km^3; si se supone que un país es capaz de retener en sus dispositivos de abastecimiento el 40% de esta oferta, en efectivo Colombia contaría con 1.150 km^3/año de la oferta hídrica total superficial.
- La capacidad de los sistemas de abastecimiento y suministro de agua en nuestro país aún no alcanzan ese porcentaje con respecto a la oferta de agua.
- La oferta de agua más frecuente (oferta modal) para el territorio colombiano alcanza la cifra de 1.910 km^3/año, mientras que en eventos extremos (oferta en año seco) no supera los 1.240 km^3/año.

FORO CONSULTIVO

El balance hídrico general que permite conocer en forma global el potencial hídrico del país fue construido en escala 1:1.500.000, teniendo como base las regiones hidroclimáticas del país, dando como resultado el mapa de índice de aridez presentado en la Figura 5.

Según los estimativos del IDEAM en el Estudio Nacional del Agua (2008), la oferta hídrica en el país supera los 2.000 km3/año, y corresponde, en promedio, a 57.000 m3 anuales por habitante (m3/año/hab.). Así mismo, se estima que si se incorporan reducciones tanto por alteración de la calidad del agua como por regulación natural, se alcanza apenas una disponibilidad promedio de 34.000 m3/año/hab. Para las condiciones de año seco, este valor se reduce a un promedio de 26.700 m3/año/hab. Sin embargo, la distribución heterogénea del recurso, de la población y de las actividades económicas del país, hacen que el indicador promedio sea engañoso o menos favorable.

Adicionalmente, según las estimaciones realizadas por el IDEAM (2008), en el período comprendido entre los años 1985 y 2006 la disponibilidad per cápita de agua se redujo de 60.000 m3/año/hab. a 40.000 m3/año/hab., disminuyendo con una tasa aproximada de 1.000 m3/año.

El estudio del IDEAM (2008) permite confirmar, que pese a la situación relativamente favorable de oferta y disponibilidad hídrica del país, Colombia se caracteriza por una alta variabilidad espacial y temporal en la distribución de su recurso hídrico; adicionalmente, las condiciones de cobertura vegetal, suelos, usos del suelo y características geológicas e hidrológicas de las cuencas colombianas son muy variadas y por ello el país cuenta con cuencas hidrográficas de diferente capacidad de regulación.

Esto hace que existan zonas del país con gran abundancia de escorrentía como es el caso de la región pacífica en el área de influencia de los ríos Dagua, Baudó, San Juan, Micay y Atrato, mientras que existen otras zonas del país altamente deficitarias en escorrentía como el caso de la alta y baja Guajira, San Andrés y Providencia, la cuenca del río Cesar y la Sabana de Bogotá, como se muestra en la Figura 6.

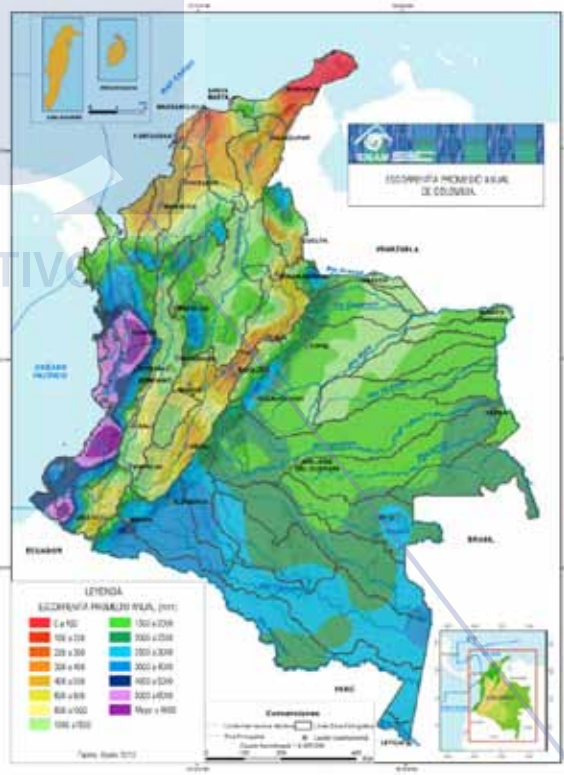
En condiciones climáticas secas, la reducción de oferta de agua promedio oscila entre 50% y 65% (IDEAM, 2010).

Esta variabilidad en la oferta de agua hace que se presenten señales serias de preocupación, e incluso de alarma, en algunos municipios y áreas urbanas, ya que no existe suficiente ordenamiento para el uso de los recursos hídricos. Los aprovechamientos del recurso para los acueductos urbanos, que se abastecen en general (más del 80%) de ríos pequeños, quebradas y arroyos, no cuentan en su mayoría con programas de protección de cuencas, sistemas de regulación y almacenamiento, transporte y tratamiento, ni con previsiones económicas para realizarlas.

Figura 5. Mapa de índice de aridez en las regiones de Colombia

Fuente: IDEAM, 2010

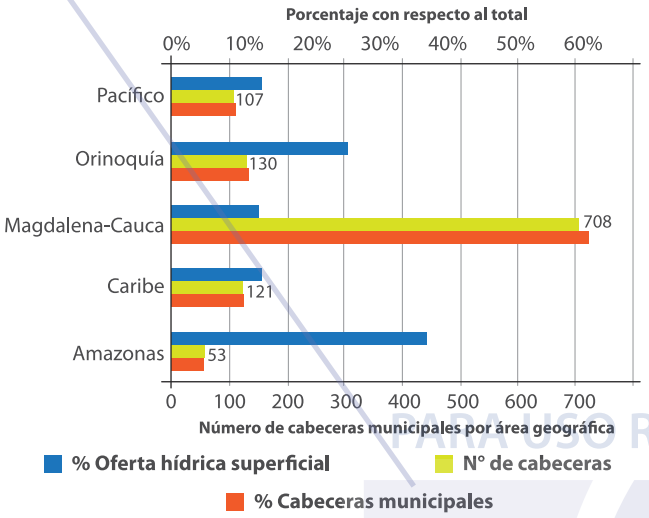
Figura 6. Escorrentía promedio anual de Colombia



Fuente: IDEAM, 2010

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 7. Distribución de cabeceras municipales y su relación con la oferta media por área hidrográfica



Fuente: IDEAM, 2010

La Figura 7 muestra la relación inversa que existe entre la oferta media de agua y la distribución de las cabeceras municipales en cada una de las regiones de Colombia.

5. Embalses y humedales

En Colombia existen cerca de 1.600 cuerpos de agua, entre lagunas, lagos y embalses, los cuales cuentan con importantes reservas de agua utilizable, con un volumen total utilizable de 26.300 millones de m^3.

De acuerdo a las cinco grandes regiones naturales del país (Caribe, Pacífica, Andina, Orinoquía y Amazonía), la región Caribe es de gran importancia por la presencia del 71% de humedales de carácter permanente o semipermanente, destacándose en orden de importancia el Complejo de la Depresión Momposina, el del Magdalena Medio y el del Río Atrato.

La mayoría de los embalses en Colombia se encuentran en la Cuenca del río Magdalena, región Andina, en la cual está asentada el 79% de la población del país y es el eje de mayor desarrollo productivo (Figura 8). Como consecuencia de ello se encuentran profundamente modificados, bien sea por procesos acelerados de colmatación y eutrofización por la llegada de materiales alóctonos provenientes de la cuenca o por materiales autóctonos provenientes del metabolismo interno del embalse (Valderrama, 1985). Hasta ahora, no hay embalses ni en la Sierra Nevada de Santa Marta, ni en la cuenca del Atrato, ni en la Amazonía y son muy escasos en la vertiente oriental de la cordillera Oriental (Márquez y Guillot, 1987).

Estudios limnológicos en embalses tropicales situados en países en desarrollo siguen siendo pocos. Colombia no es una excepción, pues sólo unos pocos embalses han sido parcialmente estudiados. Sólo en los últimos años se efectuaron estudios más o menos detallados acerca de los efectos ambientales de ciertos proyectos (Márquez y Guillot, 1987). Hasta 1987, el área embalsada del país era de 41.593 hectáreas; sin embargo, se esperaba que ésta se triplicaría hacia finales de la década de los años 90, hasta alcanzar un área aproximada de 125.111 hectáreas, pero por motivos sociales y económicos esta meta no se alcanzó (Valderrama, 1985).

Según Márquez y Guillot (1987), 16% de los embalses se encuentran en clima cálido (por debajo de los 1.000 msnm), 50% en clima templado (entre 1.000 y 2.000 msnm) y 34% en clima frío (por encima de los 2.000 msnm). Estos últimos tienen riesgos menores de eutrofización debido al tamaño de sus cuencas y al bajo número de habitantes en las mismas.

Problemas ambientales en los embalses:

Los problemas ambientales más graves detectados en los embalses colombianos están relacionados con corrosión, malezas acuáticas, mortalidad de peces, aguas residuales domésticas e industriales, contaminación por basuras y reducción de los caudales en las fuentes receptoras. El

Cuadro 1. Principales problemas que se presentan en los embalses colombianos

Problemas	Deterioro de la calidad del agua	Presencia de H2S	Corrosión y/o abrasión	Malezas acuáticas	Mortalidad de peces	Sedimentación	Contaminación por basuras	Aguas residuales	Disminución de caudal
Total de embalses con información	15	15	16	15	15	18	14	14	16
Número de embalses afectados	4	4	8	5	4	8	5	5	6
Porcentaje de embalses afectados	26.6	26.6	50	33.3	26.6	44.4	35.7	35.7	35.7

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

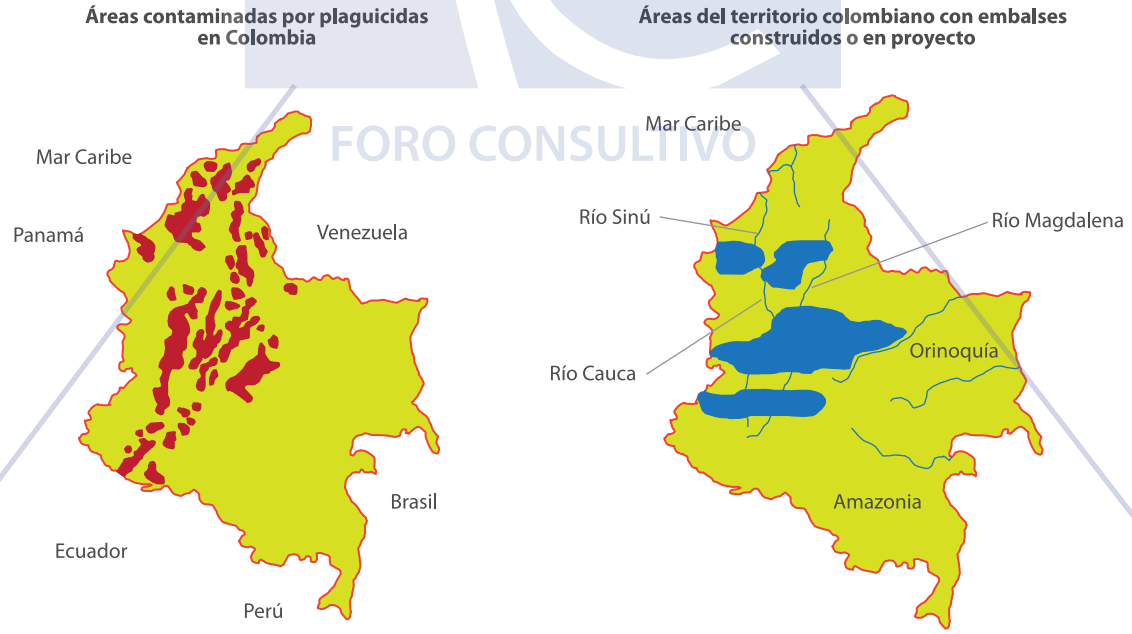
Cuadro 1 muestra en número y porcentaje la presencia de estos problemas en algunos de los principales embalses colombianos. El Cuadro 2 muestra el estado trófico de algunos de los embalses colombianos.

Corrosión. Se han reportado problemas de corrosión en los equipos de generación en varios embalses colombianos. En el embalse de El Peñol (Antioquia) tuvo que recurrirse a un sistema de aireación mecánica para mejorar la calidad química del agua a nivel de las torres de captación. El agua anóxica cargada de hierro disuelto (Fe++) y H2S estaba causando graves problemas de corrosión a nivel de la casa de máquinas, lo que obligó a la entidad responsable a tomar este tipo de medidas. Medina (1983) hace un amplio análisis de este problema. También se presentan fenómenos de abrasión en aguas cargadas de sedimentos, hecho muy frecuente en los embalses tropicales, debido a la erosión de las cuencas y las fuertes lluvias. El embalse de Prado (Tolima) está estraficado químicamente, con alta producción de ácido sulfhídrico en un ambiente to-

Cuadro 2. Valores de disco Secchi y estado trófico de algunos embalses colombianos

Embalse	Disco Secchi	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipertrófico
Betania (Magdalena)	1.02 - 2.89		x	x	
Betania (Yaguará)	1.02 - 2.89		x	x	
Calima	0.9 - 3.6		x		
La Esmeralda (Chivor)	0.09 - 1.3				
La Fe	1.02 - 2.89	x			
Muña	0.25 - 0.9			x	
Neusa	0.6 - 2.4	x			
Peñol (Guatapé)	0.9 - 2.5			x	
Prado	0.3 - 2.0				x
Punchina	0.8 - 3.0	x			
Sisga	0.4 - 1.3	x			
Tominé	0.25 - 0.45	x			

Figura 8. Áreas de mayor actividad antrópica y ubicación de los embalses



Fuente: Roldán, G. y E. Ruíz, 2001

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

talmente anóxico. Es tan grave el problema de corrosión causado que los túneles de conducción, recubiertos por un acero de alta resistencia, comenzaron a desmoronarse por efecto del metabolismo del ácido sulfhídrico y el hierro soluble por parte de las bacterias sulfurosas y ferruginosas.

Mortalidad de peces. Se han detectado muertes masivas de peces en embalses fuertemente eutrofizados, como es el caso de Prado (Tolima). Esta mortalidad se puede deber a la fuerte baja de oxígeno que se presenta durante la noche en este tipo de embalses eutróficos (Márquez y Guillot, 2001). También es frecuente encontrar una amplia gama de cianofíceas que podrían intoxicar los peces. Parece que lo más frecuente en la mortalidad se debe a la anoxia nocturna.

Problemas de sedimentación. Todos los embalses tienden a acumular sedimentos, pero la velocidad de colmatación depende de la cantidad de materiales sedimentables que llevan los ríos que lo alimentan, del estado de conservación de la cuenca que lo rodea y de la intensidad de las lluvias en la región. Debido al gran volumen de sedimentos que transportan los ríos en el trópico americano, los diseños de los embalses tropicales normalmente incluyen hasta un 40% de embalse muerto, o sea, una capacidad extra para garantizar una vida útil del embalse. En el trópico americano el arrastre de sedimentos se incrementa por las altas precipitaciones que erosionan los terrenos de fuertes pendientes, normalmente desprovistos de vegetación. El sedimento en los embalses también afecta la fisico-química del agua, y especialmente la penetración de la luz, disminuyendo la zona eufótica y, por lo tanto, la capacidad fotosintética del embalse. También, cierto tipo de sedimentos atrapa los ortofosfatos disminuyendo de esta manera la productividad del embalse.

Los costos de construcción de un embalse son muy altos, por lo que su planeación en cuanto a los estimativos de sedimentos potenciales que pueden llegarle son fundamentales. El embalse de Anchicayá (Valle), previsto para una vida útil de 50 años, se colmató en 10 años, por lo que se menciona como un caso de tecnología descuidada (Allen 1972). El embalse de Betania es otro ejemplo de colmatación temprana; se calcula ya en siete años menos de vida útil, lo que significa sacrificar US 40 millones de dólares de ganancias por año, más los perjuicios sociales y económicos a la región (Márquez y Guillot 2001). Roldán *et al.* (2000) discuten el problema de sedimentos en el embalse de El Guavio (Cundinamarca). Plantean que para reducir los sedimentos en la casa de máquinas y en los túneles de conducción, se podría optar por subir la bocatoma; pero realizar esta operación, por ejemplo, de 1.490 a 1.520 msnm, significaría una reducción de cerca del 1.0% en beneficio del proyecto; y si se subiera hasta la cota 1.540 msnm, la pérdida sería de cerca del 4.0%. El aporte de sedimentos trae consigo, además, aumento de turbiedad que limita la penetración de la luz y, por lo tanto, la actividad fotosintética.

Aguas residuales domésticas e industriales. Es éste quizás el problema más grave en la mayoría de los embalses colombianos. Sólo una mínima parte de los municipios tiene tratamiento de las aguas residuales domésticas, por lo que éstas se vierten directamente a los ríos y quebradas, depositándose finalmente en los embalses. Ésta es, por lo tanto, la principal fuente de eutrofización por el alto aporte de nutrientes (fósforo y nitrógeno principalmente). Es frecuente también el vertimiento de aguas residuales industriales, las que además contienen metales pesados y sustancias tóxicas. Se ha observado cómo un cinturón de macrofitas (*Eichhornia crassipes*) acuáticas en la cola del embalse, sirve como filtro efectivo para remover buena parte de la contaminación y los sedimentos aportados por las corrientes alimentadoras del embalse. El embalse de La Fe (Antioquia), cuya función principal es la de proveer agua potable para la ciudad de Medellín, recibía hasta la década de los 80 las aguas residuales del vecino municipio de El Retiro. El problema de eutrofización era tan crítico que debió construirse una planta de tratamiento de lodos activados, después de la cual el embalse comenzó a mostrar signos de recuperación muy significativos. Los embalses más afectados con este problema son los de Guatapé, Porce II, La Fe, Río Grande (Antioquia) y Tominé (Cundinamarca).

Disminución del caudal. Este aspecto aún ha sido poco estudiado en Colombia. Trujillo (1995), Hoyos (2002) y Cano (2004) realizaron estudios sobre los criterios y metodologías para la determinación de un caudal ecológico. Consideran que se requiere conservar un caudal mínimo para no afectar la estructura y composición de las comunidades acuáticas, preservar los procesos del metabolismo del ecosistema y la hidrología aguas abajo del embalse. La mayoría de los proyectos en Colombia no han tenido en cuenta este aspecto y es frecuente encontrar los cauces secos varios cientos de metros aguas abajo de la presa. Igualmente dicho cauce adquiere un color café pardo debido a las aguas turbinadas cargadas de hierro soluble, el cual se precipita sobre el sustrato una vez que se pone en contacto con el oxígeno del aire. Este hecho está asociado a los fondos anóxicos que poseen la mayor parte de los embalses en Colombia. También es muy frecuente que los cauces reduzcan su caudal o permanezcan secos la mayor parte del año, por el desvío de agua para la construcción de pequeños acueductos municipales y veredales.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

6. Otros recursos (zonas inundables, pantanos, glaciares, páramos)

En cuanto a las zonas inundables, las características de la red de drenaje superficial que cubre el territorio nacional, determinan que en las cuencas bajas de los ríos, las zonas adyacentes a los cauces naturales son susceptibles de ser inundadas periódicamente por los ríos de origen aluvial, generalmente anchos y con un caudal de estiaje permanente, cuyas crecientes son inicialmente lentas y de larga duración.

En términos generales el área susceptible de inundación en Colombia supera los 102.000 km^2; de esta área, la cuenca de los ríos Magdalena-Cauca representa menos del 25% del total, pero tiene una importancia especial porque allí se concentra el mayor componente poblacional del territorio nacional.

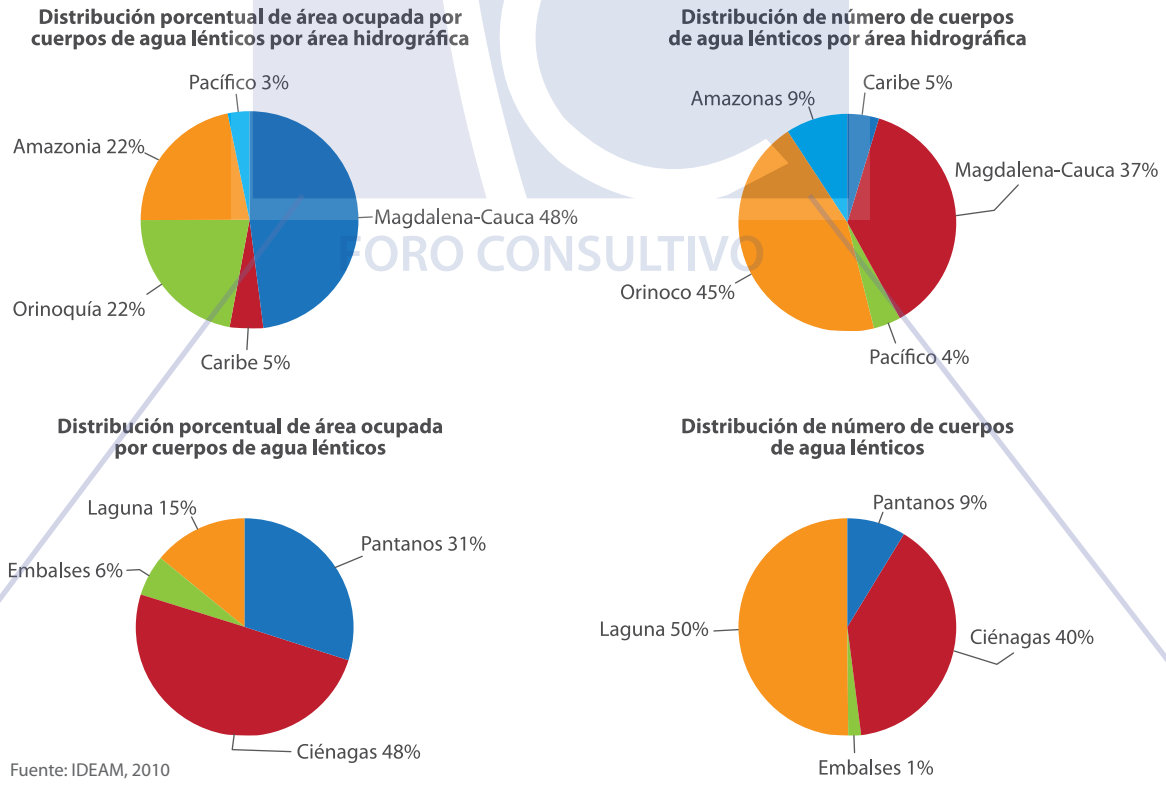
La superficie total de los pantanos en Colombia es de aproximadamente 200 km^2, y representa cerca de 2% del área continental de Colombia; se distribuye geográficamente, concentrándose en los departamentos de Amazonas, Guainía y Guaviare, con un porcentaje equivalente al 60%.Aunque no ha sido posible establecer el volumen real de agua almacenada en las zonas pantanosas, se puede estimar considerando el espesor medio de 0.2 m (interfaz suelo-agua). Si se acepta la hipótesis anterior y que los pantanos contengan en promedio un 95% de agua, se puede estimar que el volumen total de agua en los pantanos colombianos es casi 11.500 millones de m^3.

En Colombia se ha identificado un área cubierta por cuerpos de agua lénticos de aproximadamente 832 hectáreas. La distribución porcentual se describe en la Figura 9.

A partir de los registros históricos, con información sobre niveles extremos en las diferentes estaciones hidrológicas, se evalúa la recurrencia con que estos eventos se presentan. En el Cuadro 3 se presentan los niveles máximos para diferentes períodos de retorno.

En total, entre ciénagas y otros cuerpos de agua similares existen 5.622.750 hectáreas, las cuales se encuentran principalmente en los departamentos de Bolívar y Magdalena. Las lagunas representan cerca de 22.950 hectáreas y las sabanas inundables cubren una superficie total aproxima-

Figura 9. Distribución de cuerpos de agua lénticos en Colombia



Fuente: IDEAM, 2010

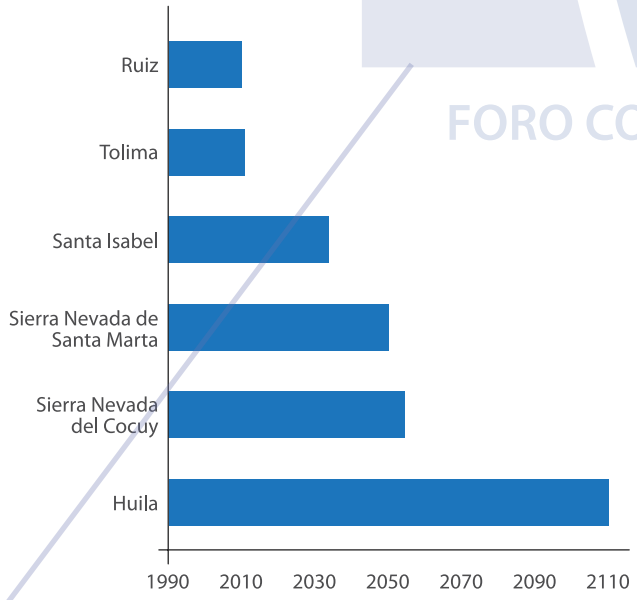
PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 3. Niveles máximos para diferentes períodos de retorno

Estación	Niveles máximos (cm)					
	2	5	10	20	50	100
Magdalena						
Pte. Santander	514	586	626	662	703	731
Purificación	701	748	775	799	827	846
Nariño	670	745	793	837	894	936
Pto. Salgar	516	552	582	617	670	718
Pto. Berrío	541	569	585	599	615	626
El Banco	839	887	908	922	937	946
Cauca						
La Balsa	334	393	429	462	502	531
Juanchito	536	610	651	685	725	752
Mediacanoa	574	616	635	649	664	673
La Victoria	670	751	796	834	878	908
Bolombolo	514	589	631	667	708	736
Pto. Valdivia	481	561	616	670	744	802
La Coquera	380	442	481	516	560	592
Las Varas	542	577	596	611	629	640
Sinú						
La Despensa	481	516	537	554	575	590
Mocarí	1460	1530	1590	1660	1760	1840
Montería	541	582	606	627	652	670

Fuente: IDEAM, 2008

Figura 10. Estimación de la desaparición de los glaciales colombianos



Fuente: Estudio de Alta Montaña Colombiana, Convenio IDEAM – UNAL 1997

da de 9.255.475 hectáreas, ubicadas en los departamentos del Amazonas, Guainia y Guaviare. Los bosques inundables representan aproximadamente 5.351.325 hectáreas y se localizan en la Orinoquía, Amazonía, Bajo Magdalena y en menos medida en la zona pacífica.

En términos de glaciares, en Colombia existen actualmente seis glaciares o nevados: a) Sierra Nevada de Santa Marta (5.775 m); en la cordillera central se localizan: b) Volcán nevado del Ruiz (5.400 m); c) Volcán nevado Santa Isabel (5.110 m); d) Volcán nevado del Tolima (5.280 m); e) Volcán nevado del Huila (5665 m); y f) Sierra Nevada el Cocuy (5.490 m) en la cordillera oriental.

Para 1997 ya habían desaparecido ocho pequeños nevados, y según estudios del IDEAM y la Universidad Nacional de Colombia en 1997, se ha calculado la "posible desaparición de los glaciares colombianos" tal como se presentan en la Figura 10 y donde se expresa aproximadamente el plazo de su existencia, calculado con base en las huellas dejadas por el hielo al final del Neoglacial (1850), fotografías aéreas de varias décadas y con datos recientes de campo. De este análisis se concluye que los nevados del Ruiz y del Tolima serían los más próximos a desaparecer y el nevado del Huila el más longevo; esta información variaría si, por ejemplo, se diera una reactivación volcánica, la cual aceleraría la deglaciación.

En cuanto a los páramos, según la información divulgada en el Primer Congreso Nacional de Páramos "Conservación con equidad" en 2009, Colombia posee el 49% de los páramos del planeta alcanzando una superficie de aproximadamente 1.932.987 hectáreas, ocupando el 1,7% de la extensión continental del país, aportando entre otros los servicios de abastecimiento del agua para el 70% de la población colombiana para consumo humano y el desarrollo regional. Situación que ratifica el carácter de este ecosistema como patrimonio natural de los colombianos y que cobra mayor significancia en función de las metas nacionales de los Objetivos del Milenio en lo relacionado a que se espera abastecer con agua potable a 7.7 millones de habitantes urbanos adicionales, y de su significado como derecho humano fundamental.

7. Aguas subterraneas

Según el IDEAM (ENA, 2000), los estudios hidrogeológicos en el país no abarcan más del 15% de todas las áreas con potencial de explotación de aguas subterráneas (414.375

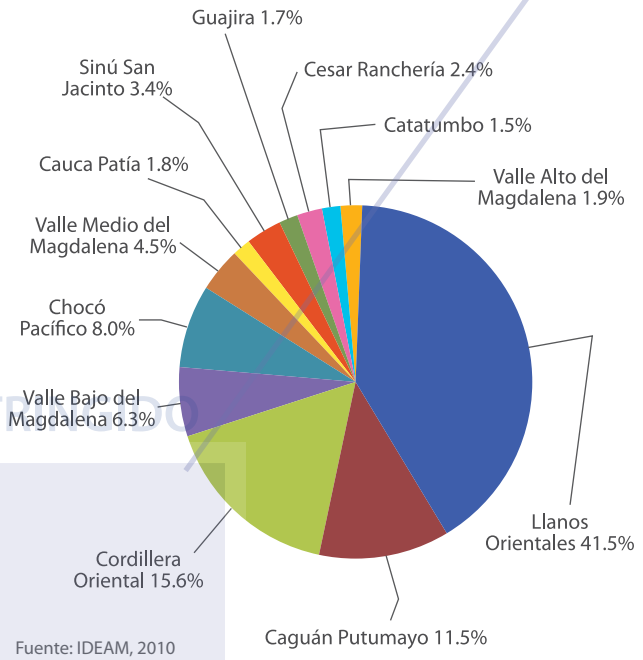
PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

km²), con unas reservas estimadas en 140.879 km³, equivalente a 70 veces el total de las aguas superficiales del país. La distribución de las reservas por provincias en Colombia, se presenta en la Figura 11.

El mismo estudio, menciona que en Colombia se extrae agua subterránea de depósitos recientes y unidades sedimentarias terciarias y cretácicas mediante pozos, con profundidades que varían entre 50 y 300 m; sin embargo, esta información es aproximada, pues en la actualidad no existe un inventario total integrado ni un monitoreo del seguimiento de las captaciones subterráneas.

El Instituto Colombiano de Geología y Minería-Ingeominas, ha elaborado el Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia (en proceso de oficialización), las cuales abarcan el 39% del territorio colombiano. La potencialidad de los acuíferos se clasifica según su productividad, clasificándose como acuíferos de productividad muy alta los que tienen caudales ≥ 50 l/s (Valle del Río Cauca, Valle del Río Cesar, La Luna) y de productividad muy baja los acuíferos que tienen caudales ≤10 l/s (Sabana), como se muestra en la Figura 12.

Figura 11. Distribución de las reservas de aguas subterráneas por provincias en Colombia



Fuente: IDEAM, 2010

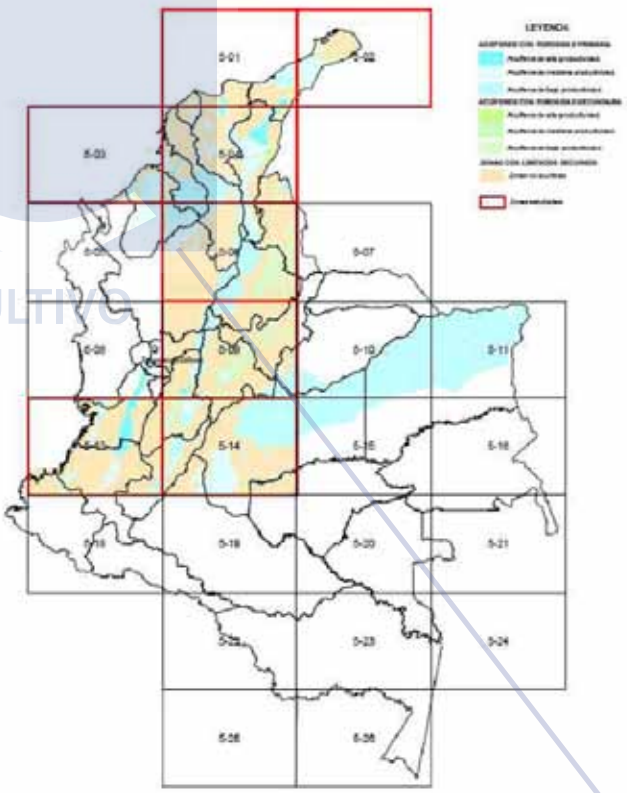
8. Las áreas marítimas colombianas

El 55% del territorio colombiano está representado por áreas marítimas ubicadas, la mayor parte, en el océano Pacífico y en el mar Caribe. La diferencia de altura en el nivel del mar es de 5 m en el océano Pacífico y de menos de 1 m en el mar Caribe. La fluctuación puede variar entre 1 y 15 m. Estas áreas, además de ser una riqueza material del país, son parte importante del patrimonio ambiental nacional.

El área marítima del Caribe corresponde, en Colombia, a una extensión de 65.800 km², cubriendo aproximadamente la quinta parte del territorio nacional; allí, la productividad del fitoplancton varía de acuerdo con las condiciones físicas, químicas y oceanográficas que predominan en determinada época del año. Esto quiere decir que durante el período de surgencia ocurre la mayor productividad, mientras que en su ausencia la producción disminuye.

El área marítima del océano Pacífico correspondiente a Colombia, tiene una extensión de 330.000 km² y en ella el proceso de surgencia eleva aguas de 100 m de profundidad; así mismo se presenta una capa de mezcla caracterizada por la turbulencia y la casi homogeneidad de la temperatura y la salinidad, y su profundidad llega hasta los 150 m. En este océano se presenta una productividad del fitoplancton

Figura 12. Clasificación de los acuíferos colombianos



Fuente: Ingeominas

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

mayor que en el mar Caribe, influenciada igualmente por las condiciones físicas, químicas y oceanográficas que predominan en determinada época del año.

En épocas recientes, el litoral Pacífico ha sido escenario de cambios ambientales asociados a procesos morfodinámicos como erosión, tsunamis, deslizamientos e inundaciones, procesos naturales que han afectado la población asentada, la infraestructura y los ecosistemas.

Las variaciones climáticas tales como el Fenómeno Cálido del Pacífico (El Niño) y el calentamiento global, han influido en la dinámica litoral, incrementando la tasa de erosión de las costas y playas; adicionalmente, la intervención antrópica hace sus estragos, como el caso dramático del delta del río Patía, el cual fue desviado por intereses económicos por medio de un canal de 1,5 m para comunicar el cauce medio del río con el estero Sanquianga y el litoral pacífico; esto no sólo generó impactos sobre los sistemas naturales y los asentamientos, sino que con el paso del tiempo ese canal se fue convirtiendo en su cauce principal con 300 m de ancho y desviando su desembocadura más de 80 km. En la Figura 13 se presenta una muestra de este problema.

El Fenómeno Cálido del Pacífico (El Niño) genera un incremento de las temperaturas del océano Pacífico de 2 a 3°C por encima de lo normal, lo que produce cambios considerables en la dinámica del mar, dando lugar a una emigración masiva de las especies y una inmigración de otras poco comunes en estas áreas marítimas. Este cambio no solo repercute en las especies planctónicas y bentónicas, como el camarón, sino también en las especies de peces y de otros animales con rutas largas de migración como las tortugas marinas y las ballenas.

En cuanto al fenómeno global de la elevación del nivel del mar, análisis realizados por el IDEAM, muestran una ligera tendencia al incremento del nivel del mar en Tumaco y Buenaventura en los últimos tres decenios. El incremento es del orden de 3 a 5 cm en los últimos 25 años, aumento que está acorde con las tendencias mundiales de incremento del nivel del mar, y aunque se trata de magnitudes pequeñas, debe ser manejado con precaución, dadas las características del litoral Pacífico colombiano.

Durante 1995-1999 en el Pacífico colombiano se desencadenaron fenómenos oceánicos asociados al Fenómeno Cálido del Pacífico (El Niño) y al fenómeno Frío del Pacífico (La Niña). Los eventos Cálido de 1994-1995 y Frío de 1995-1996, no fueron tan marcados como el Fenómeno de El Niño 1997-1998 que presentó las mayores anomalías de temperatura de la superficie del mar de los últimos 50 años (Figura 14). Este evento se sintió con mayor fuerza en Tumaco y Buenaventura, donde el nivel medio del mar presentó en ambos sitios anomalías positivas de 30 cm.

9. Usos del Agua

Según el Estudio Nacional de Agua (ENA) (2005), del IDEAM, el índice de disponibilidad per cápita de agua clasifica a Colombia ya no como una de las potencias hídricas del mundo, sino como el país número 24 en una lista de 182

Figura 13. Destrucción de las orillas del Río Patía por ensanchamiento del cauce

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 14. Inundaciones producidas por el Fenómeno de El Niño

PARA USO RESTRINGIDO

naciones. Cada colombiano dispone de 40.000 m³ de agua al año, pero de no adoptar medidas para su conservación, esta situación generaría a futuro una situación indeseable en el marco del desarrollo sostenible de Colombia, agudizando la problemática del agua en Colombia de tal forma que para el año 2020, cada colombiano dispondría de un volumen potencial de agua igual de 1.890 m³/año.

En los ENA del IDEAM (2005, 2008 y 2010) se presenta el panorama sobre la distribución del consumo de agua por sector en el país, según los cuales en el año 2004 el uso agrícola demandaba el 59% del agua del país, en el 2005 sube al 61% y posteriormente se reduce al 55%, como se observa en la Figura 15.

Según el ENA (2005), Colombia no cuenta con un sistema de información continua y sectorial de uso del agua ni ha contabilizado históricamente el agua consumida proveniente de fuentes superficiales, subterráneas y de los procesos de desalinización. Dichas mediciones permitirían evaluar la verdadera presión sobre el recurso que ejerce cada sector, haciendo énfasis en los volúmenes consumidos más que en los volúmenes captados.

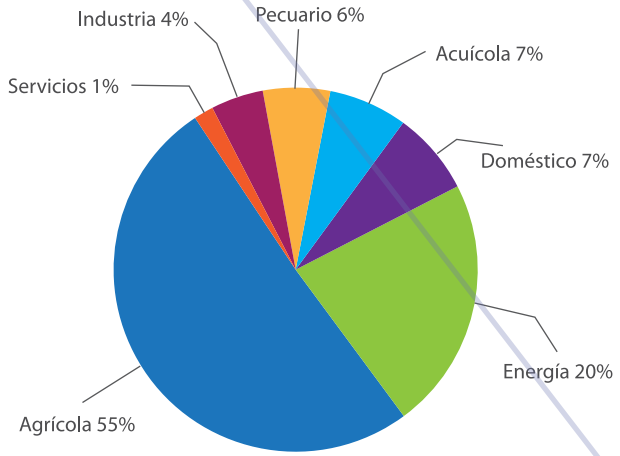
10. Calidad del agua

Con relación a la calidad del agua en el país, las fuentes principales de alteración son: aguas residuales domésticas, aguas residuales industriales, aguas residuales de producción agrícola y ganadera, aguas lluvias, aguas de transporte terrestre, fluvial y marítimo de sustancias peligrosas y de petróleo y sus derivados; obras de infraestructura, agua de lavado de los procesos de extracción minera, residuos sólidos dispuestos en rellenos sanitarios o directamente en cuerpos de agua. En la Figura 16 se presenta la distribución de los principales sectores aportes de carga contaminante a los ríos.

La densidad poblacional y la producción industrial se han establecido tradicionalmente en las áreas de influencia de las principales ciudades de Colombia, localizadas en la zona Andina, con la consecuente presión sobre los recursos de las cuencas de los ríos Magdalena y Cauca. Los afluentes de estos ríos son los que reciben la mayor carga de alterógenos de la calidad del agua.

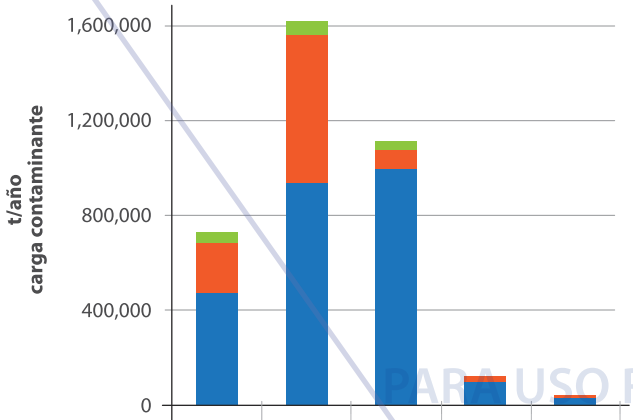
FORO CONSULTIVO

Figura 15. Participación sectorial en la demanda potencial de agua en Colombia



Fuente: IDEAM, ENA 2010

Figura 16. Cargas contaminantes vertidas a los sistemas hídricos por algunos sectores en 2008



	DBO	DQO	SST	NT	PT
Cafetero	41.253	53.926	33.290		
Industrial	213.273	625.906	84.714	19.868	2.209
Doméstico	474.857	938.372	996.825	96.852	27.152

Fuente: IDEAM. 2010

Según el estudio *Bases para la Formulación de un Plan Nacional de Aguas Residuales* (Universidad de los Andes-Ministerio de Medio Ambiente, 2002), un estimativo del caudal de aguas residuales generado por los centros urbanos identifica que en Colombia se están arrojando a los cuerpos de agua cerca de 67 m³/s, en donde Bogotá representa más del 15.3 %, Antioquia el 13 %, Valle del Cauca el 9.87% y los demás departamentos están por debajo del 5%. Esta proporcionalidad condiciona el grado de impacto sobre las corrientes hídricas, y marca una tendencia de impacto en las regiones.

Las áreas costeras presentan principalmente contaminación por desechos domésticos e industriales. La mayoría de las descargas domésticas son vertidas sin tratamiento previo a las aguas costeras o a los ríos, principalmente a los de la cuenca del río Magdalena, donde los ríos Cauca y Bogotá son los principales receptores de toda índole de contaminantes.

La industria nacional tiene su mayor peso ponderado en el sector alimenticio, que con sus efluentes líquidos con alto contenido de materia orgánica contribuyen, junto con la carga orgánica doméstica, a los procesos de alteración de la calidad del recurso hídrico, máxime si se considera que es muy bajo el porcentaje de industrias que aplican procesos de tratamiento a sus residuos antes de verterlos a las corrientes de agua.

La industria cementera modifica el recurso hídrico por el vertido de sólidos suspendidos, mientras que la industria petroquímica y carboquímica genera problemas al incorporar compuestos químicos complejos al recurso hídrico. Adicionalmente, el sistema de conducción de oleoductos y gasoductos es vulnerable, y los derrames de crudo modifican negativamente la calidad del agua y, por ende, la biota allí presente.

Cuadro 4. Inventario de cuencas hidrográficas en Colombia

Zonas	<10 km²	10 a 100 km²	100 a 1.000 km²	1.000 a 5.000 km²	5.000 a 10.000 km²	10.000 a 50.000 km²	50.000 a 100.000 km²	>100.000 km²
1. Pacífico y Atrato	91.500	3.900	153	26		4		
2. Bajo Magdalena Río Sinú	8.570	300	59	4				
3. Sierra Nevada de Santa Marta	19.100	170	47					
4. Baja y Alta Guajira	3.750	300	45					
5. Alto Magdalena	8.400	320	72	16	2			
6. Medio Magdalena	20.700	1.420	142	17	4	1		
7. Alto Cauca	7.321	370	51	4				
8. Medio Cauca	6.420	177	89	6	2			
9. Cabeceras ríos Meta y Arauca	11.605	216	25	4				
10. Catatumbo	11.420	284	27	5				
11. Sabanas, ríos Meta y Arauca	5.525	510	170	34				
12. Ríos Guaviare Vichada y Amazonas	520.000	18.900	430	33	16	10	2	3 (2)
Totales	**714.311**	**26.867**	**1.310**	**149**	**24**	**15**	**2 (1)**	**5 (3)**

Fuente: IDEAM, 2008

PARA USO RESTRINGIDO
FOLLO CONSULTIVO

El sector manufacturero incluye la industria química, que emite sustancias químicas resistentes a la biodegradación. La industria farmacéutica, de plástico y de productos de síntesis contribuye a la degradación del recurso hídrico por el aporte de sustancias igualmente de difícil degradación.

La industria de extracción de petróleo y de metales preciosos e industriales genera, a través de las aguas de relave de sus minas y de los procesos de extracción, cantidades importantes de metales, hidrocarburos, partículas de carbón y sedimentos que se distribuyen difusamente en el recurso hídrico, transportándose incluso a distancias considerables de los puntos de emisión.

Estas condiciones de calidad, se suman a otras intervenciones antrópicas, como la ocupación del territorio y la tala indiscriminada de especies vegetales, para incidir en la regulación hídrica del país.

11. Vulnerabilidad de las cuencas

A partir del inventario de cuencas hidrográficas, el país se ha dividido en 12 zonas con características hidrológicas representativas, las cuales se presentan en el Cuadro 4. Colombia tiene el privilegio de compartir con Venezuela y Perú dos de los ríos más extensos y caudalosos del mundo, como son el Orinoco y el Amazonas.

Existe plena relación entre las zonas más pobladas del territorio nacional y las cuencas más vulnerables. Es notorio que esta situación se presente en las cuencas estratégicas, como las de los ríos Magdalena, Cauca, Bogotá, Sogamoso, Sierra Nevada de Santa Marta, Sinú y Cesar.

En el caso de las cuencas fronterizas, los gobiernos siempre han estado atentos a suscribir planes de acciones bilaterales para el desarrollo integral de dichas cuencas. En el Cuadro 5 se presenta el grado de vulnerabilidad de 45 cuencas nacionales.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 5. Vulnerabilidad del medio natural en 45 cuencas

Código	Cuenca	Vulnerabilidad natural	Código	Cuenca	Vulnerabilidad natural
01	Alto Magdalena	4,4	24	Río Tomo-Tuparro	4,5
02	Sabana de Bogotá	4,0	25	Río Vichada	5,1
03	Medio Magdalena	4,0	26	Alto Guaviare	5,6
04	Río Sogamoso	3,6	27	Medio Guaviare	6,2
05	Bajo Magdalena	4,3	28	Bajo Guaviare	6,8
06	Río Cesar	4,2	29	Río Inírida	6,7
07	Alto Cauca	4,2	30	Río Atabapo	5,5
08	Medio Cauca	3,8	31	Río Guania	6,6
09	Bajo Cauca	5,0	32	Río Vaupés	6,8
10	Río Nechí	4,5	33	Río Apaporis	6,8
11	S.N. S. Marta - occidente	4,4	34	Alto Caquetá	5,1
12	Río Tolo	6,4	35	Bajo Caquetá	6,6
13	Río Atrato	6,2	36	Río Puré	6,9
14	Sinú-Caribe	4,4	37	Río Putumayo	6,6
15	S.N. S. Marta - norte	4,6	38	Río Mira-Guiza	5,6
16	Alta Guajira	2,0	39	Alto Patía	3,2
17	Baja Guajira	3,8	40	Bajo Patía	5,4
18	Río Catatumbo	3,9	41	Río Saquianga-Patía Norte	6,3
19	San Andrés y Prov.	3,3	42	Río Micay	6,1
20	Río Arauca	3,1	43	Río Coyanero-Dagua	5,7
21	Alto Meta	4,6	44	Río San Juan	6,3
22	Bajo Meta	3,1	45	Río Baudó y Directos	6,8
23	Río Vita	4,3			

Fuente: IDEAM

Teniendo en cuenta la alta vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua y considerando que el abastecimiento de agua para la población es uno de los sectores usuarios más importante, se definió como prioritario evaluar el comportamiento de la oferta hídrica en ellos.

Es importante tener en cuenta que un alto porcentaje de los acueductos del país se surten de pequeños ríos, quebradas y arroyos, lo cual determina una alta vulnerabilidad en las cuencas donde se producen esos aprovechamientos, especialmente en aquellas zonas con serios problemas por la típica distribución espacial y temporal del recurso hídrico, tales como la región Caribe, en particular en los departamentos de La Guajira, Cesar, Magdalena y Bolívar, y en la región Andina, particularmente en los departamentos de Huila, Tolima, Valle del Cauca, Cundinamarca, Boyacá, Santander del Norte, Santander y parte de Cauca y Nariño.

12. Agua potable y saneamiento básico

En Colombia, la inadecuada planificación del uso y ocupación de los suelos ha contribuido al deterioro de las cuencas y, por ende, a la cantidad y calidad de la oferta hídrica. Por ello, acueductos de 140 municipios de 16 departamentos presentan vulnerabilidad por disponibilidad de agua debido a que, en muchos casos, las fuentes de suministro actuales corresponden a quebradas, cuyas aguas se han vuelto estacionales por la degradación de las cuencas.

Las fuentes de abastecimiento de agua en ciudades como Bucaramanga y Cúcuta, no logran suministrar los caudales mínimos demandados por los acueductos en épocas de estiaje. Situación aún más crítica se presenta en los municipios de Popayán, Palmira, Buenaventura, Maicao, Santander de Quilichao y Pamplona que han presentado déficit entre 15 y 30% en la oferta.

Lo anterior demuestra que, exceptuando algunas grandes ciudades del país, los sistemas de acueducto son vulnerables a riesgos de desabastecimiento debido a que el diseño, operación y mantenimiento de éstos se ven expuestos a eventos generados por el exceso o déficit de los caudales de las fuentes hídricas de abastecimiento, cambios climáticos o contaminación, derivados de un uso poco sostenible de los recursos naturales y a la inadecuada gestión del recurso hídrico.

Según el análisis hecho por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2006), los sistemas de tratamiento con que cuentan las empresas prestadoras del servicio público de alcantarillado en las grandes ciudades (Bogotá, Medellín, Cali) permiten tratar sólo el 32% de las aguas residuales que se vierten a los cuerpos hídricos.

Aún más preocupante resulta el hecho de que ciudades como Barranquilla, Bucaramanga e Ibagué tengan porcentajes de tratamiento de 17%, 26% y 11%, respectivamente, en tanto que ciudades como Cartagena, Cúcuta, Pereira, Manizales, Neiva, Pasto, Valledupar, Popayán, Palmira, Florencia, Sincelejo, Buenaventura, Piedecuesta, Tulúa, Armenia, Tunja, Rionegro, Cartago, Sogamoso y Girardot no realicen ningún tipo de tratamiento a las aguas residuales.

Es decir, el rezago del país frente al tratamiento de aguas residuales se debe tanto a la inexistencia de infraestructura de sistemas de tratamiento, como a la baja cobertura de las plantas existentes. Sólo 354 (33%) municipios del país cuentan con sistemas de tratamiento, y se sabe que el 29% de ellos no se encuentran operando. Se ha estimado que, de los 159 m^3/seg de agua captados a nivel nacional, el volumen de aguas residuales que recibe tratamiento es cercano a 5 m^3/seg., equivalente a 3,1% del volumen mencionado.

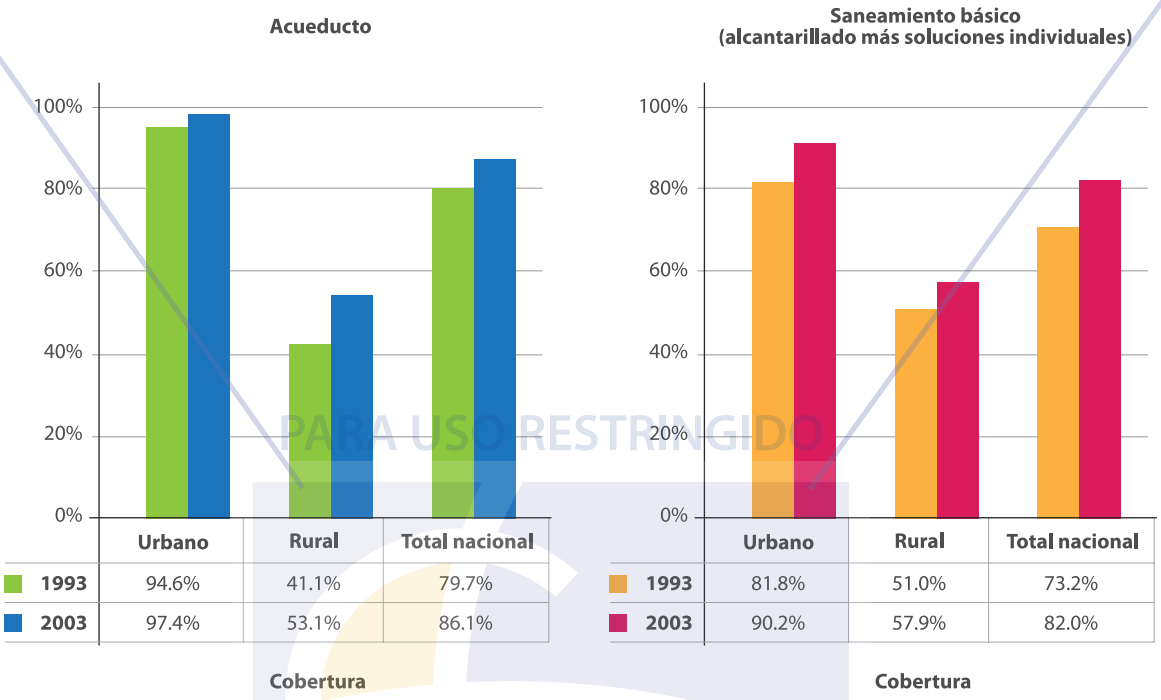
Como resultado del deterioro de la calidad del agua y de las cuencas abastecedoras, la baja cobertura, capacidad y mantenimiento de las plantas de tratamiento de agua, así como de la falta de control, seguimiento y monitoreo de la calidad de agua, "hay 17´736.687 colombianos que no recibieron agua apta para consumo humano durante el primer trimestre del 2007".

Es preciso mencionar el alto grado de vulnerabilidad en que se encuentran los acueductos municipales. Durante 2007, "cerca de 200.000 habitantes fueron afectados por eventos de inundación (o colapso operativo del sistema de alcantarillado), alrededor de 500.000 habitantes presentaron suspensión del servicio de acueducto, como consecuencia de avalanchas, incremento en los niveles de turbiedad de los ríos, taponamiento o colapso de captaciones y poco más de 20.000 habitantes presentaron suspensión del servicio de acueducto como consecuencia de deslizamientos de suelos que comprometieron la estabilidad de alguna de las estructuras de prestación de dicho servicio".

A la fecha, el país adolece de un plan para la reducción de esta vulnerabilidad; no se cuenta con estudios ni inventarios sobre este tema.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 17. Cobertura de acueducto y alcantarillado en Colombia



Fuente: MAVDT, Presentación "Abastecimiento de agua y alcantarillado en comunidades rurales en Colombia", Dirección de Agua Potable, Saneamiento Básico y Ambiental, 2006

Los estudios que se han realizado sobre la problemática de acceso a los servicios básicos como agua potable y saneamiento, han señalado que a pesar de los esfuerzos realizados por la Nación, especialmente desde el año 2001, implementando un programa de reforma de abastecimiento de agua y saneamiento para ampliación de cobertura de los servicios de acueducto y alcantarillado, aún persisten problemas relacionados con la calidad y el acceso en grandes zonas del país.

Los últimos datos sobre cobertura tanto en la zona rural como urbana en acueducto y alcantarillado se muestran en la Figura 17.

En Colombia el problema de agua en las zonas urbanas no es de infraestructura, ya que en términos generales existe buena cobertura, sino de acceso a agua potable, en términos de calidad y continuidad. En cuanto a la calidad del agua suministrada, la realidad es diversa. En ciudades grandes e intermedias se han logrado niveles de calidad excelentes y satisfactorios; sin embargo, en muchos municipios de menor tamaño se siguen presentando serias deficiencias con respecto a los parámetros establecidos en la normatividad vigente. Los problemas de calidad del agua están relacionados con la baja capacidad institucional, operativa y financiera de las empresas pequeñas, que se refleja en el deficiente desarrollo de infraestructura, compra de insumos de potabilización y formación de capital humano. En las zonas rurales las problemáticas sí corresponden a la cobertura en infraestructura, al igual que al acceso a agua potable por calidad y continuidad.

En cuanto a tratamiento de aguas residuales, entre los años 2002 y 2006 ha habido un importante avance en el número de municipios que cuentan con sistema de tratamiento de sus aguas residuales-STAR, al pasar de 218 en el 2002 a 355 en el 2006; no obstante, esta última cifra sólo representa el 32.33% de los municipios del país (incluido el Distrito Capital), lo cual se puede calificar como una baja cobertura.

También vale destacar el caso de los departamentos con más de 100 municipios, como Antioquia, Boyacá y Cundinamarca, cuyo porcentaje de municipios con STAR en el año 2006 es de 31.2%, 20.83% y 38.79%, respectivamente, valores que están por debajo del promedio nacional (41.39%), lo que muestra por un lado un atraso con respecto a otras regiones del país debido, muy seguramente, al enorme esfuerzo que implica proveer del servicio a un número mayor de poblaciones.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

De otro lado, el caudal tratado por estos sistemas en el año 2006 se presenta en el Cuadro 6.

En este contexto es conveniente indicar que si bien hay un número importante de STAR implementado o en proceso de ello, la operación y mantenimiento de estos sistemas se convierten en otros de los grandes retos, pues sólo el 51% de ellos presenta un funcionamiento bueno o regular. Esta situación se debe en parte al desconocimiento, o a la poca importancia, que se le da a la operación y mantenimiento de esto sistemas, pues se cree que el problema se soluciona con la construcción de la infraestructura. Otra de las causas de esta situación, es la falta de sostenibilidad financiera de los sistemas, pues el 77% de los casos no ha elaborado un estudio de impacto tarifario, y en el 80% de los casos no se han utilizado las metodologías establecidas por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA); esta situación implica que los STAR construidos no tienen garantizada su sostenibilidad.

Cuadro 6. Caudal de agua residual municipal tratado

Departamento	Caudal (m^3/s)	Cobertura PTAR construidas (%)	Caudal tratado (m^3/s)
Amazonas	0,11	50,0	0,06
Antioquia	8,59	20,8	1,79
Arauca	0,39	50,7	0,20
Atlántico	3,42	26,1	0,89
Bogotá D.C.*	18,6	21,5	4,0
Bolívar	3,22	8,9	0,29
Boyacá	2,16	18,7	0,4
Caldas	1,76	7,4	0,13
Caquetá	0,67	0,0	0,0
Casanare	0,46	26,3	0,12
Cauca	2,01	48,8	0,98
Cesar	1,54	60,0	0,92
Chocó	0,64	0,0	0,0
Córdoba	2,11	28,6	0,6
Cundinamarca	3,44	40,5	1,39
Guainía	0,06	100,0	0,06
Guaviare	0,19	25,0	0,05
Huila	1,48	5,4	0,08
La Guajira	0,77	78,6	0,61
Magdalena	2,06	23,1	0,48
Meta	1,12	10,3	0,12
Nariño	2,62	4,8	0,13
Norte de Santander	2,16	15,0	0,32
Putumayo	0,53	0,0	0,0
Quindío	0,9	33,3	0,3
Risaralda	1,51	0,0	0,0
San Andrés y Providencia	0,12	0,0	0,0
Santander	3,13	13,8	0,43
Sucre	1,27	62,5	0,79
Tolima	2,05	68,1	1,4
Valle del Cauca	6,68	35,7	2,38
Vaupés	0,04	33,3	0,01
Vichada	0,14	0,0	0,0
Colombia	**75,95**	**27,79**	**18,93**

Fuente: MAVDT, Grupo Recurso Hídrico con base en información de: a) Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales-PMAR, publicado en junio de 2004; b) Inventario realizado por el MAVDT en el marco del SINA, en el año 2006

PARA USO RESTRINGIDO

13. Agua y salud humana

La carencia de agua potable y saneamiento básico en grupos de población con bajas condiciones de vida, constituye el principal origen de muchas de las enfermedades y es uno de los principales factores de riesgo para contraerla. La ausencia de una adecuada disposición de excretas (alcantarillado, pozos sépticos, tazas sanitarias), asociado con la falta de educación, propicia la aparición de enfermedades. La consecuencia más grave es la persistente mortalidad y el incremento de la morbilidad por causa de las enfermedades infecciosas de origen hídrico entre la población infantil en la mayoría de los municipios del país, constituyéndose en uno de los costos más elevados de la degradación ambiental en Colombia.

FORO CONSULTIVO

Según datos de la Procuraduría General de la Nación, 12.7 millones de colombianos aún carecen de servicios de acueducto y alcantarillado, a pesar de que el Gobierno ha transferido en los últimos 10 años un total de $117.5 billones (aproximadamente 53.000 millones de dólares), de los cuales $7.2 billones (aproximadamente 3.000 millones de dólares) se asignaron al sector de agua potable.

En resumen, se puede asegurar que persiste una alta morbilidad y mortalidad por enfermedades bacterianas de origen hídrico, de las cuales la diarrea crónica es la más común y generalizada, a pesar de la inversión de los recursos provenientes del Sistema General de Participación (SGP), regalías y otras fuentes.

Según datos de Ernesto Sánchez-Triana, *et al.*, (2006), tomados del DANE, en Colombia aproximadamente el 7.2% de la mortalidad infantil es atribuible a enfermedades diarreicas, y la prevalencia diarreica de dos semanas en niños

menores de cinco años es del 2,9%, donde el 90% de los casos y las hospitalizaciones consiguientes se atribuyen a problemas relacionados con la calidad del agua, saneamiento e higiene.

El CONPES 3343 ha establecido que el costo promedio en salud pública debido a las "inadecuadas condiciones de abastecimiento de agua, el saneamiento y la higiene asciende a $1.96 billones (aproximadamente 890 millones de dólares)".

Adicionalmente, las condiciones de vida y la ubicación geográfica de nuestro territorio en las regiones tropicales favorece la alta incidencia de las enfermedades transmitidas por vectores, como la malaria y el paludismo.

Los dengues son en la actualidad un grave problema para la salud de la población del país, particularmente en aquellas zonas ubicadas a menos de 1.800 msnm, donde habita el mosquito trasmisor de la enfermedad.

14. Proyecciones de demanda y oferta para 2015 y 2025

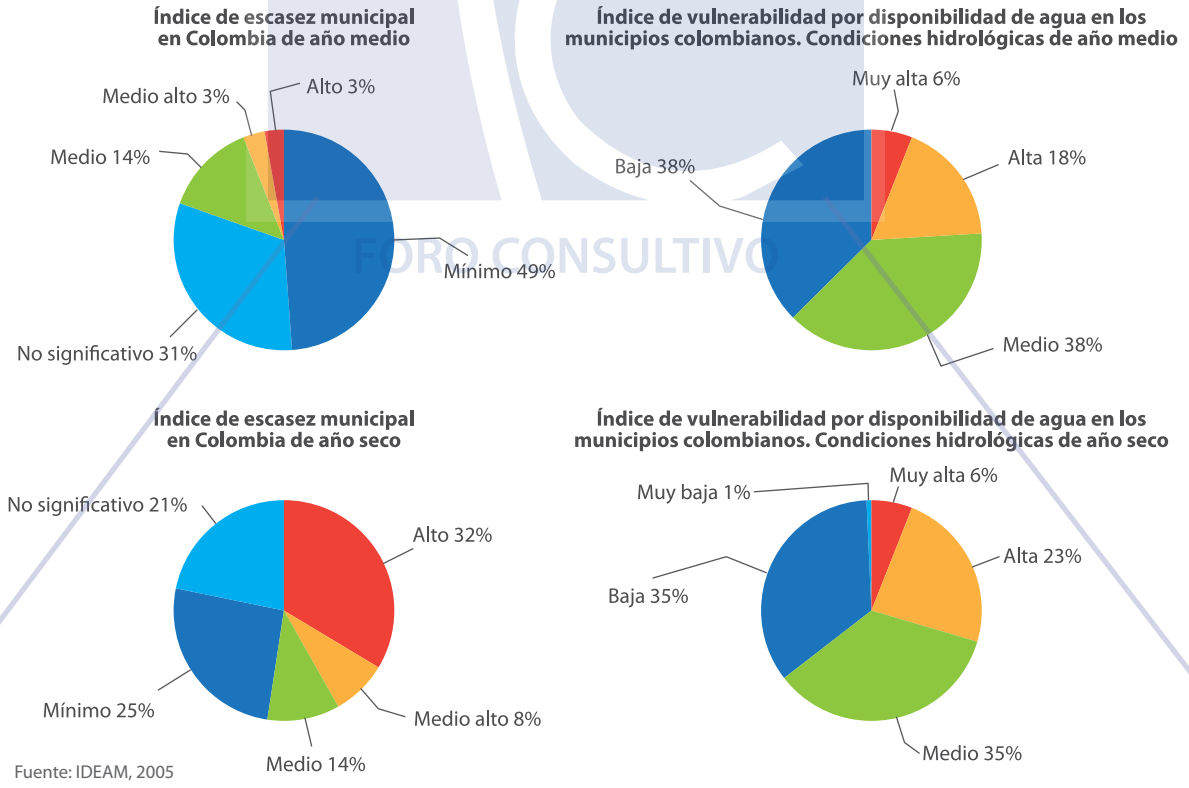
En la actualidad una buena parte de los municipios y regiones del país gozan de un adecuado abastecimiento de agua, en concordancia con la buena disponibilidad del recurso que caracteriza la mayor parte del territorio colombiano; sólo un porcentaje relativamente bajo de los municipios colombianos presenta índices de escasez altos, tal como se presenta en la Figura 18. Se estima que hacia el futuro este panorama podría variar considerable y aceleradamente, en especial, en aquellas áreas más densamente pobladas.

En los próximos años no sólo seguirá aumentando la demanda de agua para los usos humanos y económicos, sino que –lo más grave– la oferta aprovechable del recurso puede reducirse, de continuar las tendencias actuales de deforestación y la ausencia casi total de tratamiento de las aguas residuales.

De acuerdo con estas condiciones, para la obtención de la oferta con proyección a 2015 y 2025 se realizó el cálculo

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 18. Índices de escasez y vulnerabilidad por disponibilidad del agua en Colombia



Fuente: IDEAM, 2005

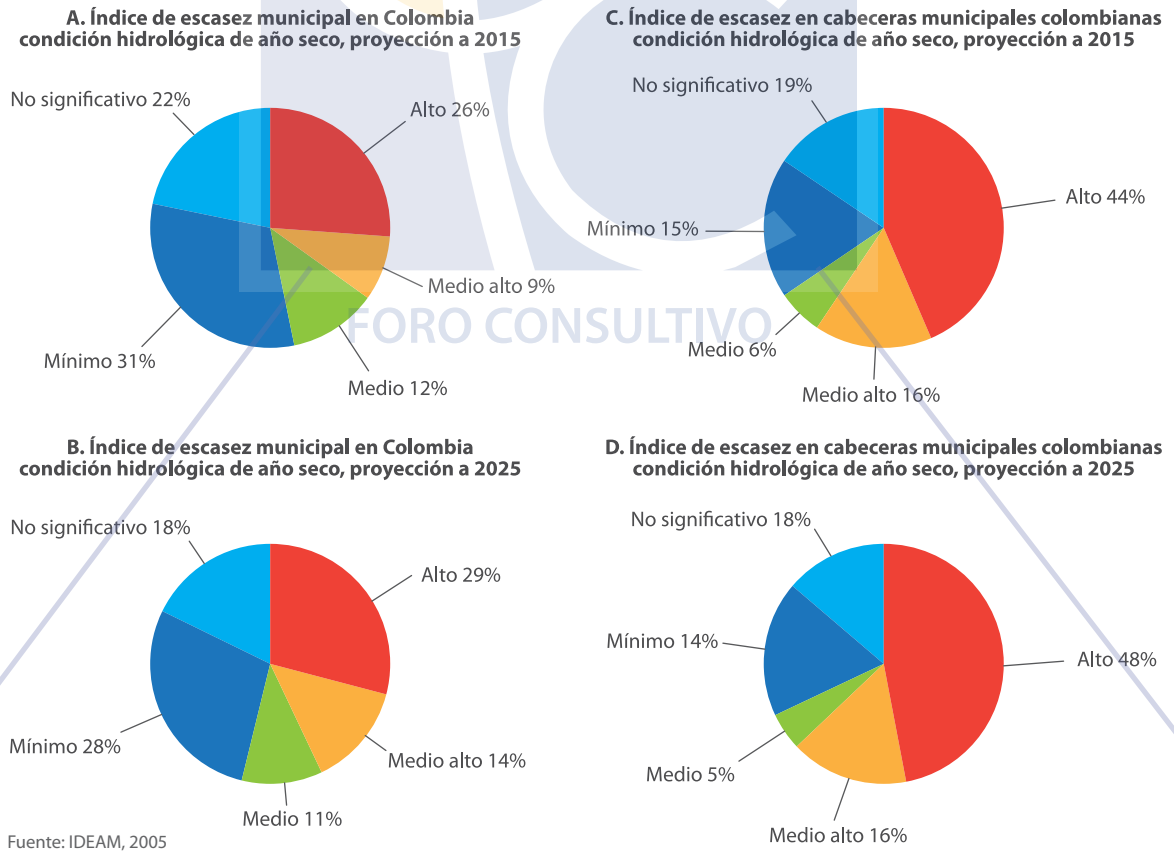
disminuyendo la oferta aprovechable en 2% anual, una estimación aproximada de lo que podría suceder en el futuro. Con relación a la población, para este estudio se utilizaron las proyecciones para 1995 hasta 2005 calculadas por el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) y las proyecciones de los escenarios poblacionales para 2015 y 2025 calculadas dentro del convenio DEAM-CIDSE (Universidad del Valle, Cali), según metodología de diferenciales de crecimiento urbano rural con la utilización de la fórmula logística.

Para otros sectores usuarios considerados (industrial, comercial, pecuario y agrícola), la proyección se hizo con una tasa de crecimiento de 3%, tomando como base la demanda potencial de agua de 2000. Este crecimiento de 3% se estableció tras considerar que hacer proyecciones a más de 25 años implica crear por lo menos tres escenarios relativos al crecimiento del PIB, según sus diversos sectores: uno, muy expansivo, del orden del 6%; otro, relativamente recesivo, del orden del 2%, y finalmente, uno promedio que se aproxime al valor medio histórico del PIB en los últimos 20 años. Este último escenario, que en realidad se acerca al promedio histórico (2.6%) para 1980-1998, puede tomarse como punto de referencia para proyectar la demanda más probable de agua. No obstante, se podría establecer una relación econométrica más precisa cuando se tengan series más extensas sobre consumos de agua y los crecimientos sectoriales del PIB.

En vista de que la proyección para 2015 y 2025 de la oferta de agua para abastecimiento se hizo disminuyéndole un 2% anual, y para la demanda, incrementándole un 3% anual, el índice de escasez (presión de la demanda sobre la oferta) muestra una tendencia de ascenso paulatino, lo que hace prever que en el futuro la disponibilidad de agua llevará a una situación delicada de abastecimiento.

Esto indica que el índice de escasez en el ámbito municipal presenta para los años 2015 y 2025 un incremento considerable de municipios en el grupo de los índices altos. Esto muestra también que los 1.7 millones de colombianos clasificados dentro de esta categoría en 2000 se elevarán a 13.8 millones en 2015, y podrían alcanzar los 17.5 millones en 2025, o sea, el 30% de la población total del país

Figura 19. Proyecciones del índice de escasez de agua en Colombia en 2015 y 2025



Fuente: IDEAM, 2005

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

proyectada para ese año. En los niveles de escasez medio alto y medio la progresión es similar, mostrando que la presión de la demanda sobre la oferta es cada vez más significativa y que en estas tres categorías estaría comprometida más del 55% de la población colombiana (Figura 19, gráficos A y B).

De las cabeceras municipales, 38 aparecen en el año 2000 en la categoría del índice de escasez alto, mientras que en 2015 este número se incrementa a 72 cabeceras, para llegar luego, en 2025, a un total de 102. La situación para los índices medios altos en el 2000 afecta a 48 cabeceras, en 2015 a 101, en tanto que en 2025 la proyección es de 138 cabeceras, que corresponden a 13% del total de los municipios del país; de este valor, 70% pertenece a la zona Andina.

En los valores medios del índice de escasez se observa una tendencia semejante a la de las categorías anteriores: en general, la población afectada en esta proyección puede duplicarse para los índices altos y medio altos, mientras que, según el análisis de los índices medios, su número tiende a disminuir porque la mayoría de cabeceras municipales pasa a las categorías más críticas, con índices de escasez altos y medio altos (Figura 19, gráficos C y D).

15. Agua, energía e impactos ambientales

En Colombia existen cerca de 34 embalses con volúmenes mayores de 1 Mm^3, cerca de 29 embalses medianos y numerosos embalses pequeños. El 82 % de los embalses tienen por finalidad la generación de energía eléctrica. El volumen total embalsado es de cerca de 10.724.5 Mm^3 y su área total de 48.881 hectáreas (Roldán, 1992; Márquez & Guillot, 2001; Roldán y Ramírez, 2008). Sus áreas varían entre 56 y 16.000 hectáreas, se ubican entre los 70 y 3.800 msnm; su capacidad de generación oscila entre los 21 y 1.240 MW, y los tiempos de residencia varían entre 1.6 y 1.995 días. La producción actual de energía representa apenas cerca de un 10% del potencial hidroeléctrico de Colombia, por lo que se espera para un futuro a mediano y largo plazo una gran actividad en este campo, con los consiguientes impactos ecológicos, económicos y sociales que este tipo de proyectos conlleva. El Cuadro 7 presenta las características de los 26 principales embalses en Colombia.

16. Gobernanza del agua

Actualmente Colombia está haciendo una de las mayores inversiones del Plan de Desarrollo en el sector de agua potable y saneamiento básico, con el objetivo de ampliar muy significativamente la población con acceso a estos servicios como una contribución fundamental para la equidad, la salud y la lucha contra la pobreza. Bien vale la pena analizar formas de administración de estos nuevos sistemas que garanticen que los resultados de este gran esfuerzo nacional den los frutos que de él se esperan. Si bien es cierto que la construcción de la infraestructura es esencial y necesaria, no es suficiente para cumplir con los objetivos finales previstos.

Las reformas económicas basadas en la liberalización y la descentralización, plantearon un cambio en el papel del estado de proveedor de servicios públicos a regulador y facilitador de su prestación, y consideraron conveniente dar un rol más protagónico al sector privado en el sector del agua, con el ánimo de corregir las dificultades que se presentaban en su gobernanza, aduciendo su mayor eficiencia y posibilidad de acceder a nuevas fuentes financieras y tecnológicas para mejorar y ampliar los servicios. La ola privatizadora, especialmente en el sector de agua potable, se extendió rápidamente por el mundo en los primeros años de la década de los 90, aumentando la participación del sector privado, prácticamente inexistente en 1990, hasta llegar a 2.350 operadores privados a nivel mundial en 1993. Los países latinoamericanos optaron por seguir con mayor o menor intensidad esta línea.

La evaluación de la estrategia de privatización de los servicios de agua presenta resultados disímiles pero en general poco satisfactorios. Las políticas de privatización muestran sus beneficios en las zonas con usuarios urbanos con ingresos medios y altos, pero han fracasado en el ámbito de los usuarios con escasa capacidad de pago, generado complejas situaciones e incluso a la alteraciones del orden público, en casos como los de Cochabamba y El Alto en Bolivia, y la terminación anticipada de contratos, como el de la planta de tratamiento de aguas de Bogotá, por ser excesivamente onerosos y poco eficientes.

La privatización ha sido útil en la mejora de la eficiencia de los sistemas de distribución y en la reducción del caudal de agua no facturada, pero no lo ha sido en temas referentes a la equidad en la distribución del recurso, en la ampliación de los servicios, en el tratamiento de las aguas residuales y en

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

la conservación de los ecosistemas productores. La contribución del sector privado a la eficiencia de la prestación de servicios relacionados con el agua potable y el saneamiento básico puede ser conveniente y significativa, pero es fundamental para ello que el papel de regulación y control del Estado sea claro y se ejerza con eficacia y transparencia.

Como consecuencia de las experiencias anteriores, desde mediados de la presente década se nota la tendencia a reversar la ola privatizadora de los servicios de agua potable. Las multinacionales del agua se están retirando de los países en desarrollo y concentrándose en los países desarrollados, que ofrecen menos riesgos políticos y financieros.

Cuadro 7. Características más importantes de los embalses en Colombia y su capacidad de producción de energía

Embalse	Año	Río principal	Z max. (m)	Área/ ha	Perímetro (km)	Cota max. (niv. max.)	Cap. Inst. (MW)	Vol. útil total (mm^3)	Caudal (m^3/s)	Residencia (días)	Propósito
Alto Anchicayá (Valle)	1974	Anchicayá	132	140	25	640	345	30	99	3.5	Energía
Bajo Anchicayá (Valle)	1959	Anchicayá	53	-	-	195	64	15	110	1.6	Energía
Betania (Huila)	1987	Magdalena	91	7400	-	561	510	1020	786	15	Energía y control
Calima (Valle)	1967	Calima	98	1980	-	1400	120	438	76	66.6	Energía
Chuza (Cundinamarca)	1983	Chingaza	27	98	-	3850	-	225	13	200.2	Acueducto
Guatapé (Antioquia)	1973	Nare	60	6365	419	1887	560	1169	88	153.7	Energía
Guájaro (Atlántico)	1964	C. del Dique	4	16000	-	60	-	238	-	-	Riesgo
Guavio (Cundinamarca)	1993	Guavio	232	1530	15	1630	1000	1140	72	183.2	Energía
La Esmeralda (Boyacá)	1976	Bata	226	1260	83	1277	1000	634	160	45.8	Energía
La Fe (Antioquia)	1972	Las Palmas	30	1426	8	2155	16	12	8	17.3	Acueducto y energía
Miel 1 (Celdas)	2002	La Miel	188	2050	-	445	400	565	-	-	Energía
Miraflores (Antioquia)	1965	Tenche	63	800	47	2062	-	140	18	90.8	Energía
Muña (Cundinamarca)	1944	Bogotá	5	933	-	2580	36	10	1	115.7	Energía
Neusa (Cundinamarca)	1951	Neusa	11	950	-	2997	190	106	2	613.2	Acueducto
Playas (Antioquia)	1987	Guatapé	65	702	-	980	200	47	126	4.3	Energía
Prado (Tolima)	1973	Prado	90	3900	-	370	55	500	115	50.3	Energía
Porce II (Antioquia)	2001	Porce	118	890	-	922	392	82	201	4.7	Energía
Punchiná (Antioquia)	1984	Guatapé	65	340	17	775	1240	50	142	4.1	Energía
Río Grande (Antioquia)	1989	Río Grande	59	1100	-	-	325	100	50	23.1	Energía y acueducto
Río mayo (Nariño)	1969	Mayo	16	56	-	1500	21	450	11	473.3	Energía
Salvajina (Cauca)	1985	Cauca	148	2031	102	1155	270	753	350	24.9	Energía y control
San Lorenzo (Antioquia)	1987	Nare	57	1070	42	1250	170	180	40	52.1	Energía
Sisga (Cundinamarca)	1951	-	15	676	-	2780	-	101	3	389.5	Acueducto
Tominé (Cundinamarca)	1962	Tominé	19	3690	-	2605	-	690	4	1995.0	Acueducto
Troneras (Antioquia)	1962	Guadalupe	37	465	35	1775	36	36	26	16.0	Energía
Urrá I (Córdoba)	2000	Sinú	73	7400	-	128	340	1200	700	19.8	Energía y control

Tomado de: Roldán y Ramírez, 2008

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Si bien es cierto que el debate sobre la prestación de los servicios públicos relacionados con el agua por parte del Estado o por el sector privado sigue vigente, es importante identificar nuevos papeles para las diferentes partes interesadas y poder así ampliar la gama de prestadores de estos servicios.

Las experiencias internacionales y de las organizaciones de la sociedad civil, concluyen que los gobiernos y las entidades multilaterales no han dado la importancia debida a otras formas de administración del agua que permitan superar el debate de la conveniencia de la gobernanza pública o privada, que está cargado de inevitable sabor ideológico, para explorar otras formas organizativas más abiertas, como asociaciones público-privadas y organizaciones de usuarios que han probado su eficiencia en distintos países, y en particular en casos de manejo de acueductos rurales y poblaciones pequeñas, en los que han contribuido de manera muy eficaz a la equidad en el acceso al agua, a la mejora de las condiciones de vida y a la reducción de la pobreza.

17. Política y legislación de aguas en Colombia

En Colombia la preocupación por el recurso hídrico se hace relevante a partir del momento en que comienzan a generarse, en el ámbito mundial, conferencias, congresos y encuentros en torno al tema ambiental. Partiendo de la conceptualización del término 'medio ambiente' como todo aquello que circunda los organismos vivos para que puedan desarrollarse, el agua aparece como elemento vital para la vida, es decir, como principio generador. En este sentido, el uso ineficiente del agua y la degradación de su calidad constituyen uno de los principales obstáculos para avanzar por el camino de la sostenibilidad ambiental, económica y social.

En el país hasta hace unos pocos años aún se creía que el agua era un elemento perenne en el desarrollo, dadas las características de biodiversidad y abundancia que se poseen, y no se alcanzaba a relacionar y dimensionar las consecuencias surgidas de la relación hombre-naturaleza de orden ancestral que se han manejado en nuestra cultura. El agua se convirtió en elemento direccionador de los asentamientos humanos, tanto a nivel rural como urbano, bajo la estructura de aportante, y no como elemento de protección y conservación. Se llega así a participar de la preocupación mundial por dicho elemento, y Colombia empieza a planificar en torno al mismo, basado en lineamientos de orden internacional que abogan por un manejo más integral y globalizado.

Desde la Cumbre de Estocolmo en 1972, el informe Brutland señala aspectos relevantes y definitivos para el desarrollo sostenible, bajo un imperativo ético de conservación. Luego, en la Cumbre de Río se reafirman unos principios únicos de manejo de los recursos naturales bajo unos parámetros de gestión y acción conjunta global desde las diferentes áreas de desarrollo: social, económica y política.

Retomando las disposiciones surgidas de estas cumbres mundiales, Colombia entra en la etapa de generación de un ente que lidere el tema ambiental, y se crea así el Ministerio del Medio Ambiente a través de la Ley 99 de 1993; antes de la creación de este Ministerio, entidades como el INDERENA, el Ministerio de Salud, entre otras, realizaban algunas funciones ambientales. Se convierten en acciones de este Ministerio la definición de Lineamientos de Políticas para los diversos aspectos que involucran el medio ambiente. Entre ellos se encuentran:

- Lineamientos de Política para el Manejo Integral del Agua, 1995.
- Bases para una Política Nacional de Población y Medio Ambiente, 1998.
- Estrategias para un Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- Lineamientos para la Política Nacional de Ordenamiento Ambiental del Territorio, 1998.
- Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia, 2000.
- Política Nacional para Humedales Interiores de Colombia, 1994.
- Política Nacional de Educación Ambiental, 2002.

En el 2004 se tiene la directriz del gobierno de sacar adelante un nuevo proyecto de Ley del Agua, el cual finalmente no prosperó. El objetivo de la ponencia tenía como objetivos: "Fomentar una cultura frente al agua para asegurar su uso eficiente y sostenible; establecer los lineamientos principales para regular su explotación, su uso y su aprovechamiento; garantizar a la población el acceso al agua, en la cantidad y calidad adecuadas; otorgar competencias administrativas y de control en los distintos niveles con el fin de proteger el recurso hídrico y darle al agua un valor adecuado para garantizar su correcto uso y controlar su disposición final".

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Se comienza entonces a construir a nivel nacional una visión integradora en torno a la planificación, gestión, manejo, control, evaluación y sensibilización del recurso hídrico, la cual da lugar a que, en 2010, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (actualmente Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) expida la "Política Hídrica Nacional" tras un proceso de cerca de dos años (2008-2009) en el que se realizaron estudios y consultorías; se preparó un diagnóstico del estado del recurso y del avance de la gestión, y se adelantó un proceso participativo que incluyó más de 14 talleres multisectoriales. En diciembre de 2009, el Consejo Nacional Ambiental dio el aval para la aprobación de esta Política que busca servir de instrumento orientador de la gestión integral del recurso hídrico en Colombia. La Política fija un marco conceptual, unos principios, objetivos, instrumentos y estrategias para la administración y planificación del recurso, y orienta la labor de las Autoridades Ambientales Regionales (Corporaciones Autónomas Regionales y otros) como administradores del recurso.

Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico incluye seis objetivos específicos en cuanto a Oferta, Demanda, Calidad, Riesgos, Gobernabilidad e Institucionalidad, cada uno de los cuales incluye estrategias (19), metas e indicadores. Las líneas de acción estratégicas serán desarrolladas en detalle en el Plan Hídrico Nacional, atendiendo a las características y particularidades regionales, pero apuntando siempre al cumplimiento de los objetivos y metas nacionales definidos en la presente Política.

Además del Plan Hídrico se formulará un CONPES con el Departamento Nacional de Planeación para la determinación de las acciones sectoriales a fin de impulsar la gestión integral del recurso hídrico a nivel nacional.

En cuanto a los aspectos normativos, a continuación se presenta un listado del marco normativo en Colombia. Por ello se puede observar, como se ha mencionado con anterioridad, que los múltiples problemas que aún se tienen en materia de agua no son por falta de legislación, sino por dispersión normativa, falta de voluntad política para aplicar adecuadamente la normatividad y también por carencia de educación ambiental.

a. Recurso hídrico en general

- Ley 23 de 1973, "Por la cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones".
- Decreto 2811 de 1974, "Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente".
- Decreto 1449 de 1977, "Por el cual se reglamentan parcialmente el [Inciso 1 del Numeral 5 del Artículo 56 de la Ley 135 de 1961] y el [Decreto Ley No. 2811 de 1974]". Parcialmente derogados Ley 79 de 1986, Ley 373 de 1997 y el decreto 1791 de 1996.
- Decreto 1541 de 1978, "Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto 2811 de 1974 de las aguas no marítimas".
- Ley 9 de 1979, "Por la cual se dictan medidas sanitarias".
- Decreto 1594 de 1984, "Por el cual se reglamenta el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título II de la parte II Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos".
- Constitución Política de Colombia, Artículos 78, 79, 80, 365, 366, 367, 368, 369 y 370.
- Ley 99 de 1993, "Por la cual se crea el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental-SINA y se dictan otras disposiciones".
- Ley 373 de 1997, "por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua".
- Decreto 1220 de 2005, "Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales".

b. Cuerpos de agua y cuencas hidrográficas

- Ley 161 de 1994, "Por la cual se organiza la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena, se determinan sus fuentes de financiación y se dictan otras disposiciones".
- Ley 357 de 1997, por medio de la cual se aprueba la "Convención relativa a los humedales de importancia internacional especialmente como hábitat de las aves acuáticas", suscrita en Ramsar el 2 de febrero de 1971.
- Decreto 1604 de 2002, "Por el cual se reglamenta el Parágrafo 3º del Artículo 33 de la Ley 99 de 1993".
- Decreto 1729 de 2002, "Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título II, Capítulo III del Decreto-Ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el Numeral 12 del Artículo 5º de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones".
- Resolución 769 de 2002, "Por la cual se dictan disposiciones para contribuir a la protección, conservación y sostenibilidad de los páramos". Modificada por la Resolución 140 de 2003.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

- Resolución 839 de 2003, "Por la cual se establecen los términos de referencia para la elaboración del Estudio sobre el Estado Actual de Páramos y del Plan de Manejo Ambiental de los Páramos". Modificada por la Resolución 1128 de 2006.
- Resolución IDEAM 104 de 2003, "Por la cual se establecen los criterios y parámetros para la clasificación y priorización de cuencas hidrográficas".
- Resolución 196 de 2006, "Por la cual se adopta la guía técnica para la formulación de planes de manejo para humedales en Colombia".
- Decreto 1480 de 2007, "Por el cual se priorizan a nivel nacional el ordenamiento y la intervención de algunas cuencas hidrográficas y se dictan otras disposiciones".

PARA USO RESTRINGIDO

c. Instrumentos de gestión:

- Decreto 1600 de 1994, "Por el cual se reglamenta parcialmente el SINA en relación con los Sistemas Nacionales de Investigación Ambiental y de Información Ambiental".
- Decreto 1933 de 1994 "Por el cual se reglamenta el artículo 45 de la Ley 99 de 1993".
- Decreto 3100 de 2003, "Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones".
- Decreto 155 de 2004, "Por el cual se establece la tasa por uso del agua"
- Decreto 3440 de 2004, "Por el cual se modifica el Decreto 3100 de 2003 y se adoptan otras disposiciones.
- Decreto 4742 de 2005, "Por el cual se modifica el Artículo 12 del Decreto 155 de 2004 y se reglamenta el Artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas".
- Resolución 865 de 2004, "Por la cual adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales".
- Resolución 872 de 2006, "Por la cual se establece la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas subterráneas a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones".
- Decreto 1900 de 2006, "Por el cual se reglamenta el parágrafo del Artículo 43 de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones".
- Decreto 2570 de 2006, "Por el cual se adiciona el Decreto 1600 de 1994 y se dictan otras disposiciones".
- Decreto 1323 de 2007, "Por el cual se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico-SIRH"
- Decreto 1324 de 2007, "Por el cual se crea el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico y se dictan otras disposiciones".

d. Agua potable y Saneamiento

- Ley 142 de 1994, "Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones".
- Decreto 3102 de 1997, "Por el cual se reglamenta el Artículo 15 de la Ley 373 de 1997 en relación con la instalación de equipos, sistemas e implementos de bajo consumo de agua".
- Resolución 1096 de 2000, "Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS". Modificada por la resolución 668 de 2002 y 1459 de 2005.
- Resolución CRA 150 de 2001, "Por la cual se establecen consumos básicos y máximos de conformidad con lo establecido en la Ley 373 de 1997".
- Resolución CRA 287 de 2004, "Por la cual se establece la metodología tarifaria para regular el cálculo de los costos de prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado".
- Resolución 1443 de 2004, "Por la cual se reglamenta el Artículo 12 del Decreto 3100 de 2003, sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV, y se adoptan otras determinaciones". Modificada por la Resolución 2145 de 2005.
- Decreto 1575 de 2007, "Por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano".
- Resolución 2115 de 2007, "Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano".
- Decreto 3200 de 2008, "Por el cual se dictan normas sobre Planes Departamentales para el Manejo Empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento y se dictan otras disposiciones".
- Resolución 811 de 2008, "Por medio de la cual se definen los lineamientos a partir de los cuales la autoridad sanitaria y las personas prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución".

FORO CONSULTIVO

e. Contaminación y vertimientos

- Decreto 1875 de 1979, "Por el cual se dictan normas sobre la prevención de la contaminación del medio marino y otras disposiciones".
- Decreto 1594 de 1984, "Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título II de la Parte II Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.

- Ley 56 de 1987, por medio de la cual se aprueban el "Convenio para la protección y desarrollo del medio marino en la región del Gran Caribe" y el "Protocolo relativo a la cooperación para combatir los derrames de hidrocarburos en la región del Gran Caribe", firmado en Cartagena de Indias el 24 de marzo de 1983.
- Ley 55 de 1989, por medio de la cual se aprueba el "Convenio Internacional sobre responsabilidad civil por daños causados por la contaminación de las aguas del mar por hidrocarburos de 1969" y su protocolo de 1976.
- Decreto 2190 de 1995 de diciembre 14 de 1995, "Por el cual se ordena la elaboración del Plan Nacional de Contingencias contra derrames de Hidrocarburos, Derivados y sustancias nocivas en aguas marinas, fluviales y lacustres".

f. Aguas marinas y plataforma continental

- Ley 10 de 1978, "Por medio de la cual se dictan normas sobre mar territorial, zona económica exclusiva, plataforma continental, y se dictan otras disposiciones".
- Decreto 1875 de 1979, "Por el cual se dictan normas sobre la prevención de la contaminación del medio marino y otras disposiciones".
- Decreto 1436 de 1984, "Por el cual se reglamenta parcialmente el Artículo 9º de la Ley 10 de 1978".
- Ley 611 de 2000, "Por la cual se dictan normas para el manejo sostenible de especies de fauna silvestre y acuática".

g. Convenios y tratados internacionales

- Ley 119 de 1961, "Convenio pesca y conservación de los recursos vivos de alta mar".
- Ley 408 de 1997, "Por medio de la cual se aprueba el convenio relativo a la organización hidrográfica internacional OHI", suscrito en Mónaco el 3 de mayo de 1967.
- Ley 74 de 1979, "Por medio de la cual se aprueba el Tratado de Cooperación Amazónica, firmado en Brasilia el 3 de julio de 1978".

18. Amenazas para el agua en Colombia

El Dr. Guhl, en su artículo "El agua en el futuro sostenible de Colombia. ¿Para qué queremos el agua?" menciona la consideración del agua como recurso estratégico para el desarrollo y la comprensión de que es un recurso limitado, que puede dejar de ser renovable si se maneja mal y plantea dos dimensiones que deben tenerse en cuenta para su aprovechamiento sostenible: la conservación de la oferta hídrica, es decir, la cantidad de agua disponible, y el mantenimiento de su calidad para utilizarla sin peligro para la salud humana y ecosistémica.

Con respecto a la primera, el manejo adecuado de las cuencas y de los ambientes productores del agua, como los páramos, son esenciales para evitar fenómenos que la afecten como la desregulación de los caudales y la erosión causadas por la pérdida de la cobertura boscosa. Es decir, que la conservación tiene que ser una prioridad de carácter determinante si queremos mantener nuestra riqueza hídrica. Por esta razón es inexplicable que las autoridades ambientales permitan la expansión de la frontera agrícola en los páramos para el cultivo intensivo de papa.

Mirando hacía el futuro, se aduce que la gran oferta nacional de agua, no coincide con las zonas donde se asienta la gran mayoría de la población y sus actividades y, por tanto, la demanda de agua para los diversos usos. De acuerdo con esto, las cifras oficiales anticipan un déficit de agua en las zonas "desarrolladas" del país, generando un alto riesgo de desabastecimiento de sus acueductos. Esto implicaría, una verdadera emergencia sanitaria y económica nacional, que para evitarse requiere planeación y acciones decididas.

Esta paradójica situación de escasez en medio de la abundancia obedece a una lectura incorrecta de la realidad. Por una parte, las cifras se refieren a la cantidad de agua y no consideran su calidad, que se ha convertido en la limitación mayor para su uso, y, por otra, se refieren a las fuentes de suministro actuales, que muchas veces por razones económicas son pequeñas quebradas con una calidad aceptable, que permiten conducciones por gravedad, pero que son muy susceptibles a las reducciones de caudal por razones climáticas, mientras que los ríos más grandes no se utilizan para los acueductos por diversas razones, entre ellas el costo y la contaminación. Un ejemplo que ilustra esta paradoja de manera clara es Barrancabermeja, que aparece como uno de los municipios con alta escasez a pesar de que se ubica a orillas del Magdalena.

Con respecto a la calidad del agua, es imprescindible cambiar la forma como desechamos los residuos domésticos, industriales y agropecuarios vertiéndolos sin tratar a los ríos, con cargas contaminantes orgánicas, químicas y sobretodo de patógenos, en cantidades que hacen imposible su utilización.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

La práctica habitual del traslado de la contaminación aguas abajo desconoce el principio universalmente aceptado de que "el que contamina paga", ya que implica la transferencia de los impactos y los costos ambientales. Como se mencionó en el numeral, apenas el 32.33% de los municipios colombianos tratan sus aguas residuales; sin embargo, no basta con tratar el agua de cualquier manera; el nivel de tratamiento depende de los usos que vaya a tener el agua vertida nuevamente a la corriente. Con una actitud autista y egoísta, basada en el supuesto equivocado de que el agua es inagotable, utilizamos los ríos como "basureros" de los pueblos y ciudades, partiendo del supuesto de que el río "se lleva" los deshechos y que logra recuperarse, pero desconociendo los límites de la autopurificación natural y sin tomar en cuenta lo que suceda con los pobladores aguas abajo.

En el corto plazo se corre el peligro de que debido a la contaminación de sus aguas, en especial por las aguas residuales domésticas, las regiones Andina y Caribe no puedan utilizar sus ríos principales. Estas situaciones generan un panorama de inquietud desde el punto de vista de la salud pública sobre el territorio nacional, y de inequidad regional con respecto a la calidad del agua y a los costos para depurarla para poderla reutilizar.

En relación con la planeación y administración del agua puede decirse que el país ha carecido de una visión integral del recurso y de su ciclo, por lo que la gestión se ha dado de forma segmentada y sectorial, partiendo del supuesto equivocado de que la totalidad del agua está disponible para cada uno de los usos. El desconocimiento de la oferta de agua y de sus variaciones estacionales ha conllevado a que las concesiones para su uso sean irreales y que en muchas ocasiones se otorguen como un porcentaje del caudal disponible, que es muy difícil de conocer y además imposible de controlar.

19. Usos potenciales del agua en Colombia y mecanismos de administración

Igualmente el Dr. Guhl en su artículo menciona que, debido a su importancia esencial por su carácter de elemento básico para la vida, el agua ha sido considerada como un bien de dominio público en la tradición colombiana al igual que en muchos países. Como se ha explicado, esta consideración hace que no pueda considerarse como un bien transable cualquiera y que su control y propiedad deban estar en cabeza del estado y no de particulares. Ello ha dado lugar a una regulación acerca de los usos del agua y a sus posibilidades de aprovechamiento. El instrumento vigente es el de la concesión de una determinada cantidad de agua, o de un porcentaje del caudal de una fuente, para el desarrollo de una determinada actividad, la cual está ligada al predio en que se desarrolla.

En diversos países y regiones con escasez temporal o permanente de agua, bien sea por razones naturales o porque hay una demanda demasiado grande para la oferta disponible, se ha buscado hacer más eficiente la asignación del recurso mediante la creación de un mercado de derechos de agua que pueden venderse o arrendarse, lo que ha permitido utilizar el agua de una manera más acorde con las necesidades humanas o productivas. En el caso de España, que tiene regiones muy importantes donde la carencia de agua es grande, se ha utilizado este mecanismo para asignar de la mejor manera un recurso escaso.

Pero el mercado de derechos de agua está regulado para cumplir con criterios de interés público, dado el carácter especial del agua, limitando la libertad de pacto entre las partes y utilizando controles administrativos, por lo cual solamente se permite negociar derechos de agua para "usos de mayor rango", de acuerdo con la priorización legal para los mismos y evitando concentraciones de derechos que puedan conducir a la creación de monopolios o a la especulación. El mercado del agua limitado por criterios de interés público, mediante una adecuada regulación, ha probado ser un mecanismo efectivo para la gestión del agua bajo condiciones de escasez, que es por definición cuando se puede crear un mercado. De todas maneras el análisis de la aplicación del mecanismo demuestra que los caudales transados no son de una magnitud muy importante. Surge además una duda de carácter ético sobre al conceder a un particular, el tenedor de la concesión, la plusvalía al vender o arrendar un derecho que el Estado le otorgó gratuitamente.

En el caso de Colombia donde la oferta hídrica es abundante, no es clara la necesidad de generar un mecanismo de esta naturaleza para hacer más eficiente el uso del recurso. Más bien podría pensarse en programas de concientización sobre la importancia del agua y en la aplicación de mecanismos de vigilancia y control de las concesiones y vertimientos. También se dispone para este fin de instrumentos como tasas por uso y retributivas, que inducen a la racionalidad en el consumo y que promueven la equidad con respecto a los costos y beneficios del uso y el mantenimiento de un

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

recurso de dominio público, que el Estado concesiona sin costo. Una derivación interesante para el caso colombiano podría ser que los propietarios de los terrenos donde nacen cursos de agua o de ecosistemas importantes para la conservación de la oferta ambiental, obtuvieran concesiones que les generaran ingresos por mantener la oferta hídrica arrendando estos derechos a los propietarios aguas abajo para sus labores productivas.

Las tasas retributivas y compensatorias, creadas como instrumentos para racionalizar el comportamiento de los usuarios en busca de mantener una oferta de agua de buena calidad y más racionalmente usada, forman parte del arsenal de instrumentos para la gestión eficiente del agua. El potencial de estos instrumentos no ha sido aprovechado en Colombia, y desafortunadamente su carácter de instrumentos económicos para inducir cambios de comportamiento en los usuarios no refleja mejoras de la calidad y la cantidad del recurso. Nuevamente aquí surge el criterio de equidad, que implica que cumpla el principio del contaminador pagador, de manera que el usuario del agua pague los costos correspondientes a su tratamiento para hacerla apta para los usos previstos después de que la devuelve al curso de agua.

Para establecer la magnitud de los caudales disponibles para los diversos usos, es necesario tener en cuenta el orden de prioridades vigente que refleja su importancia para la sociedad, en la cual la satisfacción del consumo humano ocupa el primer lugar, seguido por los usos agropecuarios e industriales y por último la generación de energía hidroeléctrica. El otorgar concesiones para los diversos usos implica el conocimiento de las fuentes hídricas en cuanto a su caudal, sus variaciones y condiciones de calidad. Además de estos usos está uno menos conocido y que muchas veces se ignora, pero fundamental: el caudal ecológico, que corresponde al flujo que debe haber en una corriente para garantizar su adecuado funcionamiento ecosistémico.

Dado el crecimiento de la demanda de agua para usos consuntivos y no consuntivos, el reúso del agua es una alternativa muy interesante, siempre y cuando el agua que se devuelve al ambiente cumpla con los estándares requeridos por los usos a los que se destinará. Esta posibilidad estimula el tratamiento de las aguas residuales, si el vertedor se beneficia por el agua que utiliza y trata antes de devolverla al ambiente.

Disponer de agua pura para beber es el más obvio, pero apenas uno de sus usos. Es claramente el uso prioritario del recurso, pero no representa sino alrededor del 5% del consumo total. Sin embargo, el mercado del agua para beber tiene ya unas dimensiones insospechadas y que no parecen reales, creadas artificialmente por un prurito poco convincente de calidad y de salud. Por ejemplo, el agua embotellada genera un mercado de 7 billones de dólares anuales en los Estados Unidos y en el mundo su valor se ha multiplicado por 80 entre los años 1970 y 2000. Su precio es varias veces superior al de la leche o la gasolina e incluso al de las gaseosas que son fabricadas con agua. Es el mercado del agua que más se ha desarrollado pero no el único posible.

La agricultura consume alrededor del 60% del agua que usamos y cada vez tendremos mayor demanda motivada en una población creciente con mejores ingresos y una menor disponibilidad tanto por la cantidad de agua disponible como por su decreciente calidad. Los sistemas de riego tradicionales son enormemente ineficientes y se utilizan mal, por lo cual sus efectos sobre el suelo son sumamente graves. Esta situación abre el campo al desarrollo y la difusión de sistemas tecnificados y sostenibles, que ofrecen un gran potencial de ahorro de agua y de dinero. El uso del riego por goteo y con control automático y otros similares ofrecen una oportunidad muy importante para ahorrar agua.

Pero además, el futuro ofrece otras posibilidades muy interesantes si entendemos el agua no solamente como un bien indispensable para la vida, sino además como un recurso estratégico, de manera que el país aproveche de su riqueza hídrica natural y la convierta en un factor sostenible de desarrollo.

Los posibles aprovechamientos no convencionales del agua en nuestro país abarcan desde la hidroenergía, resultado de la abundancia de agua y el fuerte relieve, con miras a la exportación de energía eléctrica hacia Centro y Suramérica, mediante la interconexión con estas regiones, hasta la comercialización del recurso mismo, bien sea para consumo humano o para otros como el agrícola o el industrial.

Naturalmente estas posibilidades deben considerar en primer término el interés nacional, entendiendo el agua como un bien público cuyo aprovechamiento debe beneficiar en primer término a los colombianos y desarrollarse mediante el uso de tecnologías de alta eficiencia y bajo impacto. Los proyectos deben basarse en criterios de diseño y operación que eviten los demoledores efectos de las grandes presas sobre el ecosistema y las comunidades. La participación activa y real de las comunidades

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

afectadas por los proyectos es fundamental en este nuevo enfoque, al igual que la armonización de la planeación de los proyectos con los instrumentos de planificación regionales y locales, como planes de ordenamiento y de gestión y desarrollo de los entes territoriales y las autoridades ambientales.

La posibilidad de exportar excedentes de agua de diversas partes del país para usos como el agrícola o el industrial hacia países que presentan escasez de agua merece una exploración con profundidad. Dar valor económico al mantenimiento de las condiciones ambientales para lograr "producir" agua de manera permanente y sostenible puede ser una alternativa muy atractiva para estimular la conservación, entendiéndola como un uso productivo del suelo y generar ingresos a las comunidades y propietarios de estas áreas, evitando la deforestación y los usos depredadores como la ganadería y los cultivos insostenibles e ilícitos.

20. Conclusiones

La situación del recurso hídrico en Colombia, en términos generales, no alcanza los niveles críticos que acusa en muchos otros países del mundo. Sin embargo, se evidencian síntomas de alarma en términos de abastecimiento en algunos municipios y áreas urbanas en donde se deben definir políticas para la planificación, manejo y utilización del recurso hídrico para prevenir futuras crisis.

En los próximos años no solamente continuará aumentando la demanda de agua para sus diferentes usos humanos y económicos, sino que, la oferta aprovechable del recurso puede reducirse aceleradamente de continuar las tendencias actuales de deforestación y la ausencia casi total de tratamiento de las aguas residuales.

En resumen, Colombia dispone de unas cantidades muy significativas de agua para satisfacer sus necesidades y el gran problema que se avizora es el de la mala calidad del agua antes que su escasez. Es decir, que los problemas relacionados con el agua dependen más de su manejo y control que de su disponibilidad natural.

En este sentido, para la toma de decisiones, es fundamental avanzar en instrumentos de planificación como los que actualmente propone la política nacional para la gestión integral del agua, así como instrumentos como el estudio nacional del agua, que permite avanzar en el análisis de la información para identificar el estado del arte del recurso hídrico en nuestro país.

El estudio nacional del agua (IDEAM, 2010) menciona que es necesario fortalecer el monitoreo y los sistemas de información para obtener datos más actualizados y representativos de la realidad.

También es necesario avanzar en los estudios de aguas subterráneas, ya que constituyen un recurso fundamental para el abastecimiento de agua de las futuras generaciones, teniendo en cuenta el descenso en disponibilidad de agua superficial para atender las demandas de agua de nuestra población.

El cambio climático es un hecho a tener en cuenta a la hora de analizar la información, y Colombia no es una excepción, dado que el efecto de la variabilidad climática natural hoy en día suscita enormes riesgos a los sectores sociales y económicos debido a la intensidad de los eventos que se vienen presentando en los últimos años. Por este motivo, los análisis a futuro deben tener en cuenta las proyecciones de agua ante escenarios de variabilidad climática y cambios en los usos y coberturas del suelo.

El IDEAM recomienda desarrollar estrategias de adaptación a la actual variabilidad climática del país dentro de los planes de gestión y ordenación del territorio y del recurso hídrico, estrategias que estarían en pro del aumento de la capacidad de adaptación al cambio climático.

Se espera que la evolución en términos de políticas, como el que propone la Política Nacional para la Gestión Integral de Recurso Hídrico, permita hacer una mejor planificación y control del recurso hídrico; sin embargo, la desarticulación interinstitucional e intersectorial pone en tela de juicio su efectividad y se convierte en una amenaza latente para el cuidado y protección del mismo.

21. Referencias

1. ALLEN, R. N., 1972. The Anchicayá hydroelectric project in Colombia: design and sedimentation problems. En: M. T. Farvar y J. P. Milton (Eds). The careless technology. Ecology and International Development. Natural History Press: 318-342.
2. CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA. Estado de los recursos naturales y el ambiente 2007-2008. Editorial Imprenta Nacional, mayo de 2007.
3. GUHL NANNETI, ERNESTO. La Gobernanza del Agua, ¿Pública o privada? Diario El Tiempo, 19 de marzo de 2009.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

4. GUHL NANNETI, ERNESTO. El agua en el futuro sostenible de Colombia: para que queremos el agua? Economía Colombiana Ed. 312, Revista de la Contraloría General de la Republica, mayo de 2006.
5. HERNANI, A. y J. J. RAMÍREZ, 2002. Aspectos morfométricos y teóricos de un embalse tropical de alta montaña: represa La Fe, El Retiro, Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias, 26(101): 511-518.
6. IDEAM-Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. El medio ambiente en Colombia, 2da. edición, Bogotá, agosto de 2001.
7. IDEAM-Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2005. Estudio Nacional del Agua.
8. IDEAM. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia, (2008). Estudio Nacional del Agua-Relaciones de Demanda de Agua y Oferta Hídrica.
9. IDEAM-Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2010. Estudio Nacional del Agua.
10. IDEAM. El Estudio Nacional del Agua: un compendio sobre el recurso hídrico en Colombia, Efraín Antonio Domínguez Calle, Grupo de Investigación en Hidrología, noviembre de 2005.
11. IDEAM, 2007. Presentación Mitos y realidades sobre el consumo de agua en Colombia, Hebert Gonzalo Rivera, Ingeniero Hidrólogo, Ph. D., Subdirección de Hidrológica, Barranquilla.
12. IDEAM, 1998. Los glaciares colombianos, expresión del cambio climático global.
13. IDEAM-UNAL, 1997. Estudio de Alta Montaña Colombiana.
14. MANCERA, N. y P. CALA, 1997. Aspectos bioecológicos de la comunidad íctica asociada a un cultivo de tilapia roja en jaulas flotantes en el embalse de Betania, Colombia. Dalia Revista de la Asociación Colombiana de Ictiología 2:31-53.
15. MÁRQUEZ, G. y G. GUILLOT, 2001. Ecología y efecto ambiental de embalses. Aproximación con casos colombianos. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 218 pp.
16. MEDINA, H., 1983. Problemas de operación de origen ambiental en la Central Hidroeléctrica de Guatapé. Revista EE.PP.MM., 5(1):53-77.
17. OROZCO, A., 1981. Fósforo y eutroficación en la protección de los recursos hidroenergéticos del departamento de Antioquia. Revista AINSA, No. 1, Año 1, agosto de 1981.
18. RAMIREZ, J. J., 1999. Limnología de represas de altitud en Colombia con énfasis en los embalses la Fe y El Peñol. Ecología de Reservatórios, 4:79-107.
19. RAMIREZ, J. J., C. BICUDO, G. ROLDÁN y L. C. GARCÍA, 2000. Temporal and vertical variations in phytoplankton community structure and its relation to some morphometric parameters of four Colombian reservoirs, Caldasia 22(1):108-126.
20. RAMIREZ, J. J., C. BICUDO, G. ROLDÁN y L. C. GARCÍA, 2001. Variación vertical de parámetros físicos y químicos en cuatro embalses tropicales y su relación con el área, la altitud y el tiempo de retención hidráulica. Acta Limnol. Bras., 13:19-34.
21. ROLDÁN. G., 1978. Problemas de eutroficación en lagos y embalses colombianos. Revista Contaminación Ambiental, 2(3): 51-56.
22. ROLDÁN, G., 1982. Algunas consideraciones ecológicas acerca de los embalses. Revista Contaminación Ambiental,6(10): 13-20.
23. ROLDÁN, G., M. CORREA, T. MACHADO, J. J. RAMÍREZ, L. F. VELÁSQUEZ y F. ZULUAGA, 1984. Estudio Limnológico de la represa El Peñol. Actual. Biol., 13(50):95-105.
24. ROLDÁN, G., 1988. Guía para el Estudio de los Macroinvertebrados Acuáticos del Departamento de Antioquia. Fondo FEN-Colombia, Ed. Presencia Ltda., Bogotá, 217 pp.
25. ROLDÁN, G., 1992. Fundamentos de Limnología Tropical. Ed. Universidad de Antioquia, Medellín, 529 pp.
26. ROLDÁN, G., A. BOHÓRQUEZ, R. CASTAÑO y J. I. ARDILA, 2000. Estudio limnológico del embalse de El Guavio, Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Físicas, Exactas y Naturales. XXIV (90): 73-84.
27. ROLDÁN, G y E.RUÍZ, 2001. Development of Limnology in Colombia. In: Wetzel, R. y B. Gopal: Limnology in Developing Countries. 3:69-119. International Association of Theoretical and Applied Limnology-SIL.
28. ROLDÁN, G., 2002. Treating industrial wastes in Colombia using water hyacinth. Waterlines, 21(1):6-8.
29. ROLDÁN, G., 2003. La bioindicación de la calidad del agua en Colombia. El método BMWP/Col. Ed. Universidad de Antioquia, Medellín, 170 pp.
30. ROLDÁN, G. y J. J. RAMÍREZ, 2008. Fundamentos de limnología neotropical. 2da. edición. Ed. Universidad de Antioquia, Medellín, 440 pp.
31. SALAZAR, A. y R. DÍEZ DE ARANGO, 1987. Control de plantas acuáticas en el embalse La Fe. Revista AINSA, Medellín, 2:7-31.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

32. SIERRA, O. y J. J. RAMÍREZ, 2000. Variación espacio-temporal de biopelículas asociadas a sustratos artificiales en la represa La Fe, El Retiro, Antioquia, Colombia. Actual. Biol., 22:153-168.
33. Universidad de los Andes, MAVDT, 2002. Bases para la formulación de un Plan Nacional de Aguas Residuales.
34. URIBE, A. y G. ROLDÁN, 1975. Estudio comparativo de algunas características fisicoquímicas y biológicas del embalse El Peñol (Nare). Actual. Biol., 4(11):2-12.
35. VALDERRAMA, M., 1984. Análisis de la situación actual y perspectivas de desarrollo pesquero en embalses de Colombia. Divulgación Pesquera, INDERENA, Bogotá, XXII (2, 3, 4):72-91.
36. VALDERRAMA, M., 1985. Embalses y problemática pesquera, Colombia. Ciencia y Tecnología, Vol. 3(3):11-14, Colciencias, Bogotá.
37. VARGAS, R. A. y J. J. RAMÍREZ, 2002. Variación espacio-temporal de las tasas de sedimentación del material sestónico en un embalse tropical de alta montaña: represa La Fe, El Retiro, Antioquia, Colombia. Actual. Biol. 24(77):13-170.
38. VEGA, E. R. DÍEZ y O. RUIZ, 1992. Limnología de dos embalses del oriente antioqueño. Contaminación Ambiental, Antioquia, 13:10.
39. http://aupec.univalle.edu.co/informes/abril97/paraiso.html

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Laguna Azul, río Celeste, Parque Nacional Volcán Tenorio, Costa Rica
http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Laguna_azul,_Rio_Celeste,_Parq_Tenorio.jpg

PARA USO RESTRINGIDO

Los recursos hídricos en Costa Rica

Un enfoque estratégico

Hugo G. Hidalgo
Escuela de Física y Centro de Investigaciones Geofísicas de la Universidad de Costa Rica

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Palabras clave: hidrología, clima, hidrología de superficie, aguas subterráneas, sequía, inundación, manejo, calidad de aguas, agricultura, suministro de agua, industria, ley de aguas.

1. Introducción

En este documento se presenta un diagnóstico del estado de los recursos hídricos terrestres de la República de Costa Rica. En comparación a una gran cantidad de países del mundo, Costa Rica tiene una amplia disponibilidad de agua (alrededor de 25,900 $m^3/hab.^{-1}/año^{-1}$) y un porcentaje muy bajo de uso (alrededor de 2.4%). Esto hace a Costa Rica un país con un estrés hídrico muy bajo. Sin embargo, estos promedios nacionales son indicadores deficientes del potencial de explotación adicional del país y de la situación de estrés en algunas regiones en términos de abastecimiento y de la calidad de los recursos hídricos. De hecho, cuando se toman en cuenta limitaciones como la conservación de agua para garantizar la sostenibilidad de los recursos naturales y el desarrollo socio-económico, el porcentaje de uso adecuado del agua puede ser un número muy bajo. Esto sugiere que más y mejores estudios de manejo y planeamiento integrado de cuencas son necesarios para optimizar el uso de los recursos hídricos. Durante los últimos 20 años, Costa Rica ha sido reconocido como un país amigable con el ambiente, gracias a sus esfuerzos de conservación y la protección de ecosistemas, pero esto contrasta con la severa contaminación de ríos y acuíferos urbanos. Aunque algunos de estos problemas de décadas se están finalmente empezando a resolver, hay mucho por hacer en el futuro cercano. Mejores estudios de manejo y planeamiento integrado de cuencas son necesarios. La protección de los recursos naturales del país para las generaciones futuras es un gran reto que requerirá el soporte, consenso y coordinación de muchos sectores de la sociedad.

2. Antecedentes

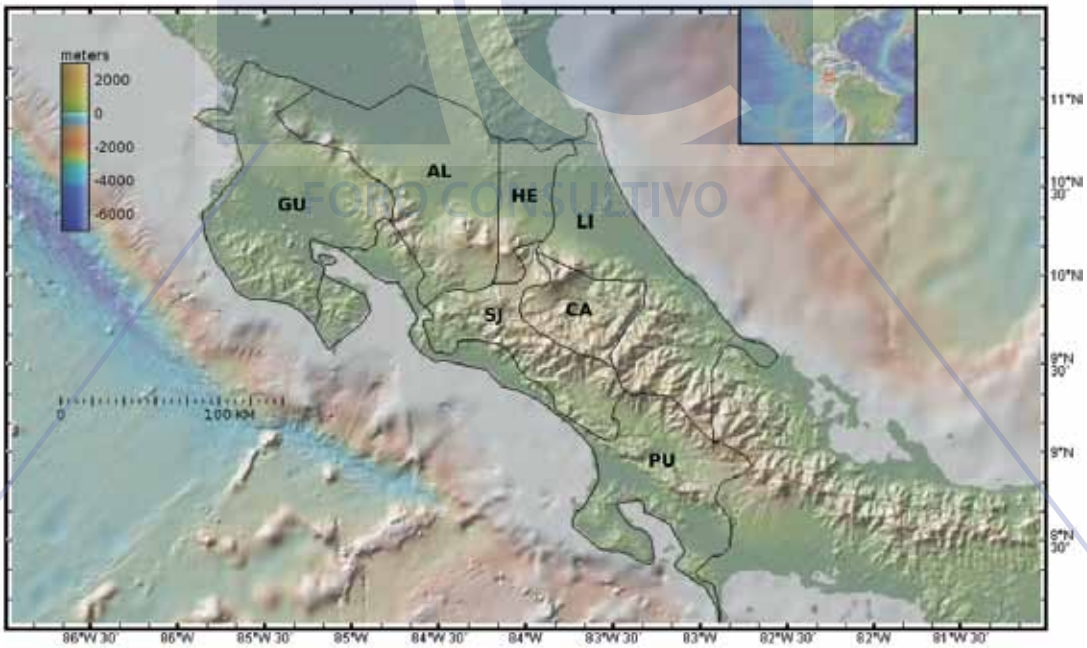
La República de Costa Rica obtuvo su independencia de la Corona Española en 1821 y es considerada la democracia más antigua y sólida de Latinoamérica. Aunque desde su emancipación han habido disturbios del orden institucional (como en el resto de los países de la región), desde 1948 el país ha consolidado un sistema democrático que es considerado ejemplar en el mundo.

Históricamente, el agua ha participado en el desarrollo social, económico y cultural de Costa Rica, pero su relativa abundancia ha creado la impresión de que era un recurso infinitamente renovable. Sin embargo, la historia ha mostrado que la calidad de los recursos hídricos ha ido cambiando a través del tiempo con graves consecuencias para los humanos y el ambiente.

El agua era un recurso natural de gran importancia para el desarrollo de las sociedades aborígenes antes de la llegada de los españoles, y se usaba para transporte, producción de alimentos y para rituales religiosos. Con la llegada de los españoles, la disponibilidad y calidad del recurso cambiaron dramáticamente, en parte causado por la deforestación (Vargas Sanabria, 2003).

La producción agrícola (especialmente café y banano) formó la base del desarrollo temprano del país y continúan siendo importantes hoy en día. En el siglo XIX, el desarrollo de la agroindustria, junto con el procesamiento de café, banano, azúcar y licor de caña de azúcar, aumentó la demanda de agua e inició la contaminación de los ríos. Sin embargo, a través de los años parte de la riqueza obtenida de esta producción se empleó de buena manera, ya que ayudó a financiar los sistemas de educación y salud. La buena decisión de abolir el ejército en 1948 fue clave para mantener la estabilidad política y permitió que más recursos económicos se destinaran a programas sociales. Los programas de abastecimiento de agua y sanitarios se beneficiaron de estos fondos que de otra manera hubieran sido utilizados en armas. Tristemente, la falta de conciencia ambiental también permitió que el desarrollo de Costa Rica en gran parte del siglo XX se efectuara sin ninguna consideración a la calidad de aguas en los ríos ni la conservación de los bosques o suelos. Afortunadamente esto empezó a cambiar al final del siglo XX, y ahora Costa Rica está considerado como un país amigable con el ambiente. Esto contrasta con los problemas de contaminación severa que todavía persisten en los ríos urbanos, por ejemplo. Mien-

Figura 1. Límites y divisiones administrativas internas de la República de Costa Rica



El país se divide en siete provincias: San José (SJ), Alajuela (AL), Heredia (HE), Cartago (CA), Puntarenas (PU), Limón (LI) y Guanacaste (GU)

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

tras que probablemente tomará un esfuerzo continuo de muchos años dirigir la atención a todos los problemas relacionados con deforestación, sobreexplotación y calidad de los recursos hídricos, hay indicaciones de que se están llevando a cabo esfuerzos incipientes para limpiar el ambiente y garantizar sostenibilidad. Éste es un reto significativo que requerirá de la participación de muchos sectores de la sociedad, pero que también resultará en una mejor calidad de vida para las futuras generaciones.

3. Recursos hídricos nacionales y su uso

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Costa Rica está localizada en la parte sur de Centroamérica. La parte continental del país puede enmarcarse entre 8° 02′ 26″ a 11° 13′ 12″ latitud norte y 82° 33′ 48″ a 85° 57′ 57″ longitud oeste (Figura 1; INEC, 2004). Costa Rica presenta un rango de elevaciones desde cero metros sobre el nivel del mar (msnm) en las costas Pacífica y Caribe, hasta 3,810 msnm en el Cerro Chirripó, el pico más alto en la Cordillera de Talamanca que delimita la división continental en la parte sur del país. Costa Rica se extiende por aproximadamente 51,102 km² y está dividida en siete provincias: San José (SJ; 4,966 km²), Alajuela (AL; 9,758 km²), Heredia (HE; 2,657 km²), Cartago (CA; 3,125 km²), Puntarenas (PU; 11,266 km²), Limón (LI; 9,189 km²), y Guanacaste (GU; 10,141 km²). Una pequeña isla (de alrededor de 24 km²) en el Océano Pacífico (05° 31′ 08″ norte y 87° 04′ 18″ oeste) conocida como la "Isla del Coco" está también bajo soberanía nacional desde 1869. El estimado de población de 2008 fue de 4,451,262 habitantes (INEC, 2008) y el Producto Interno Bruto (PIB) fue estimado en alrededor de US$ 29,800 millones (COMEX, 2008).

Costa Rica está localizada en la ecozona (o reino biogeográfico) Neotropical, con un clima intertropical (tropical y subtropical) que resulta en una gran disponibilidad relativa de lluvia durante gran parte del año en gran parte del país. La época seca en gran parte del país se extiende de diciembre a abril y, consecuentemente, la época lluviosa de mayo a noviembre. La diversidad en la topografía, exposición, distancia a la costa y el predominio de patrones de circulación atmosférica durante el año resulta en grandes variaciones espaciales y temporales en la precipitación y en una relativa abundancia de microclimas contrastantes (ver también Amador *et al.*, 2000). Por ejemplo, la precipitación anual promedio es del orden de menos de 1.5 m en las llanuras costeras de Guanacaste y en los valles de Cartago, a más de 8 m en la Cordillera de Talamanca, con un promedio nacional de alrededor de 2.9 m (UN, 2006). La temperatura anual promedio es de poco menos de 5°C en la cima de las montañas más altas y a más de 28°C en las llanuras guanacastecas (IMN, 1985; UNESCO, 2007), pero con pequeñas variaciones estacionales.

El promedio anual del total de recursos hídricos renovables (ATRHR) se ha estimado en alrededor de 112 km³ (UN, 2006; Peter H. Gleick and Associates, 2008; CIA, 2009) o más de 25,900 m³/hab./año en la mayoría de los estudios consultados, pero en otros estimados puede ser tan alto como 170 km³ (Ministerio de Salud y Organización Panamericana de la Salud, 2003; Vargas Sanabria, 2003). Esto sugiere que en promedio Costa Rica tiene una amplia disponibilidad de agua dulce en forma absoluta. Excepto quizás por países de Sudamérica y Oceanía, muchos de los países del mundo y de la región tienen considerablemente menores ATRHR. Sin embargo, como se discutirá en ésta y en las siguientes secciones, esta gran disponibilidad esconde serios problemas de sobreexplotación y severos casos de contaminación de ríos y acuíferos urbanos generalmente asociados al crecimiento sin control (ver, por ejemplo, OD, 2001). En las últimas dos décadas, la acumulación de viejos y nuevos problemas en el abastecimiento y calidad de aguas (algunos de los cuales han resultado en una incidencia creciente de conflictos locales por el agua (OD, 2001) y el desarrollo de una mejor conciencia ambiental en los habitantes (junto con un aumento mundial y local de la conciencia de la necesidad y el valor de la protección ambiental) han ayudado a empezar a reducir la apatía en la sociedad (ver también Monge Flores, 2009). Desafortunadamente, hay serios obstáculos que deben enfrentarse para poder resolver estos problemas que no son solamente de naturaleza económica, sino también debidos a: a) la falta de legislación adecuada, b) una estructura institucional inadecuada y c) la falta de maneras o deseo genuino de alcanzar consenso para proteger los recursos naturales (ver también Programa Estado de la Nación, 2009).

Cerca de dos tercios del ATRHR están disponibles como agua superficial y un tercio como agua subterránea (UN, 2006). Hay un total de 13 cuencas principales en el país. Cuatro de ellas drenan hacia el Océano Pacífico; tres drenan hacia el río San Juan que delimita parte de la frontera norte con Nicaragua, y las restantes seis drenan hacia el Caribe (Cuadro 1). Esas 13 cuencas principales se subdividen en 44 subcuencas pequeñas que incluyen cuatro de la Isla del Coco. En términos de aguas subterráneas, el principal acuífero en el Caribe se llama "La Bomba" y está localizado en la margen izquierda del río Banano. La zona de drenaje del norte no se ha estudiado y no existe mucha

Cuadro 1. Características de los principales ríos de Costa Rica

Vertiente	Nombre	Longitud (km)	Área cuenca (km2)
Pacífico	Tempisque	136	3,400
	Grande de Tárcoles	94	2,150
	Parrita	108	1,273
	Grande de Térraba	160	5,000
Atlántico	Reventazón-Parismina	145	3,000
	Pacuare	108	882
	Matina-Chirripó	92	416
	Banano	N.D.	204
	Estrella	52	1,002
	Sixaola	146	2,700
Norte (Río San Juan)	Frío	52	1,551
	San Carlos	135	2,650
	Sarapiquí	84	2,150

Fuente: Ministerio de Salud *et al.* (2003). Los datos no disponibles se denotan con la abreviatura N.D.

información hidrogeológica. Los principales acuíferos de la cuenca de drenaje del Pacífico están localizados en los ríos Tempisque, Grande de Térraba y Barranca (Cuadro 2; Ministerio de Salud *et al.*, 2003). Hay cuatro zonas que concentran la mayoría de la demanda de agua subterránea: a) La Gran Área Metropolitana (GAM) de la capital de San José y otras ciudades circundantes (que representaban 2.4 millones de habitantes y 4% del área de Costa Rica en 2005), b) Guanacaste, c) Puntarenas y d) Limón. Cerca de 50% del abastecimiento total de agua en estas áreas proviene de fuentes subterráneas. En particular, los acuíferos más explotados del país (Colima Inferior, Colima Superior y Barva) proveen agua a más del 65% de la GAM (Ministerio de Salud *et al.*, 2003).

Costa Rica puede ser considerado un país con un estrés hídrico relativamente bajo (5.1%). Sin embargo, este promedio nacional esconde dramáticos contrastes. Por ejemplo, el índice de extracción de agua subterránea alrededor de la región metropolitana aumentó de 16% a 62.5% entre 1996 y 2000. Esto es equivalente a un estrés hídrico similar o más grande que los valores observados en Egipto, Libia, la Península Arábiga y el Cercano Este (Fernández-González y Gutiérrez-Espeleta, 2002; UNEP, 2003).

Desafortunadamente, el grado de predominio de casos de problemas similares de sobreexplotación local de recursos hídricos es últimamente desconocido por la falta de estudios de valoración y de datos. Sin embargo, el problema parece ser común en Costa Rica debido a inadecuados o inexistentes programas de manejo y planeamiento integrado de recursos hídricos en el país, lo cual tiene implicaciones en el ambiente, la disponibilidad futura, la sostenibilidad de recursos naturales y la calidad de vida. A continuación algunas de las razones por las que se sugiere esto: a) como se mencionó anteriormente, la gran disponibilidad de precipitación y el bajo estrés hídrico en la mayoría del país ha dado como resultado que la sociedad costarricense no se haya preocupado mucho por la escasez de agua y no le haya dado suficiente valor al planeamiento y manejo de los recursos hídricos durante mucho tiempo (Ministerio de Salud *et al.*, 2003), y aunque esto ha cambiado dramáticamente, se han acumulado problemas serios a través de los años debido a esta vieja mentalidad; b) con algunas excepciones (MIVAH *et al.*, 2006; MINAE y IMN, 2007 y otras publicaciones del mismo proyecto), hay una falta de estudios integrados de los recursos hídricos para guiar la planificación y proveer conocimiento sobre la máxima cantidad de agua que se puede destinar a cierto uso o que se puede extraer de un sistema de ríos o acuíferos garantizando la sostenibilidad (UNEP, 2003; Tribunal Latinoamericano del Agua, 2008); c) la cantidad y la calidad de los datos hidrogeológicos de acuíferos deben mejorarse y más datos hidrológicos (mediciones de caudal, humedad del suelo e información de la superficie terrestre) son necesarios para poder producir valoraciones adecuadas de los recursos hídricos; d) la asignación de concesiones de aguas no son consistentes con un estudio integrado de valoración de la cuenca que considere los diferentes usos humanos (abastecimiento de agua, agricultura, industrial), así como otros requerimientos de agua (ambiental, control de inundaciones, operación óptima de embalses, generación hidráulica, ecología, calidad de agua), y que incorpore aspectos como sostenibilidad, cambio climático, monitoreo, reforestación, uso de la tierra y otros aspectos relacionados; e) en la práctica, la construcción y el moni-

Cuadro 2. Principales acuíferos en explotación en Costa Rica. Adaptado de OD (2001)

Nombre	Volumen de extracción ($x10^{-3}$ m^3 s^{-1})
La Bomba (Limón)	30
Río Moín (Limón)	N.D.
Santa Clara (Alajuela)	10
Bagaces (Guanacaste)	380
Tempisque (Guanacaste)	50-100
Barranca (Puntarenas)	N.D.
Colima Inferior (San José)	80
Colima Superior (San José)	750
Barva (Heredia)	20-100

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

toreo de pozos privados (especialmente en zonas rurales) tienen poco o ningún control (Tribunal Latinoamericano del Agua, 2008); f) las leyes de aguas son anticuadas, y g) la urbanización y la tala de bosques rápidas y desorganizadas debido a la falta de leyes y reglamentos de ordenamiento territorial crean una presión grande sobre los recursos hídricos de ciertas regiones (Programa Estado de la Nación, 2009) y también crean presión en las tierras de las nacientes de las cuencas que alimentan a ríos y acuíferos (MINAE *et al.*, 2007; Moreno-Díaz, 2009; ver también OD, 2001).

4. Balance hídrico

Hace algunos años, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés) apoyó un esfuerzo para estimar el balance hídrico nacional de países alrededor del mundo con una metodología común. En Costa Rica, el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) fue el responsable de generar el estudio nacional. El ICE estudió 34 cuencas que cubrían gran parte del territorio de Costa Rica, y en 2007 produjeron un balance hídrico de 1970 a 2002 que consistía en un estimado para cada cuenca del promedio de los totales de precipitación anual, escorrentía, evapotranspiración real (ETR) y del error del balance con la siguiente ecuación (UNESCO, 2007):

$$P - E - ETR + error = 0 \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

Ecuación en la que P, E y ETR son los promedios espaciales y temporales para cada cuenca de precipitación acumulada, escorrentía y evapotranspiración real, respectivamente, y "error" es el término requerido para hacer el lado izquierdo de la ecuación igual a cero (UNESCO, 2007).

En la Figura 3, los datos de la UNESCO (2007) fueron usados para calcular el promedio de contribución de la escorrentía y la ETR comparado a la precipitación total de un año, junto con el estimado del término de error. Como se puede ver, los dos componentes del balance hídrico y el error tienen comparable variabilidad espacial. Los estimados (pesados de acuerdo con área de la cuenca) muestran que relativamente gran parte del agua precipitada por lo general se convierte en escorrentía (65%), mientras que la ETR es cerca de un tercio de la precipitación (este último estimado es consistente con Ministerio de Salud *et al.*, 2003). El término de error es generalmente bajo (1%), lo que sugiere que las suposiciones acerca del almacenamiento en estas escalas de tiempo son generalmente válidas en estas cuencas. Debe notarse que el componente de escorrentía indirectamente incluye la recarga de los acuíferos, ya que no fue considerada de manera explícita en el análisis. Se ha estimado que alrededor de 21% del agua anual es usada para recarga de agua subterránea, la cual puede a su vez convertirse en caudal aguas abajo de las zonas de recarga (Ministerio de Salud *et al.*, 2003).

5. Usos nacionales del agua

El uso anual total está estimado desde 0.54 km^3 o 0.5% del ATRHR (Ministerio de Salud *et al.*, 2003) hasta 2.68 km^3 o cerca de 2.4% del ATRHR (UN, 2006; Peter H. Gleick and Associates, 2008; CIA, 2009). Esta última cifra corresponde a cerca de 619 $m^3/hab.^{-1}/año^{-1}$ (en el año 2000), distribuido en 29% en uso doméstico, 17% en uso industrial y 53% en uso agrícola (Peter H. Gleick and Associates, 2008; CIA, 2009). En la Figura 4 se muestra una comparación entre el uso porcentual de recursos hídricos en Costa Rica y la distribución para otras regiones del mundo. Como se puede ver, el uso por cápita en Costa Rica es significativamente menor que la mediana en muchas regiones del mundo, excepto para Sudamérica y Oceanía.

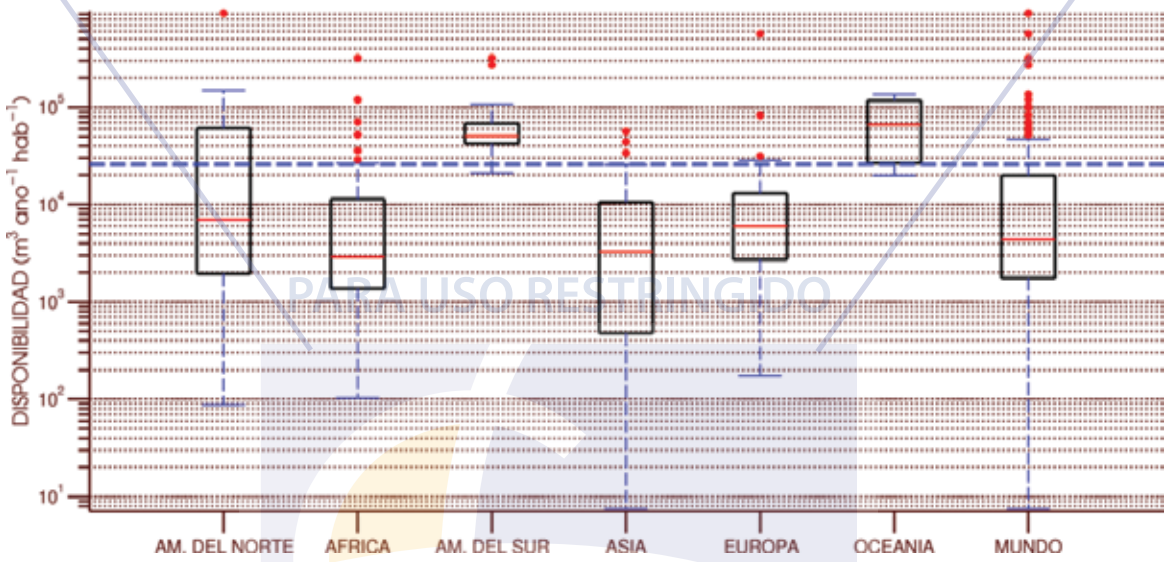
Aproximadamente el doble del volumen de agua que se usa para agricultura es utilizado para generación hidroeléctrica, pero como esta agua es devuelta al río, no se considera en este estudio como parte del consumo anual de 2.68 km^3. Hay plantas hidroeléctricas de diferente capacidad en cerca de 38% de las cuencas (UNA, 2004). Como es el caso en muchas otras regiones del mundo, la producción agrícola es la mayor consumidora de agua. Desafortunadamente, Costa Rica tiene la tasa de consumo de agroquímicos más alta en la región centroamericana, con consecuentes impactos negativos en el ambiente (flora y fauna), suelos, arroyos, ríos y acuíferos (UNA, 2004). Se estima que Costa Rica tiene alrededor de 5,250 km^2 de tierras que podrían ser potencialmente irrigados, pero sólo alrededor de 17% tiene algún tipo de infraestructura de irrigación o está actualmente siendo irrigado. La mayoría de los sistemas están basados en gravedad con muy baja eficiencia. Sorprendentemente, el agua se valora de acuerdo con el área y no con el volumen total, lo cual favorece un sistema de alta demanda, baja eficiencia y poco incentivo para actualizar los sistemas (UNA, 2004).

Algunas formas de uso industrial del agua son: a) ingrediente en los procesos de producción de diversas industrias como la del agua embotellada y la de las bebidas (gaseo-

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

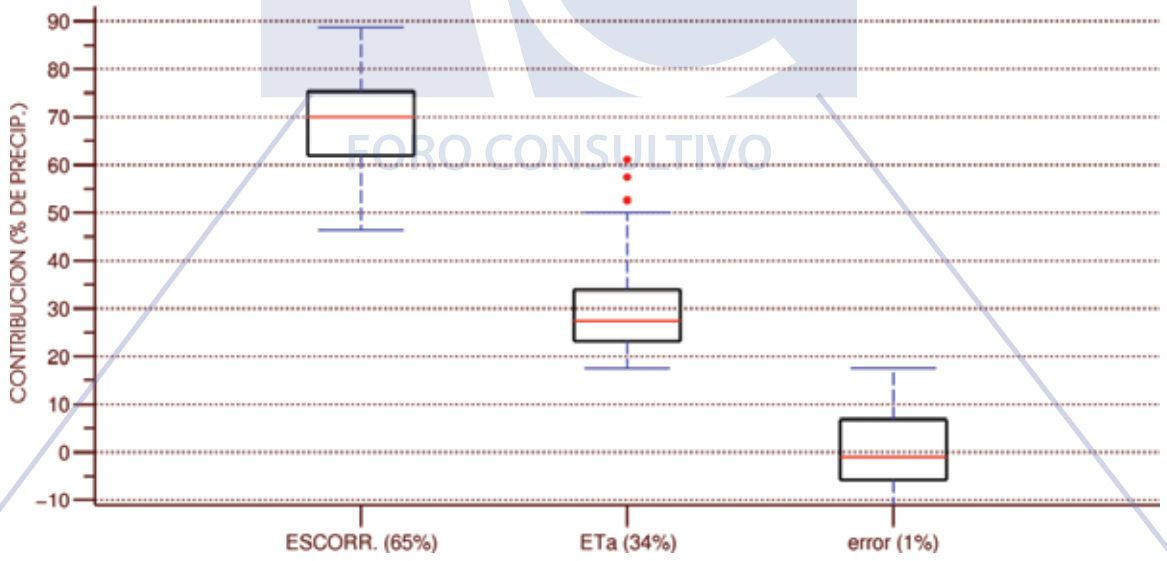
sas, jugos, licores); b) purificación de componentes de alta tecnología y otros; c) transporte de productos; d) mantenimiento y limpieza de equipo e infraestructura; e) en el caso de la industria turística, una fracción del agua se usa en proveer recreación, y f) otros usos relacionados. Debido a la falta de plantas de tratamiento, hay un considerable

Figura 2. Promedio de recursos hídricos renovables anuales per cápita de diferentes regiones del mundo



La línea horizontal correspondiente a Costa Rica es de alrededor de 25,900 m3/hab.$^{-1}$/año^{-1}. América del Norte incluye países de Norteamérica, Centroamérica y el Caribe, y Oceanía incluye países de Oceanía y Australia. Los datos de población son del 2005, pero los datos de disponibilidad varían de 1997 a 2005. Se asume que la disponibilidad no varía significativamente de año a año. El rectángulo está compuesto por los percentiles 25, 50 y 75. Las barras verticales se extienden 1.5 veces el rango entre cuartiles o a la extensión de los datos. Los valores fuera de las barras se consideran extremos y se denotan con un punto como símbolo. (La figura fue construida con datos de Peter H. Gleick and Associates, 2008, con el permiso correspondiente.)

Figura 3. Balance de aguas para 34 cuencas costarricenses de 1970 a 2002



La contribución promedio al balance de aguas de cada uno de los componentes está expresada como porcentajes de la precipitación total acumulada. Los valores entre paréntesis son los promedios obtenidos de una ponderación con respecto al área de las cuencas. ESCORR. corresponde a la escorrentía superficial; ETa es la evapotranspiración actual, y error es el valor necesario para cerrar el balance de aguas. La explicación de los rectángulos está dada en la Figura 2. (Esta figura fue construida con datos de la UNESCO, 2007, con el permiso correspondiente.)

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

impacto provocado por el vertido de aguas residuales industriales (y domésticas) al ambiente (UNA, 2004). Deben reconocerse, sin embargo, los esfuerzos de ciertos sectores de la industria para reducir el uso de agua y adoptar prácticas adecuadas, incluidas certificaciones acordes con normas ambientales (UNA, 2004).

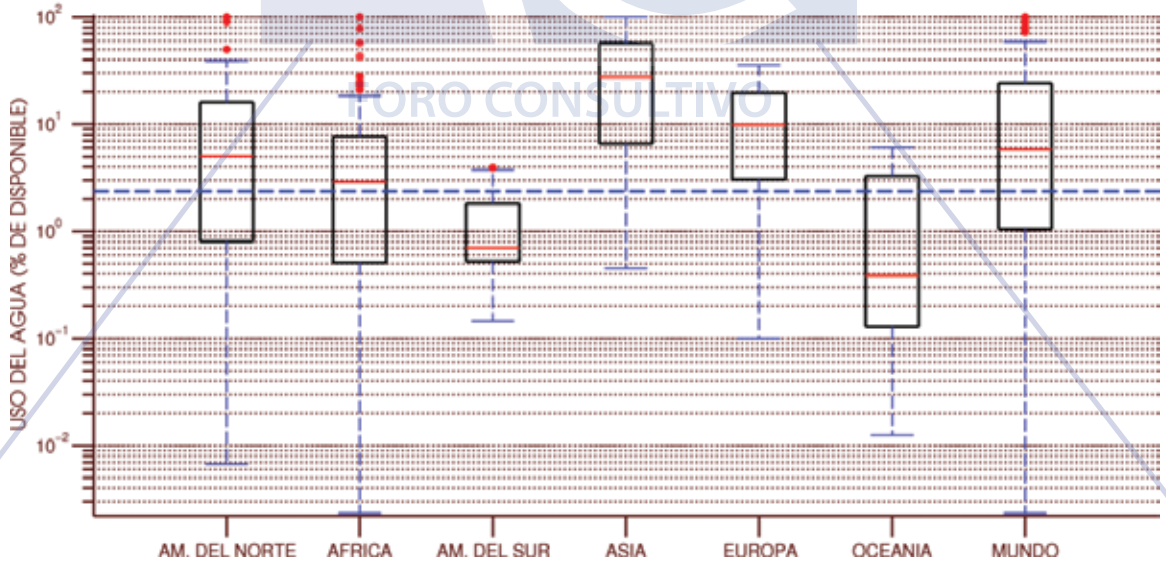
6. Agua y el ambiente

El uso relativamente bajo del agua comparado con el ATRHR y el alto promedio de ATRHR (Figuras 2 y 4) pueden ser indicadores engañosos del potencial de explotación adicional que puede ser sostenible o deseable para cierta región. Por ejemplo, el reporte de 2008 del Estado de la Nación (Programa Estado de la Nación, 2009) -un estudio de diagnóstico que evalúa muchas variables que afectan el desarrollo socioeconómico del país- incluyó por primera vez un estimado de la "huella ecológica" del país. Los resultados son alarmantes, ya que muestran que es más grande la tasa de uso de los recursos naturales que la capacidad del territorio nacional para restaurarlos en aproximadamente 12% (por consiguiente, para satisfacer las necesidades de cada persona se necesitaría 12% más de tierra productiva de la que actualmente hay), y esto tiene implicaciones en la sostenibilidad ambiental. Esto también significa que el país depende de recursos naturales externos y que está, de hecho, "endeudado ecológicamente". La presión creciente en los recursos naturales puede resultar en serias pérdidas en la disponibilidad y calidad de los recursos naturales (componentes clave del desarrollo nacional), lo cual, a su vez, puede comprometer aún más la sostenibilidad ambiental y la calidad de vida de las generaciones futuras (Programa Estado de la Nación, 2009).

Aunque esta deuda está bastante abajo que el promedio mundial de 30% (sobre la capacidad del planeta) o de los resultados para países con menos recursos (El Salvador = 125%) o de patrones de consumo más altos (Estados Unidos = 88%), todavía constituye un porcentaje significativo (Programa Estado de la Nación, 2009). En el Programa Estado de la Nación (2009) dos tipos de acciones se sugieren para ser implementadas en el futuro cercano con el fin de reducir la huella ecológica en Costa Rica: a) es urgente implementar un sistema de ordenamiento territorial que permita una mejor distribución y manejo de los recursos naturales, y b) debido a la relativamente alta importancia de las emisiones de gas carbónico en el cálculo de la huella ecológica, Costa Rica debe mejorar los sistemas públicos y privados de transporte (Programa Estado de la Nación, 2009).

Las limitaciones externas de uso del agua (como las impuestas por la necesidad de proteger ecosistemas terrestres y acuáticos o para lograr el desarrollo sostenible) pueden actuar recíprocamente con otros tipos de limitaciones que pueden resultar en una limitación bastante restringida

Figura 4. Promedio de uso de los recursos hídricos anuales per cápita de diferentes regiones del mundo



La línea horizontal representa el valor para Costa Rica (alrededor de 2.4%). (La figura fue construida con datos de Peter H. Gleick and Associates, 2008, con el permiso correspondiente).

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

en el uso porcentual de agua que se puede extraer de una región determinada. La expresión *"el agua en Costa Rica es abundante pero vulnerable"* (OD, 2001) de alguna forma resume esta idea.

Como reconocimiento a los esfuerzos históricos en conservación ecológica, en las últimas dos décadas Costa Rica ha sido considerado un país generalmente preocupado por el ambiente. Sin embargo, en contraste con esta imagen, todos los ríos urbanos y también muchos acuíferos y suelos están severamente contaminados con residuos sólidos y aguas vertidas de diferentes fuentes, incluida una gran cantidad de aguas negras que es descargada a los ríos sin ningún tipo de tratamiento (Cuadro 3). Hay también severos casos de contaminación de aguas subterráneas identificados en diversos estudios que reportan concentraciones de nitrato en regiones urbanas de casi el doble de los valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OD, 2001). Los tanques sépticos son usualmente construidos sin conocer los niveles freáticos y, por consiguiente, la contaminación de las fuentes de aguas subterráneas con material fecal puede ser un problema generalizado en zonas urbanas (Moreno Díaz, 2009). La GAM presenta los más serios problemas de degradación de los recursos hídricos, y estos efectos se extienden más allá de las ciudades, ya que los grandes ríos (*i.e.* Grande de Tárcoles) transportan las aguas fuertemente contaminadas de las ciudades al océano, lo que afecta de manera severa los ecosistemas costeros y marinos. Los problemas están empezando a emerger en comunidades rurales también debido al rápido desarrollo de pueblos y ciudades fuera de la GAM, en particular en Guanacaste, que ha desarrollado una gran industria turística durante los últimos 15 años con una tasa de crecimiento sorprendente.

Históricamente, las actividades agrícolas también han contribuido de modo considerable a la contaminación de los ríos. Por ejemplo, en los primeros años de la década de los 90 se estimó que cerca de 68% de la contaminación total del agua del Valle Central estaba asociada a las actividades de siembra de café. En los peores tiempos de esos años, la demanda bioquímica diaria de oxígeno para el río Grande de Tárcoles alcanzó 260 toneladas, o la presión equivalente que se registraría por los desechos orgánicos de una población de 47 millones de habitantes, lo cual constituye cerca de 15 veces la población total de Costa Rica. Durante ese tiempo, la preocupación acerca de esta contaminación severa resultó en nuevas regulaciones y programas que redujeron las cargas contaminantes en cerca de 45% en 1998. Sin embargo, como se puede ver en los resultados preocupantes del Cuadro 3, estos esfuerzos tempranos han contribuido sólo de forma marginal a resolver el enorme y complejo problema de la calidad de agua en los ríos urbanos Grande de Tárcoles y Virilla, y falta mucho por hacer en el futuro.

Por fortuna, hay indicaciones de que existen esfuerzos encaminados a empezar a resolver parte de estos problemas que han afectado a la población por décadas. Por ejemplo, un proyecto llamado "Mejoramiento del Ambiente del Gran Área Metropolitana de San José", aprobado por la ley 8559 en el año 2006, está dirigido a restaurar la calidad del agua de muchos de los ríos contaminados de la GAM. El proyecto está bajo la responsabilidad administrativa de una "Unidad Ejecutora del Proyecto" integrada por miembros del Banco Japonés para Cooperación Internacional y el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), institución local a cargo del abastecimiento de agua potable, alcantarillado sanitario y eliminación de aguas negras (AyA, 2007; OD, 2001). En la primera fase del proyecto (2010 al 2012) se construirá una gran planta de tratamiento que eventualmente procesará las aguas contaminadas de 65% de la población de la GAM, o de cerca de 1,070,000 personas. Esto resultará en un mejoramiento de la cobertura de 3.5% a cerca de 27%. En la segunda fase, la cobertura será aumentada a cerca de 1,600,000 personas. El agua tratada tendrá 90% menos contaminación comparada a las cargas actuales y cumplirá con las regulaciones nacionales (Chaves, 2009).

Junto con otros esfuerzos, se han desarrollado estudios desde 1989 para determinar la calidad del agua en los acuíferos del Valle Central basados en monitoreo continuo. El proyecto ha sido desarrollado con la participación y coordinación de varias instituciones que incluyen el AyA, el Servicio Nacional de Riego y Avenamiento (SENARA), la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA, por sus siglas en inglés) y la Universidad Nacional (UNA). Parte de las actividades incluyen monitoreo de varios ríos y pozos en el área metropolitana para determinar correlaciones con aguas subterráneas. Las fuentes de contaminación de aguas subterráneas han sido identificadas por medio de análisis de O18 y N15 (Salazar, 1998).

7. Agua potable, sanitaria y salud

En 2008, cerca de 83% de la población tenía acceso a agua potable y más de 99% de la población tenía acceso a agua adecuada para uso humano como aseo personal, cocina, sanidad y jardinería (Programa Estado de la Nación,

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 3. Concentraciones promedio de algunos indicadores de calidad de agua en dos de los ríos más contaminados de la GAM de 1997 a 1999

Punto de monitoreo	TOC (1.5-2.5 mg/L)	BOD (3-5 mg/L)	COD (10 mg/L)	DO (4 mg/L)	FC (200/100 mL)[a]	A (0.5 mg/L)[b]	P (1.5-2.5 mg/L)
Río Virilla Oeste de la ciudad de San José	13.60	19.00	62.5	6.20	4,246 k	3.65	667.66
Río Grande de Tárcoles Confluencia con el río Virilla	9.01	13.89	33.00	6.20	168 k	1.21	0.47
Río Grande de Tárcoles Salida hacia el océano	7.08	14.29	42.20	6.32	107 k	0.92	4.95

[a] Para irrigación
[b] Valor recomendado = 0.05 mg/L
Las concentraciones máximas permitidas están mostradas en los títulos. TOC: carbono orgánico total. BOD: demanda bioquímica de oxígeno. DO: oxígeno disuelto. FC: coliformes fecales. A: amonio. P: fósforo.

2009). En 2004, cerca de 92% de la población tenía acceso a alguna forma de servicio sanitario, comparado a 52% en 1970 (Peter H. Gleick and Associates, 2008). Sin embargo, las estimaciones de 2000 también mostraron que 64% de la población disponía de tanques sépticos (en vez de un sistema de alcantarillado de aguas negras) como el único modo de disponer de las aguas negras, y este porcentaje tendía a aumentar a través de los años (OD, 2001). Los tanques sépticos son una fuente de contaminación debido a la infiltración de patógenos y nitratos en los suelos. Por otra parte, los sistemas de alcantarillado sanitario que incluyen plantas de tratamiento previenen la contaminación de aguas subterráneas y superficiales. El gran porcentaje de tanques sépticos es entonces una indicación de que enfrentar el problema de contaminación de aguas subterráneas puede ser un esfuerzo costoso y complejo.

La relativamente alta disponibilidad de agua limpia, junto con la inversión oportuna en salud pública en el pasado, se pueden considerar como dos de las razones detrás de los relativamente buenos índices de salud de Costa Rica comparados con otros países de Latinoamérica y Centroamérica. Sin embargo, la degradación del ambiente y de los cuerpos de agua en el país, pero en particular en la GAM durante las últimas tres décadas, están empezando a ser cada vez más costosas en términos humanos y económicos. De hecho, se ha estimado que los costos anuales de la contaminación en términos de pérdida de productividad y el tratamiento de enfermedades asociadas suman alrededor de $325 millones, divididos en los $122 millones de las áreas de las ciudades conectadas al sistema de alcantarillado sanitario y los $203 millones de las áreas con tanques sépticos (Moreno Díaz, 2009). Las heces contienen patógenos, que es un nombre dado a los diferentes tipos de virus, protozoarios y organismos que transmiten enfermedades como el cólera, la fiebre tifoidea, fiebre paratifoidea, gastroenteritis, enteritis por rotavirus, diarrea, disentería y hepatitis A, entre otras. En los países en desarrollo, las enfermedades causadas por estos patógenos son una de las más importantes causas de muerte prematura, especialmente en niños (Moreno Díaz, 2009).

8. Uso de la tierra: deforestación y degradación del suelo

La deforestación debe ser un asunto de mucha preocupación en toda sociedad, ya que está asociada con múltiples tipos de impactos ambientales devastadores como: degradación del suelo, pérdida de la capa superior fértil del suelo por arrastre hidráulico, derrumbes, aumento en eventos hidrológicos extremos (inundaciones y sequías), reducciones en la recarga de los acuíferos, pérdida de productividad, desertificación, degradación de la calidad del aire relacionada con tormentas de polvo, sedimentación en ríos, pérdida de diversidad de la vida silvestre, pérdida de valor recreacional y pérdida de madera. La deforestación en los bosques lluviosos tropicales puede tener efectos globales en el clima y en muchas clases de formas de vida de la Tierra, ya que contienen aproximadamente 25% de las especies de insectos, plantas y animales conocidos. Estos bosques lluviosos representan ecosistemas en extremo sensibles que son los principales proveedores de mucho del oxígeno del planeta. Además, la pérdida de los recursos naturales en regiones deforestadas sin control es usualmente difícil de revertir, lo que, en consecuencia, resulta en la pérdida de la esperanza de un desarrollo sostenible que afecta la calidad de vida de las generaciones actuales y futuras.

Tristemente, desde 1940 hasta la década de los 90, Costa Rica tenía tasas de deforestación extremadamente altas; un período en el cual el país redujo su cobertura boscosa

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

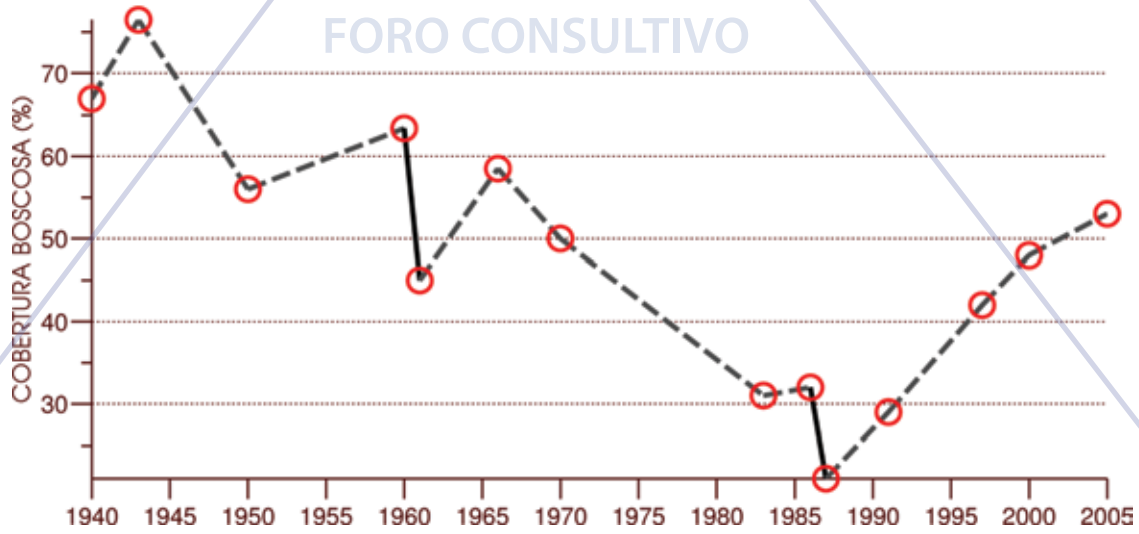
desde más de 75% en 1943 a un mínimo histórico de sólo 21% en 1987 (Figura 5). La deforestación para agricultura y para pastoreo de ganado representan los más grandes contribuyentes de la destrucción de bosque lluvioso en Costa Rica. El mínimo de cobertura al final de los 80 es parte de una época de deforestación descontrolada, particularmente desastrosa, que empezó en los 70, un período caracterizado por crisis económica y en el cual una serie de eventos globales relacionados trajo severos impactos negativos a la economía de Costa Rica. Esto creó un estado de depresión, empobrecimiento y desorden económico, y puso al país en la necesidad crucial de divisas. Ante la desesperación, vastas áreas de bosque lluvioso fueron quemadas y convertidas en fincas de ganado como una manera de prevenir el colapso económico mediante la obtención de las divisas necesarias a través del aumento de exportaciones de carnes de res a los Estados Unidos (un producto que en ese tiempo tenía una demanda extremadamente alta). De hecho, el obtener dólares a través del cortado y la deforestación se volvió una práctica común en Latinoamérica en esos años difíciles (Santiago and Schmidt, 1992). Cuando los Estados Unidos cesaron de importar carne de res, Costa Rica se quedó con millones de hectáreas de tierras deforestadas y con muchas cabezas de ganado. La extensión real de la devastación es resumida por Santiago & Schmidth (1992):

> *"En resumen, las exportaciones de esta nación (Costa Rica) aumentaron casi 500 por ciento desde los 60 hasta finales de los 80. Adicionalmente, las tierras dedicadas al pastoreo de ganado aumentaron de 27 por ciento del área territorial a 54 por ciento del área territorial. La deforestación y la conversión de tierra en pastos en Costa Rica es uno de los desastres ambientales más expansivos y dañinos registrados en la historia moderna, en términos de porcentajes".*

Por fortuna, y contra todos los pronósticos, Costa Rica es hoy uno de los primeros países del mundo que logró revertir la tendencia positiva de deforestación que se registró en el pasado, de manera que la actual cobertura de bosque es significativamente más elevada que la cobertura al final de los 80 (Figura 5). Diversas causas contribuyeron a esto, incluidos factores externos, como la disminución de los mercados internacionales de carne, junto con otros esfuerzos internos para compensar la situación extrema de esos tiempos.

Más recientemente, un posible factor positivo que ha ayudado a la recuperación es el efecto de una serie de incentivos para la conservación de bosques, como el pago por servicios ambientales (PSA) que se inició en 1996 y el cual paga a los dueños de las fincas por conservar los bosques (República de Costa Rica, 1996; ver también Ortega-Pacheco *et al.*, 2009; Redondo-Brenes & Welsh, 2006). El programa nacional PSA se enfoca en la provisión de los servicios forestales como secuestro de carbón, protección de biodiversidad y protección de cuencas (República de Costa Rica, 1996). El PSA es visto por muchos sectores sociales como un esfuerzo positivo para reducir la deforestación.

Figura 5. Cobertura boscosa estimada en años selectos (círculos) durante el período 1940 a 2005 como porcentaje del área del territorio nacional



Adaptado de MINAET, 2009

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

De hecho, un estudio ha mostrado que algunas comunidades en Costa Rica están dispuestas a pagar recibos de agua más altos de manera que se puedan implementar programas PSA locales que protejan sus propios recursos hídricos (Ortega-Pacheco *et al.*, 2009). Además, otros factores que han ayudado a reducir las tasas de deforestación del pasado, como el desarrollo de una conciencia ambiental en una parte más grande de la población y el cambio en la dependencia de la economía hacia actividades que no demandan grandes extensiones de tierra alterada, también han ayudado a detener una situación que de otra manera hubiera sido catastrófica. Por tanto, se debe reconocer que la reducción significativa de tales acciones agresivas en contra de los recursos naturales es, por sí mismo, un logro significativo debido, parcialmente, al esfuerzo de muchas organizaciones gubernamentales y no gubernamentales y de las comunidades.

No es de extrañar, sin embargo, que la recuperación del bosque de esta manera tenga sus inconvenientes. Se ha encontrado que la calidad del bosque secundario es significativamente menor que el bosque original y que, sin un proceso adicional de enriquecimiento, estos nuevos bosques permanecerán relativamente pobres en especies por décadas; además de que la localización de los nuevos bosques puede no ser óptima en términos ecológicos (Baltodano, 2007). Un diagnóstico de las características de los bosques actuales y otras disertaciones se pueden encontrar en Baltodano (2007).

9. Leyes e instituciones relacionadas con el agua[1]

Costa Rica ha firmado muchos tratados internacionales que definen las reglas para establecer soberanía sobre los recursos naturales (incluidos los recursos hídricos), como también para la protección, restauración y vigilancia de ellos. Sin embargo, muchos de estos tratados están dedicados a los recursos marinos y pocos de ellos están relacionados con recursos de agua terrestres (para una lista parcial de tratados ver Salazar, 1998). Un ejemplo de un tratado internacional relacionado con la protección de todos los recursos naturales, marinos y terrestres es la "Alianza Centroamericana para el Desarrollo Sostenible (ALIDES)" suscrito por los gobiernos centroamericanos en 1994. ALIDES fue creado con la intención de establecer un proceso progresista de cambio en la calidad de vida de los seres humanos, el cual implica el desarrollo económico con igualdad social y la transformación de los métodos productivos y de los patrones de consumo basados en el equilibrio ecológico. La alianza establece compromisos regionales en leyes ambientales y de recursos naturales y en leyes que regulan la evaluación de estudios de impacto ambiental, agua, energía, control de contaminación y desarrollo fronterizo.

1 Mucho del material de esta sección fue obtenido bajo permiso de Salazar (1998)

9.1 La Constitución de la República de Costa Rica

En términos de leyes nacionales relacionadas con los recursos hídricos, la actual Constitución de la República de Costa Rica (1949 y enmiendas), la cual es la base del ordenamiento judiciario, establece, en su artículo 6, el dominio del Gobierno de Costa Rica sobre su mar territorial y sobre su zona económica exclusiva de acuerdo con la Convención de la Ley del Mar de las Naciones Unidas (1973 a 1982).

La Constitución también garantiza el derecho de los habitantes a un ambiente sano en su artículo 50:

> *"El Estado procurará el mayor bienestar a todos los habitantes del país, organizando y estimulando la producción y el más adecuado reparto de la riqueza. Toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. Para ello, está legitimada para denunciar los actos que infrinjan ese derecho y para reclamar la reparación del daño causado. El Estado garantizará, defenderá y preservará ese derecho. La ley determinará las responsabilidades y las sanciones correspondientes".*

9.2 Ley Orgánica Ambiental

Otra ley ambiental importante es la Ley Orgánica Ambiental No. 7554 del 4 de octubre de 1995. Esta ley define el sistema ambiental que consiste en elementos naturales y sus interacciones e interrelaciones con los humanos. Provee regulaciones, estándares técnicos y principios que rigen el desarrollo sostenible. Los artículos 17 a 21 y 84 a 89 de esta ley gobiernan los Estudios de Impacto Ambiental (EIA). Establece la obligación de que aquellas actividades humanas que alteren o destruyan el ambiente o generen materiales de desechos tóxicos o peligrosos incluyan este tipo de estudio bajo la revisión de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental. Hay guías para establecer requerimientos especiales de acuerdo con la actividad bajo investigación, pero actualmente no hay guías para EIA en regiones costeras, aunque la ley incluye previsiones en varios artículos relacio-

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

nados con recursos marinos y costeros. En estos casos se usa una guía general que es adaptada de acuerdo con las características del proyecto.

9.3 La Ley de Aguas

La Ley de Aguas No. 276 del 27 de agosto de 1942 y sus enmiendas regula todos los asuntos relacionados con la propiedad, uso y reúso de agua dentro del territorio. Se hace una diferenciación entre aguas de dominio público y de dominio privado. La regulación incluye usos comunes y especiales del agua (la cual es dada en concesión), tales como abastecimiento de agua pública, desarrollo de energía hidráulica, irrigación, navegación, estanques de acuicultura y otros usos muy específicos. También regula los derechos de vías naturales y legales en las playas y zonas marítimas (aunque estas áreas también tienen una ley especial).

Las aguas bajo el dominio público son los mares o aguas territoriales en la extensión y términos fijados por leyes internacionales, lagunas y estuarios o playas que se comunican constantemente con el mar, o ríos y sus tributarios directos e indirectos, arroyos y manantiales, desde sus manantiales originales en las cuencas altas hasta su desembocadura en estuarios, lagos, lagunas y mares. Además se incluyen las playas y las zonas marítimas, lagos, lagunas y estuarios de propiedad nacional, y la tierra reclamada al mar por causas naturales o artificiales, entre otras.

La Ley de Aguas también establece que la lluvia que cae en propiedad privada es considerada agua privada, y pertenece a ese propietario mientras que el agua escurra por la propiedad. Lo mismo aplica para cualquier estanque formado en la propiedad, agua subterránea obtenida por el dueño en sus propios pozos, como también agua termal, mineral y medicinal que aflore en la propiedad.

Como invalidación de las reglas especificadas en el párrafo anterior, la promulgación del Código de Minería en 1982 implícitamente removió la distinción entre aguas privadas y públicas y mantuvo el carácter público de todas las aguas. El artículo 4 de dicho código estipula que "*...las fuentes y aguas minerales y las aguas subterráneas y superficiales, se reservan para el Estado y sólo podrán ser explotados por éste, por particulares de acuerdo con la ley, o mediante una concesión especial otorgada por tiempo limitado y con arreglo a las condiciones y estipulaciones que establezca la Asamblea Legislativa".*

Cuando las compañías o las industrias públicas o privadas tienen interés en explotar el recurso hídrico de alguna manera especial, debe hacerse a través de una concesión otorgada por el Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE), la entidad responsable de establecer y decidir acerca del dominio de las aguas públicas, excepto con relación al agua potable, ya que la construcción de tubería para uso público es responsabilidad del Ministerio de Salud. Cada aspecto relacionado con las concesiones es regulado en los artículos 17 a 29 de la Ley de Aguas. Con relación al órgano competente, el MINAE ejerce dominio y control de las aguas públicas para otorgar o denegar licencias y permisos para su explotación. De esta manera, el MINAE es el organismo responsable de implementar esta ley.

La Ley de Aguas tiene más de 50 años de edad, lo que sugiere que está desactualizada y por tanto no puede referirse a circunstancias y problemas modernos. Salazar (1998) menciona algunos de los problemas de esta ley: a) la ley de Aguas se promulgó principalmente para regular el uso del agua por personas privadas, no se previó una figura para asignar agua a entidades públicas; b) la ley tiene un amplio grado de detalle que debe ser delegado a reglamento; c) la ley no ha sido actualizada con conceptos de planeamiento, uso del recurso y recuperación, los cuales se pueden deducir de las obligaciones generales, pero deberían ser identificadas explícitamente; d) algunas reglas no son efectivas o eficientes; e) a pesar de las regulaciones, la protección de los recursos hídricos no está garantizada debido a que la ley no tiene reglas obligatorias para la implementación de decisiones ni sanciones de suficiente severidad para asegurar cumplimiento; f) luego de que esta ley fuera promulgada, otras leyes han reducido el alcance de la ley de Aguas en algún grado, lo cual complica la administración porque no siempre las competencias están claramente identificadas, y g) la ley de Aguas no tiene mecanismos apropiados para resolver conflictos acerca del uso del agua.

9.4 Ley General de Salud

El agua es considerada por la Ley General de Salud 5395 y sus enmiendas como "*un bien de utilidad pública y su utilización para el consumo humano tendrá prioridad sobre cualquier otro uso"* (art. 264). La Ley General de Salud establece que es responsabilidad del Estado asegurar el estado general de salud de la población. Asimismo, la rama ejecutiva del Gobierno a través del Ministerio de Salud tiene la obligación de definir la política nacional de salud, el planeamiento y coordinación de todas las actividades públicas y privadas relacionadas con la salud y la implementación de aquellas actividades de su competencia de acuerdo con la ley. El Ministerio tiene potestades para crear reglamentos en esta área.

USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

La Ley de Salud define como agua potable aquélla *"para los efectos legales y reglamentarios, la que reúne las características físicas, químicas y biológicas que la hacen apta para el consumo humano de acuerdo con los patrones de potabilidad de la Oficina Panamericana Sanitaria aprobados por el Gobierno"* (art. 265). *"Todo sistema de abastecimiento de agua, destinada al uso y consumo de la población, deberá suministrar agua potable, en forma continua, en cantidad suficiente o para satisfacer las necesidades de las personas y con presión necesaria para permitir el correcto funcionamiento de los artefactos sanitarios en uso"* (art. 267). Todos los hogares individuales, familiares o multifamiliares deben cumplir los requerimientos de salud como tener sistemas adecuados para la disposición de aguas negras y pluviales aprobadas por el Ministerio de Salud.

PARA USO RESTRINGIDO

"Toda persona, natural o jurídica, está obligada a contribuir a la promoción y mantenimiento de las condiciones del medio ambiente natural y de los ambientes artificiales que permitan llenar las necesidades vitales y de salud de la población." (art. 262). Por otra parte, *"queda prohibida toda acción, práctica u operación que deteriore el medio ambiente natural o que alterando la composición o características intrínsecas de sus elementos básicos, especialmente el aire, el agua y el suelo, produzcan una disminución de su calidad y estética, haga tales bienes inservibles para algunos de los usos a que están destinados o cree éstos para la salud humana o para la fauna o la flora inofensiva al hombre. Toda persona queda obligada a cumplir diligentemente las acciones, prácticas u obras establecidas en la ley y reglamentos destinadas a eliminar o a controlar los elementos y factores del ambiente natural, físico o biológico y del ambiente artificial, perjudiciales para la salud humana"* (art. 263).

"Toda persona, natural o jurídica, queda obligada a emplear el máximo de su diligencia en el cumplimiento de las disposiciones legales y reglamentarias o de los pedidos especiales que ordene la autoridad competente, a fin de evitar o controlar la contaminación atmosférica y del ambiente de los lugares destinados a la vivienda, trabajo o recreación." (art. 293).

FORO CONSULTIVO

"Queda prohibido a toda persona natural o jurídica contaminar las aguas superficiales, subterráneas y marítimas territoriales, directa o indirectamente, mediante drenajes o la descarga o almacenamiento, voluntario o negligente, de residuos o desechos líquidos, sólidos o gaseosos, radioactivos o no radioactivos, aguas negras o sustancias de cualquier naturaleza que, alterando las características físicas, químicas y biológicas del agua la hagan peligrosa para la salud de las personas, de la fauna terrestre y acuática o inservible para usos domésticos, agrícolas, industriales o de recreación" (art. 275).

"Sólo con permiso del Ministerio podrán las personas naturales o jurídicas hacer drenajes o proceder a la descarga de residuos o desechos sólidos o líquidos u otros que puedan contaminar el agua superficial, subterránea, o marítima, ciñéndose estrictamente a las normas y condiciones de seguridad reglamentarias y a los procedimientos especiales que el Ministerio imponga en el caso particular para hacerlos inocuos" (art. 276).

9.5 La Ley Forestal

La Ley Forestal No. 7575 del 13 de febrero de 1996 regula los bosques patrimoniales del Estado y las actividades privadas que puedan afectarlos. En esta ley se identifican áreas protegidas cercanas a los ríos y también menciona que el Estado tiene la obligación de asegurar la protección de las cuencas hidrográficas.

El Ministerio del Ambiente tiene a su cargo la regulación de esta ley a través del Sistema Nacional de Áreas de Conservación. La Ley Forestal generalmente busca establecer reglamentos que limitan el derecho del uso libre de la propiedad privada para asegurar un interés ambiental público para beneficio de la mayoría de las personas; ya que mantener los bosques, suelos, agua y aire también resulta en un mejoramiento de la calidad de vida de la población. Cualquier trastorno en el balance ecológico entre suelo, bosque y agua resulta en un claro deterioro de la calidad de vida para los humanos.

Toda la tierra con potencial forestal y todos los bosques del país propiedad del Estado o en manos privadas están sujetos a la Ley Forestal para propósitos de regulación. La Ley Forestal define el régimen forestal como una serie de disposiciones legales, económicas y técnicas establecidas por la Ley y sus reglamentos, junto con otras reglas y actas que surgen de su aplicación, con el objetivo de regular la conservación, protección, restauración, uso y desarrollo de recursos forestales.

"Se declaran áreas de protección las siguientes:

a. *Las áreas que bordeen nacientes permanentes, definidas en un radio de cien metros medidos de modo horizontal.*
b. *Una franja de quince metros en zona rural y de diez metros en zona urbana, medidas horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, si el terreno es plano, y de cincuenta metros horizontales, si el terreno es quebrado.*
c. *Una zona de cincuenta metros medida horizontalmente en las riberas de los lagos y embalses naturales*

y en los lagos o embalses artificiales construidos por el Estado y sus instituciones. Se exceptúan los lagos y embalses artificiales privados.

d. *Las áreas de recarga y los acuíferos de los manantiales, cuyos límites serán determinados por los órganos competentes establecidos en el Reglamento de esta ley*" (art. 33).

10. Gestión integrada de los recursos hídricos

La gestión integrada de los recursos hídricos es la única manera de garantizar sostenibilidad, ecosistemas saludables, mitigación contra los desastres inducidos por el clima, y protección ambiental. Algunas de las formas de alcanzar tales objetivos son la introducción de un enfoque sistémico y de los conceptos de manejo adaptivo. Este esfuerzo requerirá la coordinación y colaboración sin precedentes de muchas instituciones y personas, incluidos científicos físicos y sociales, especialistas y personal técnico en muchos campos, responsables de la toma de decisiones, administradores, organizaciones públicas y privadas, gobiernos locales y organizaciones comunales.

Un mejor entendimiento de la variabilidad y el cambio climático en la región es uno de los fundamentos de este enfoque, ya que la disponibilidad de agua de un año a otro puede tener gran variabilidad, aun si se consideran solamente las variaciones naturales. Además, el cambio climático de origen humano impone nuevos retos a la disponibilidad del recurso hídrico y añade presión a los ecosistemas de la región. En el pasado se han desarrollado muchos estudios valiosos (Amador *et al.*, 2000; 2003; Fernández *et al.*, 1996; George *et al.*, 1998; IMN, 2009). Además de otros descubrimientos, estos estudios han demostrado que algunos de los rasgos que influyen en el clima de la región son (sin ningún orden en particular): a) la influencia fuerte de El Niño-Oscilación del Sur (George *et al.*, 1998; Amador *et al.*, 2000), b) la influencia de las tormentas tropicales y de los huracanes, c) el veranillo (Magaña *et al.*, 1999), d) la influencia del chorro de bajo nivel y e) los desplazamientos latitudinales del Centro de Convergencia Intertropical. La interacción de estos rasgos, junto con los variados rasgos topográficos del país, produce gran variabilidad espacial y temporal en diversas escalas de tiempo, en particular en la precipitación.

En términos del cambio climático, el estudio del IMN (2009) sugiere un clima más seco y caliente que el ya climatológicamente seco Pacífico Norte (Guanacaste), una región con considerables áreas dedicadas a la agricultura y la ganadería y que ha tenido un impresionante incremento del turismo en los últimos 15 años. El estudio también contiene estimaciones de los impactos en diversos sectores, junto con estrategias de adaptación. Sin embargo, los estudios futuros deben basarse en proyecciones de más modelos climáticos y el método de reducción de escala podría ser revisado.

No obstante, hay mucho que hacer para lograr integrar las investigaciones previas con nuevos estudios sobre una base de conocimiento para apoyar operaciones, manejo y planeamiento de los recursos hídricos. Asimismo se necesitan más estudios para evaluar los impactos del clima, meteorología e hidrología en diversos sectores como la mitigación de inundaciones y sequías, agricultura, socioeconomía, ecología, generación hidroeléctrica, salud pública y otros.

Se propone aquí que la creación de un sistema de sistemas (SS) para cada cuenca puede ser la manera de abordar la complejidad de este tipo de problemas. El SS estará basado en un sistema de comunicación que también involucra a los usuarios (incluidos los líderes comunales) y administradores del sistema, junto con otro personal de soporte. Por ejemplo, el primer nivel del SS puede consistir en un pronóstico meteorológico-hidrológico acoplado a corto o largo plazo. Este primer sistema alimentará un sistema de estimación de impactos, como por ejemplo un modelo de producción agrícola. El valor adicional real será añadido al SS si éste incluye otro sistema para proveer recomendaciones concretas a los usuarios y a los responsables de la toma de decisiones acerca de qué acciones llevar a cabo. Esto se hará por medio de un sistema de soporte de decisiones (SSD). Ejemplos de SSD son: a) uno que provea información acerca del mejor cultivo para sembrar en un año determinado (rotación de cultivos), b) otro que sugiera ajustes en las primas de seguros de cosecha para distintos cultivos, c) uno que calcule la cantidad de agua importada y de pasto que será necesaria para apoyar la ganadería en un año en particular, d) regiones con más altas probabilidades de experimentar problemas de abastecimiento de agua, y otros. Similares SSD pueden establecerse para planeamiento (tomando en consideración el cambio climático y la sostenibilidad), y otros SSD pueden ser diseñados para la prevención o mitigación de desastres.

Un ejemplo de este último tipo de SSD está actualmente en operación en el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), llamado "Central America Flash Flood Guidance System" (CAFFG), que fue desarrollado por el "Hydrologic Research

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

Center" en San Diego, California. El CAFFG es un sistema de alerta temprana contra inundaciones repentinas, y consiste en un modelo hidrológico que es alimentado con pronósticos de lluvia basados en datos de satélites y de estaciones meteorológicas de superficie. La respuesta hidrológica es entonces interpretada en términos de alertas de diferentes tipos, de manera que los meteorólogos o hidrólogos de cada país centroamericano puedan tener un mejor criterio para justificar evacuaciones.

Otro ejemplo de un sistema que potencialmente se puede usar para apoyar la toma de decisiones es el sistema SERVIR (Sistema Regional de Visualización y Monitoreo) latinoamericano (http://www.servir.net/america-latina-caribe), el cual consiste en un repositorio centralizado de toda clase de información sobre desastres naturales en la región de Latinoamérica y el Caribe, incluidos pronósticos meteorológicos e hidrológicos. Sin embargo, SERVIR no proporciona información específica sobre los posibles impactos en diferentes sectores del pronóstico hidrológico ni sugerencias específicas a los responsables de la toma de decisiones acerca de qué hacer con esta información.

11. Conclusiones

Costa Rica es un país de grandes contrastes en el tema del uso y conservación de los recursos hídricos, los ecosistemas y el ambiente. Durante los últimos 15 a 20 años ha habido un interés creciente para conservar los bosques, suelos y recursos naturales que han sido reconocidos internacionalmente. Sin embargo, todavía permanecen muchos problemas ambientales severos del pasado. Dentro de todos los casos de sobreexplotación y de calidad de aguas en ambientes terrestres, costeros y marinos, quizás uno de los más graves es la contaminación severa de quebradas y ríos urbanos asociada a la falta de una infraestructura sanitaria adecuada y al crecimiento sin control de esas áreas. La limpieza del país en estos lugares representa un reto significativo que necesitará el esfuerzo continuo de muchos sectores de la sociedad por varios años en el futuro.

En promedio, Costa Rica usa sólo un pequeño porcentaje de su disponibilidad de agua, lo cual puede dar la impresión errónea de que hay una cantidad inmensa de agua extra en todas aquellas partes en las que se puede explotar para consumo humano. Sin embargo, cuando se toman en cuenta los muchos usos del agua, incluida la sostenibilidad de los recursos naturales que proveen servicios a los ecosistemas que a su vez sostienen un desarrollo socioeconómico adecuado, es realmente posible que en algunas regiones la escasez de agua y la sobreexplotación sean o lleguen a ser una realidad en el futuro cercano bajo las características y el manejo actual del sistema. La optimización del manejo y planeamiento de los recursos hídricos puede aumentar la cantidad de agua explotable para uso doméstico, agricultura o industrial, pero se necesitan más y mejores estudios y proyectos integrados para determinar esto.

El desarrollo de estudios integrados de cuencas que alimentan sistemas de soporte de decisiones para el manejo, planeamiento y la mitigación y preparación de desastres inducidos por el clima, así como otras acciones relacionadas como el desarrollo de un plan de ordenamiento territorial, puede ayudar a salvar vidas, garantizar sostenibilidad, proteger y reducir el impacto humano en los recursos naturales y ecosistemas, reducir el impacto socioeconómico de la variabilidad climática, ayudar en la optimización de recursos humanos y económicos, ayudar a la adaptación al cambio climático, ayudar a la preparación contra eventos hidrológicos extremos (sequías e inundaciones) y proteger infraestructura vital. Tales sistemas son necesarios debido a la complejidad del manejo y planeamiento de los recursos hídricos, especialmente en Costa Rica, donde las leyes y el marco institucional que gobierna el manejo de los recursos hídricos son algunas veces inadecuados para resolver los problemas modernos. Esto añade nuevos retos a la organización de una solución integrada y de consenso de los problemas. Adicionalmente, los beneficios para la sociedad de estos sistemas superan grandemente los costos de implementación y operación. Se necesitan más estudios económicos para evaluar no sólo los beneficios y costos de implementación, sino también los costos de no actuar para la sociedad. Esto ayudará a conseguir fondos y establecer prioridades bajo presupuestos limitados.

Aun cuando la hidrología es una ciencia aplicada, parece necesaria una mejor conexión de una gran parte de la investigación de la academia, instituciones del Estado y de la industria con otras partes interesadas (gobierno, responsables de la toma de decisiones, gobiernos locales, organizaciones no gubernamentales y la comunidad). Esto es un reto aun en otros países con mayores recursos económicos (y generalmente más organizados) que Costa Rica. Por tanto, esta limitación realmente enfatiza la importancia de optimizar la transferencia de la información (hidro) climática y el conocimiento obtenido a través de la investigación de la academia, el gobierno y la industria en beneficios concretos para la sociedad de países en desarrollo.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

12. Reconocimientos

El autor agradece a Enrique Chacón y Sadí Laporte, del Instituto Costarricense de Electricidad; Flora Solano, Eric Alfaro y Jorge Amador, del Centro de Investigaciones Geofísicas y de la Escuela de Física de la Universidad de Costa Rica, y Hugo Hidalgo (Sr.), de la Organización Meteorológica Mundial, quienes proveyeron valiosa información y referencias. Gracias al apoyo de la Academia Nacional de Ciencias de Costa Rica, a través de su presidente Gabriel Macaya Trejos; a la Escuela de Física, a través de su director Rodrigo Carboni, y al programa de aguas de la Red Interamericana de Academias de Ciencias, a través de su Secretario Ejecutivo Marcos Cortesão Barnsley Scheuenstuhl. El autor está financiado parcialmente por los proyectos de investigación VI-805-A9-224 y VI-808-A9-180 de la Universidad de Costa Rica.

13. Referencias

1. Amador, J. A.; R. E. Chacon, y S. Laporte (2000), Cuenca del Río Arenal: Análisis de los eventos La Niña de los años 1988-89 y 1996, *Tópicos meteorológicos y oceanográficos*, 7, 50-62.
2. Amador, J. A.; R. E. Chacon, y S. Laporte (2003), *Climate and Climate Variability in the Arenal River Basin of Costa Rica*, Climate and Water, Transboundary Challenges in the Americas, H.F. Diaz and B.J. Morehouse (eds.), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 317-349.
3. AyA (2007), *Plan Estratégico Institucional 2007-2015*, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, San José, Costa Rica, 65 pp.
4. Baltodano, J. (2007), *Decimotercer Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. Bosque, cobertura y uso forestal*, Programa Estado de La Nación, 59 pp.
5. Chaves, C. (2009), *Casi listo tratamiento de aguas en San José*, Costa Rica Hoy, periódico en línea (Fecha: 28 de agosto de 2009), San José, Costa Rica. <http://costaricahoy.info>, Consultado: 1 de enero de 2010.
6. CIA (2009), *The World Factbook*, United States Central Intelligence Agency, United States. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/cs.html>, Consultado: 1 de enero de 2010.
7. COMEX (2008), *Evolución del PIB nominal 1991-2008*, Ministerio de Comercio Exterior de Costa Rica, San José, Costa Rica, 1 pp. <http://www.comex.go.cr/Paginas/inicio.aspx>, Consultado: 1 de enero de 2010.
8. Fernández-González, A. y E. Gutiérrez-Espeleta (2002), *Freshwater in Costa Rica: Abundant yet Constrained*, En: Human Security and the Environment. International Comparisons, E.A. Page and M. Redclif (eds.), Edward Elgar Publishing Limited, Northampton, United Kingdom, Massachusetts, United States, 267-284.
9. Fernández, W.; R. E. Chacon, y J. W. Megarejo (1996), On the Rainfall Distribution with Altitude in Costa Rica, *Revista Geofísica*, 44, 57-72.
10. George, R.; Peter R Waylen, y S. Laporte (1998), Interannual Variability of Annual Streamflow and the Southern Oscillation in Costa Rica, *Hydrological Sciences Journal*, 43, 409-424.
11. IMN (1985), *Atlas climatológico (1961-1980)*, Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, San José, Costa Rica. <http://www.imn.ac.cr/mapa_clima/altas_clima/atlas%20clima.html>, Consultado: 1 de enero de 2010.
12. IMN (2009), *Segunda comunicación nacional ante la Convención Marco de Cambio Climático*, Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, San José, Costa Rica, 264 pp.<http://cglobal.imn.ac.cr/comunicacion.asp>, Consultado: 28 de febrero de 2010.
13. INEC (2004), *Geografía y clima*, Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2 pp. <http://www.inec.go.cr/>, Consultado: 1 de enero de 2010.
14. INEC (2008), *Boletín Anual, Indicadores Demográficos 2008*, Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2 pp. <http://www.inec.go.cr/>, Consultado: 1 de enero de 2010.
15. Magaña, V.; J. A. Amador, y S. Medina (1999), The Midsummer Drought over Mexico and Central America, *Journal of Climate*, 1577-1588.
16. MINAE y IMN (2007), *Adaptación del sistema hídrico de la zona noroccidental de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica al cambio climático, Informe final*, Ministerio de Ambiente y Energía e Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, San José, Costa Rica, 50 pp.
17. MINAET (2009), *Avance Formulación R-PP para Costa Rica*, Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, 24 pp.
18. Ministerio de Salud y Organización Panamericana de la Salud (2003), *Calidad del agua potable en Cos-*

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

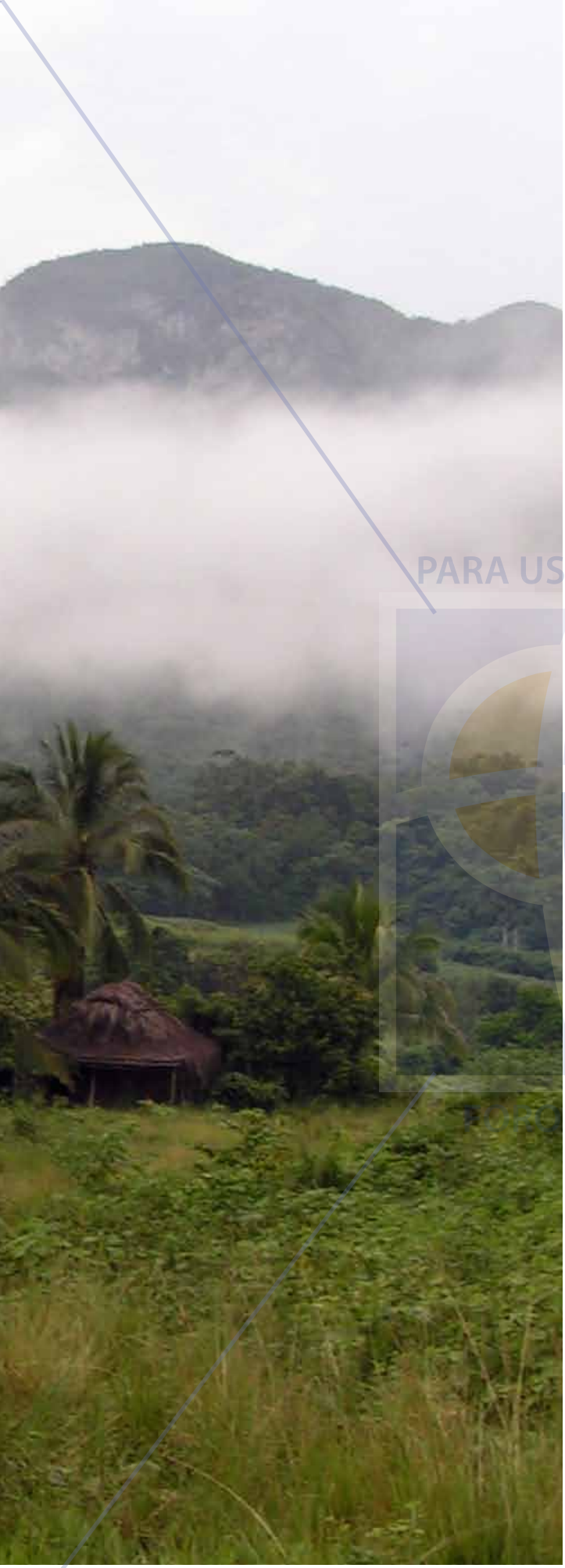
ta Rica, situación actual y perspectivas, No. 13, Por: Ministerio de Salud de Costa Rica, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Organización Panamericana de la Salud, y Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud, 36 pp.

19. MIVAH, MINAE y PNUMA (2006), *Perspectivas del Medio Ambiente Urbano, Geo Gran Área Metropolitana Valle Central, Costa Rica,* Ministerio de Vivienda y Asentamientos Urbanos, Ministerio del Ambiente y Energía y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente bajo la coordinación técnica del Observatorio del Desarrollo de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 268 pp.
20. Monge Flores, Esteban (2009), *Agua y producción,* Centro Ecuatoriano de Derecho Ambiental, Quito, Ecuador, 33 pp. <http://www.ceda.org.ec/descargas/biblioteca/Agua%20y%20Produccion.pdf>, Consultado: 1 de enero de 2010.
21. Moreno Díaz, M. L. (2009), Valoración económica del uso de tecnologías de saneamiento ecológico para aguas residuales domiciliares, *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica, 13,* 1-13.
22. OD (2001), *Boletín del Observatorio del Desarrollo de la Universidad de Costa Rica,* Observatorio del Desarrollo, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 8 pp.
23. Ortega-Pacheco, D. V.; F. Lupi, y M. D. Kaplowitz (2009), Payment for Environmental Services: Estimating Demand Within a Local Watershed, *Journal of Natural Resources Policy Research, 1,* 189-202.
24. Peter H. Gleick and Associates (2008), *The World's Water 2008-200,* Island Press, Washington, DC, United States.
25. Programa Estado de la Nación (2009), *Decimoquinto Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible,* 2009, Programa Estado de La Nación, San José, Costa Rica, 64 pp. <www.estadonacion.or.cr>, Consultado: 1 de enero de 2010.
26. Redondo-Brenes, A. y K. Welsh (2006), Payment for Hydrological Environmental Services in Costa Rica: The Procuencas Case Study, *Tropical Resources Bulletin, 24,* 19-25.
27. República de Costa Rica (1996), *Ley Forestal,* Asamblea Legislativa, San José, Costa Rica.
28. Salazar, R. (1998), *Marco Jurídico y Administrativo de las Aguas en Costa Rica,* Sistema Nacional para el Desarrollo Sostenible, Ministerio de la Presidencia y Planificación de Costa Rica, San José, Costa Rica. <http://www.mideplan.go.cr/sinades/Proyecto_SINADES/sostenibilidad/armonizacion/index-6.html#_Toc429478972>, Consultado: 1 de enero de 2010.
29. Santiago, A. y J. A. Schmidt (1992), Costa Rica Hamburgers, *TED Case Studies, 2.* <http://www1.american.edu/TED/class/all.htm>, Consultado: 1 de enero de 2010.
30. Tribunal Latinoamericano del Agua (2008), *Foro "Sistemas Hídricos en Guanacaste: Sustentabilidad o Desastre",* Guanacaste, Costa Rica. <www.tragua.com>, Consultado: 1 de enero de 2010.
31. UN (2006), *Water, a Shared Responsibility,* The United Nations World Water Development Report 2, UNESCO and Berghahn Books Publishers, New York, United States, 601 pp.
32. UNA (2004), *La situación del agua en Costa Rica (resumen ejecutivo),* Universidad Nacional de Costa Rica, Heredia, Costa Rica, 20 pp. <http://www.una.ac.cr/campus/ediciones/otros/agua>, Consultado el 1 de enero de 2010.
33. UNEP (2003), *GEO Latin America and the Caribbean-2003,* United Nations Environmental Program y Observatorio del Desarrrollo, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 279 pp.
34. UNESCO (2007), *Balance hídrico superficial de Costa Rica período 1970-2002,* Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe (phi-LAC), San José, Costa Rica, 55 pp.
35. Vargas Sanabria, A. (2003), *El manejo de los recursos hídricos en Costa Rica durante los siglos XVIII y XIX,* Ciencia y Técnica en la Costa Rica del Siglo XIX, G. Peraldo Huertas (compilador), Editorial Tecnológica de Costa Rica, San José, Costa Rica, 376-401.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Niebla en el Valle de Viñales, Cuba
Foto de Manuel Dohmen en http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Nebel_im_Valle_des_Vinales,_Kuba.jpg

PARA USO RESTRINGIDO



Recursos hídricos en Cuba

Una visión

Editores
Ing. Pedro Luís Dorticós del Río[1], Dra. Ing. Mercedes Arellano Acosta[2], Dr. Jorge Mario García Fernández[3]

Autores
Margarita Fontova de los Reyes[3], Nercy Becerra Infante[3], Eulalia Lopez Alvarez[3], Argelio Fernández Richelme[3], Enrique Martínez Ovide[3], Abel Fernández Díaz[3], Rubén Hernández Boy[3], Maria Isabel González González[4], Leyda Oquendo Barrios[5], Carmen Terry Berro[5], Rigoberto Lamyser Castellanos[6]

[1]Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba
[2]Comisión del Agua, Academia de Ciencias de Cuba
[3]Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos
[4]Instituto Nacional de Higiene y Epidemiología
[5]Archivo Nacional (Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente-CITMA)
[6]Ministerio Industria Básica

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

1. Introducción

Al triunfo de la Revolución cubana en 1959, la capacidad de embalse era de apenas 48 millones de m³ almacenados en 13 de esas obras.

Lo que se denomina en Cuba "voluntad hidráulica" desde la mitad inicial de la década de los años 60 fue la respuesta coherente del Gobierno al aseguramiento de la cantidad y calidad del agua para el desarrollo económico, social y la protección ambiental en el país. Fue el resultado de la ocurrencia de eventos extremos en 1961 a 1962 (intensa sequía) y en 1963 (huracán Flora, que causó más de 1 000 fallecidos sólo en la región oriental de la isla principal).

Hay algunos hechos que condicionan las actuaciones relacionadas con el desarrollo hidráulico cubano, con el suministro seguro de la cantidad y calidad de agua y con la gestión integrada de sus recursos hidráulicos.[1] Entre

ellos: a) vulnerabilidad propia de nuestra condición de archipiélago. Somos un estado insular; b) parteaguas central a todo lo largo de la Isla Principal que delimita la formación de numerosas y pequeñas cuencas y predominio del *carso* (o karst) en las formaciones acuíferas subterráneas; c) dependencia de nuestros recursos de agua con el comportamiento de las precipitaciones; d) variabilidad climática que se refleja de distintas formas, entre ellas, el cambio en el régimen de lluvias; e) desarrollo eminentemente agropecuario, de acuerdo con la estructura del uso del agua; f) el cambio climático y las medidas de adaptación y mitigación.

Los recursos hidráulicos potenciales para la economía, la sociedad y el medio ambiente alcanzan las cifras que aparecen en la Figura 1. Incluye 239 presas que almacenan cerca de 9 000 hm^3 y entregan algo más de 7 000 hm^3, 730 embalses menores de 3 hm^3, 12 grandes estaciones de bombeo, 1 212 km de diques y 1 082 km de canales para protección contra inundaciones, y 760 km de canales magistrales.

El Cuadro 1 resume los indicadores de disponibilidad de recursos hídricos. Como se muestra en el Cuadro 1, el indicador clásico de disponibilidad nacional alcanza aproximadamente, respecto a los recursos hidráulicos disponibles, 1 220 m^3/hab./año para todos los usos. Este mismo indicador, respecto a los recursos hídricos potenciales, es de 3 400 m^3/hab./año, y respecto a los recursos hídricos aprovechables, de 2 140 m^3/hab./año. La clasificación[1] los sitúa entre los de baja disponibilidad per cápita (entre 1 000 y 5 000 m^3/hab./año) para cualesquiera que sean los recursos empleados en las evaluaciones del indicador (potenciales o aprovechables). Sin embargo, se reconoce en la literatura especializada que este indicador es más un reflejo de la riqueza relativa de agua a partir de sus fuentes naturales principales –las precipitaciones en el caso cubano-, que del propio desarrollo hidráulico de un país. En el caso Cuba, esto queda evidenciado también por los resultados alcanzados en el último Estudio de la Pluviosidad en Cuba (2006), que determina una lámina media nacional de 1 335 mm.

Recientes investigaciones en las que se aplica el indicador Huella Hídrica[2] sitúa a Cuba en el lugar 30 de una relación de 142 países, con valores de 1 712 m^3/hab./año.

2. Uso del agua

El proceso de planificación de los recursos hidráulicos en Cuba, establecido sobre bases legales (Sección 13), tiene su expresión de forma puntual en cada fuente superficial, embalse o corriente no regulada, en cada pozo y en cada cuenca subterránea para cada usuario, tanto para el riego como para el abastecimiento a la población, la industria y la ganadería; incluye las necesidades ecológicas. Los diferentes usos del agua en Cuba no compiten entre sí; el

Figura 1. Recursos hidráulicos potenciales

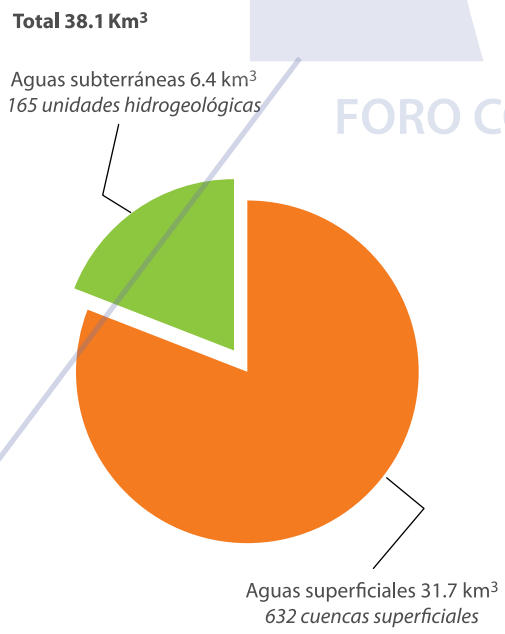
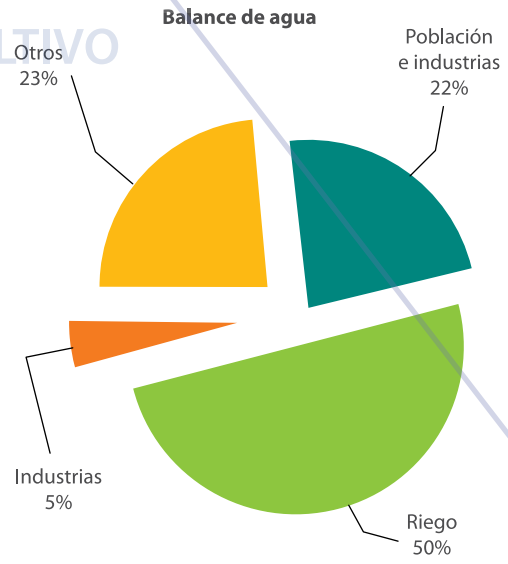


Figura 2. Recursos hidráulicos planificados para su uso[3] (2009)



PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 1. Indicador clásico de disponibilidad[1]

Indicador	m³/hab./año	Clasificación
Respecto a los recursos hídricos potenciales	3 400	Bajo
Respecto a los recursos hídricos aprovechables	2 140	Bajo
Respecto a los recursos hidráulicos disponibles	1 220	Bajo

Indicador de Estrés Hídrico (IEH %): ofrece una idea acerca del balance entre el uso y los recursos de agua (volumen). Valores por encima del 40% se estiman ya como de estrés hídrico alto o muy alto. No considera elementos de eficiencia en su uso ni patrones de consumo.

IEH % = (Uso de las aguas/Recursos de agua) x 100	(%)	Estrés, clasificación
Respecto a los recursos hídricos potenciales	18	Bajo
Respecto a los recursos hídricos aprovechables	29	Medio
Respecto a los recursos hidráulicos disponibles	51	Alto (7 000 hm³)
	44	Alto (6 000 hm³)
	36	Medio (5 000 hm³)

PARA USO RESTRINGIDO

sistema para la planificación anual respeta las prioridades establecidas para las que el abastecimiento de la población ocupa el primer lugar. La distribución y manejo integral de los volúmenes asignados incluyen el uso conjunto de las aguas superficiales y subterráneas. La Figura 2 muestra el volumen de agua planificado en el año 2009.

3. Agua y agricultura

El área agrícola de Cuba es de 6 619.5 miles de hectáreas (Mha). La superficie cultivada al cierre del año 2008 era de 2 988.5 Mha, de las cuales 60.1% es de cultivos permanentes y 39.7% de cultivos temporales, y 1 141.1 Mha corresponden a la caña de azúcar. Del área agrícola no cultivada, 2 398.2 Mha son de pastos naturales.

FORO CONSULTIVO

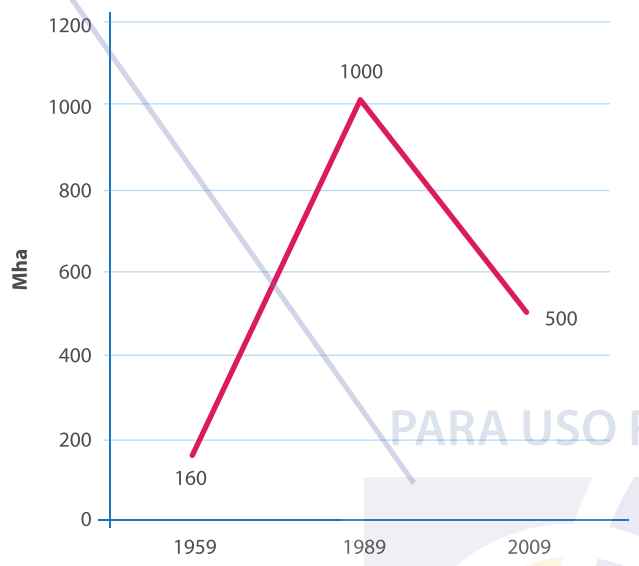
Hasta el año de 1959, el riego se había desarrollado en lotes pequeños concentrados cerca de ríos con suficiente disponibilidad de agua subterránea. El área total bajo riego existente en esa etapa era de 160.0 Mha que beneficiaban solamente a cultivos como arroz, caña, papa y otros vegetales. Las tecnologías para el riego eran muy atrasadas y la casi totalidad de las tierras se regaban por medio de métodos superficiales muy rudimentarios. Los escasos sistemas de riego por aspersión existentes eran equipos portátiles pertenecientes a algunos agricultores con mayores posibilidades económicas, y el volumen de agua embalsado en ese período, que no alcanzaba los 50 millones de m³, se utilizaban fundamentalmente para el abastecimiento de la población y el resto para el cultivo de la caña.

Como resultado de los esfuerzos denominados "voluntad hidráulica", en Cuba se desarrolló, de forma acelerada, un amplio programa de construcciones. Con el empeño de elevar la producción de alimentos para la población y el desarrollo tecnológico en la actividad agrícola, se implementó un programa de construcción de sistemas de riego, que posibilitó un incremento de las áreas bajo riego de 160 Mha al cierre de la década de los 50, a cerca de un millón de hectáreas al cierre de 1989. La depresión económica de los 90, reforzada con el recrudecimiento del bloqueo económico y el cambio de las relaciones y condiciones comerciales con los países de Europa del Este, afectó sensiblemente el trabajo que se venía realizando en la agricultura con el fin de mejorar el nivel de alimentación de la población. Hubo un decrecimiento importante en las áreas bajo riego, por lo que en el año 2000 se contaba con sólo 553.1 Mha (73% de las áreas regables en 1983). La afectación mayor se produjo en el riego de caña, con una reducción a 227.0 Mha, y en pastos cultivables, con una reducción de 72.8 Mha. Sin embargo, hubo un aumento de 60 Mha en áreas para el riego de viandas, hortalizas y frijoles. La dinámica de las áreas bajo riego, entre los años 1959 y 2009, se muestra en la Figura 3.

Al cierre de 2009, las áreas bajo riego alcanzaban la cifra de casi 500 Mha. De ellas, 15.9% se riega con técnicas de aspersión, 5.3% con máquinas, 6.3% con riego localizado, 60.9% por gravedad y 1.5% con otras técnicas. La gravedad ha sido la técnica más utilizada y la de menor eficiencia.[4]

Del volumen de agua planificado para todos los usos en el país, 50.0%/año se destina para el riego. El arroz es el

Figura 3. Dinámica de las áreas bajo riego



cultivo de mayor demanda (38.9% del volumen planificado para el riego y 21.0% de lo planificado nacionalmente).

El programa actual y perspectivo para los principales cultivos se basa en la disminución del deterioro paulatino que han sufrido los sistemas de riego y en general las áreas bajo riego, con el objetivo de mantener las actuales áreas en óptimas condiciones con vistas a elevar la productividad del riego y la eficiencia en el uso del agua. Las principales acciones se resumen como sigue:

1. **Inicio del proceso de electrificación de los sistemas de riego:** en el 2008 alcanzó la cifra de 160 Mha.
2. **Introducción de los resultados de la ciencia y de la innovación tecnológica:** en la actualidad los centros de investigaciones vinculados al sector trabajan en:
   - búsqueda de variedades de semillas más resistentes y con requerimientos menores de dotación de agua;
   - aplicación de soluciones tecnológicas (muestran resultados ya palpables en cultivos como la papa con elevación de rendimientos y alta eficiencia en el aprovechamiento del agua).
3. **Desarrollo de la industria nacional para la tecnificación del riego:** como vertiente para el incremento de la productividad.
4. **Elevación de la producción agrícola a partir de profundas transformaciones en su estructura:** (la descentralización de la producción de las grandes empresas a otras formas de producción individual o colectiva como pequeñas empresas, la producción cooperativa y otras producciones de acuerdo con el cultivo y los recursos disponibles), con el fin de elevar la producción agrícola.

En la actualidad, en Cuba ya se producen los elementos para los sistemas del riego localizado y por máquinas, aun con las limitaciones existentes en cuanto a recursos financieros y acceso a mercados.

Desarrollo de organopónicos

En el año 1994 comenzó el desarrollo de estos centros agrícolas urbanos, fundamentalmente en la producción de hortalizas, mediante un movimiento popular de agricultura urbana al que, por interés propio, se incorporó un gran número de personas y familias para producir alimentos en cada metro cuadrado disponible en las ciudades, pueblos y otros asentamientos poblacionales bajo el principio de una agricultura sostenible.

Al cierre del año 2009, en los organopónicos, huertos y pequeñas parcelas se contó con 15 088 hectáreas regadas con las técnicas de aspersión (45.2%), gravedad (16.7%) y localizado (10.6%), y 27.3% con el uso de otras técnicas. Unas 177.7 hectáreas se encuentran en casas de cultivo.

4. Agua e industria

En Cuba, la industria demanda grandes volúmenes de agua al mismo tiempo que produce residuales que atentan contra la calidad de este vital recurso. La industria nacional requiere agua para los procesos productivos, las labores de limpieza, procesos auxiliares (generación de vapor, calentamiento, enfriamiento, tratamiento de agua y consumo social). La industria cubana se abastece de fuentes propias o a través de los sistemas de acueductos locales. En ambos casos, tiene la obligación de tributar por el derecho de uso o por el servicio de abastecimiento, y pagar tasas de recargo en caso de excesos en el consumo asignado, las cuales se diferencian según usuarios, territorios o cuencas en función de la situación del balance de agua y las exigencias de las necesidades económicas y sociales.

En el período 2002-2009, en varias industrias se ejecutaron evaluaciones en planta con enfoque de producción más limpia (PML). Los resultados obtenidos en lo que respecta a la mejora en la gestión del recurso agua, se muestran como casos exitosos de la aplicación de esta estrategia en el ámbito nacional (Cuadro 2).

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Tabla 2. Resultados de evaluaciones en planta con enfoque de PML en industrias seleccionadas

		Industria alimenticia	Industria biotecnológica	Agroindustria azucarera	Agroindustria frutícola	Total
Reducción en el consumo de agua	Beneficio ambiental (m^3 ahorrados)	2 277 000	173 850	2 720 505	469 774	5 652 495
	Beneficio económico (USD)	683 100	173 850	811 453	131 650	2 426 683
Reducción de carga contaminante (t DQO)		18 280	44	42 133	5 055	65 589

DQO: Demanda Química de Oxígeno
Fuente: Red Nacional de Producción Limpia, 2007

Estos beneficios se obtuvieron aplicando medidas como entrenamientos de operarios, instalación de "metro contadores" y dispositivos ahorradores de agua, mejora de los sistemas de limpieza, sustitución de sistemas de enfriamiento, recuperación de condensados y aguas usadas y su reutilización, entre otras.

No obstante los logros alcanzados, la aplicación de las estrategias de producción más limpia y consumo sustentable aún es insuficiente en la industria cubana. En la actualidad se trabaja por hacer una gestión sostenible del agua en la industria y agroindustria cubana y para ello se promueve: a) considerar el manejo del recurso agua como parte de la gestión económica de la industria; b) sensibilizar y capacitar en el uso eficiente del recurso al personal vinculado; c) garantizar la instalación de medidores de flujo en las organizaciones industriales con prioridad a los altos consumidores; d) determinar indicadores nacionales y sectoriales de consumo de agua por unidad de producción, servicio prestado o usuario del recurso en cada organización industrial y compararlos con los de empresas similares en el ámbito internacional, y e) aplicar de manera eficaz el conjunto de instrumentos de gestión ambiental existentes en el país (legislación ambiental a través de las estrategias ambientales nacional, sectoriales y territoriales; sistema de reconocimientos y certificaciones ambientales; sistema de dirección y gestión empresarial) para mejorar el desempeño de la industria nacional en materia de gestión del recurso agua.

5. Agua para el uso humano: cantidad, calidad y acceso

El Estado cubano garantiza el desarrollo de los sistemas de agua potable y saneamiento, a través de un Programa Nacional de Acción ejecutado por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), que permite elevar las coberturas de acceso a los sectores de la sociedad y la economía.

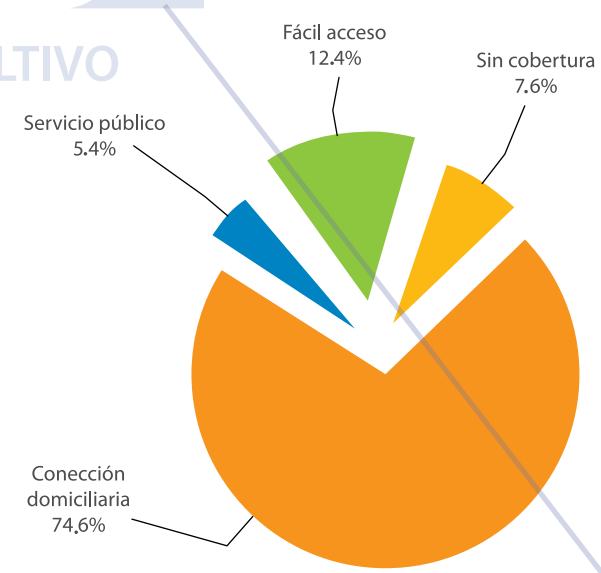
Al finalizar 2008, el acceso al agua potable por parte de la población era de 92.4% con la estructura que se muestra en la Figura 4 (conexión domiciliaria, 74.6%; fácil acceso, 12.4%; servicio público, 5.4%, y 7.6% sin cobertura), con un total de 2 253 acueductos.

La dinámica de la cobertura de abasto de agua potable por sectores (urbano, rural) entre los años 2000 y 2008 se presenta en la Figura 5.

En el Cuadro 3 se dan indicadores seleccionados, para los sectores urbano y rural, correspondientes al período 2000-2008.

Los indicadores de calidad del agua respecto a la cloración (%) en el país, en el año 2008, fueron: continuidad de la cloración, 98.4%; de tratamiento del agua servida que hay que tratar, 97.2%, y el Índice de Potabilidad Bacteriológica, 94.9%.

Figura 4. Cobertura de agua potable, año 2008 (92.4%)



PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Por la incidencia de estas actividades en la calidad de vida y salud de la población rural y urbana, desde las décadas finales del pasado siglo, que fue identificada, se desarrolla un Programa Nacional de Acción, estrechamente vinculado con los compromisos existentes para el cumplimiento de las Metas del Milenio, en materia de agua y saneamiento. Un resumen del análisis realizado, en relación con estas metas, para los años de 1990 a 2008 aparece en el Cuadro 4.

6. Calidad de las aguas terrestres

Alrededor del 67% del territorio cubano corresponde a complejos de rocas carbonatadas, en gran medida cársticas y con un alto grado de acuosidad (entre 10 y 300 l/s); 11% de rocas cársticas (o kársticas) también acuíferas, con una acuosidad variable entre 1 y 10 l/s; el complejo de rocas volcánicas abarca aproximadamente 15%, con una acuosidad baja de 1 l/s; 5.9% de rocas ultrabásicas, con una acuosidad media, presentan distintos gastos, hasta de 1 l/s. En zona de meteorización, de 5 a 10 l/s, y a veces más en las zonas de fracturas. El subsuelo y los lechos fluviales del país lo constituyen, en su gran mayoría, rocas calizas y las dolomías o calizas dolomíticas, con contenido de sales que son capaces de disolverse en el agua con la que entra en contacto en virtud de todos los procesos de interacción entre agua y roca y del ciclo hidrológico.

Figura 5. Cobertura de agua potable por sectores, 2000-2008

La condición de insularidad del territorio determina la interacción permanente con las aguas marinas y costeras, equilibrio que puede afectarse por causas de origen humano, con lo que aumentan el contenido de cloruros, sodio y otras sales en las aguas subterráneas y superficiales. Para el caso de las aguas subterráneas, la intrusión de agua de mar en los acuíferos, en especial los cársticos costeros, constituyen una problemática siempre vigente dadas las relaciones hidráulicas que se establecen entre el agua dulce y de mar. En condiciones de equilibrio de estas aguas, las terrestres tienen un contenido salino por debajo de 500 mg/l, con mayores valores en la desembocadura de ríos y estuarios.

Las características de aquellas cuencas subterráneas cuyas aguas estén en relación hidráulica con el mar, que depende de su manejo y administración, pueden variar de bicarbonatadas cálcicas o magnésicas a clóricas sódicas o bicarbonatadas clóricas sódicas y con ello elevar sus tenores de salinidad hasta cifras superiores a 1 g/l de sales solubles totales, lo que las hace impropias para el riego y el consumo humano, entre otros usos.

En cuanto a las propiedades físicas, en Cuba el color y la turbiedad de las aguas superficiales varían según el período estacional (lluvioso, menos lluvioso). Las corrientes y cuerpos de agua superficiales poseen, por lo general, un contenido de oxígeno disuelto de saturación o cercano al 100% de saturación, entre temperaturas de 20 a 28°C. Su variación depende del período estacional y de las características de la cuenca aguas arriba, donde fenómenos como la erosión pueden causar altos valores en el transporte de sólidos suspendidos.

Las aguas superficiales y subterráneas pueden contener niveles superiores a los normales de metales y otros compuestos químicos debido al vertimiento y mal manejo de residuales industriales en cuerpos receptores específicos. Las acciones principales que se desarrollan para la disminución de sus efectos en estos cuerpos, entre otras, son las siguientes:

- Establecimiento y actualización permanente del Inventario Nacional de las Principales Fuentes Contaminantes de las aguas terrestres,[5] el cual se emplea como referencia para la actividad de gestión y regulación en función de mitigar y disminuir las cargas actualmente dispuestas. Están identificadas, en total, 2 227 fuentes principales, y de ellas, 744 son de origen doméstico, 608 industriales, 644 agropecuarias y 231 municipales.

PARA USO RESTRINGIDO
NO PUBLICO CONSULTIVO

Cuadro 3. Indicadores seleccionados de la cobertura de abastecimiento de agua por sectores (Fuente: Estadísticas INRH, 2008)

Indicador	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Total servida (%)	**90.3**	**91.1**	**91.2**	**91.2**	**91.6**	**91.6**	**92.1**	**92.4**	**92.4**
Conexión domiciliaria (%)	71.1	71.9	73.4	73.4	73.2	73.2	74.4	74.6	74.6
Servicio público (%)	7.4	6.2	5.7	5.7	5.8	5.8	6.4	5.4	5.4
Fácil acceso (%)	11.8	13.1	12.1	12.1	12.6	12.6	11.3	12.4	12.4
Sector urbano (%)	**96.3**	**96.4**	**96.5**	**96.5**	**96.3**	**96.3**	**96.8**	**96.9**	**96.9**
Conexión domiciliaria (%)	82.4	83.1	84.8	84.8	84.9	84.9	86.7	86.9	86.9
Servicio público (%)	5.1	4.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.4	3.4
Fácil acceso (%)	8.8	8.9	8.3	8.3	7.9	7.9	6.6	6.6	6.6
Sector rural (%)	**72.2**	**75.3**	**75.5**	**75.5**	**77.3**	**77.2**	**77.7**	**78.3**	**78.3**
Conexión domiciliaria (%)	35.8	36.8	38.0	38.0	37.0	37.0	36.5	36.8	36.8
Servicio público (%)	15.4	12.2	13.1	13.1	13.0	13.0	14.8	11.5	11.5
Fácil acceso (%)	21.0	26.3	24.4	24.4	27.3	27.2	26.4	30.0	30.0

PARA USO RESTRINGIDO

Cuadro 4. Metas Milenio 1990-2008

	Población beneficiada 1990-2008 (hab.)	Cumplimiento (%)	Sin cobertura (2008)
Agua potable	1 102.605	112.4	859 230.00
Saneamiento	734.686	122.0	470 137.00

- Organismos nacionales y territoriales caracterizan las aguas residuales dispuestas y evalúan la carga contaminante que se les impone a los cuerpos receptores, así como las acciones para su mitigación y disminución, mediante su adecuada reutilización, su tratamiento y disposición final, respaldadas por el plan anual de inversiones, que depende de la disponibilidad de los recursos financieros necesarios.
- Operación, mantenimiento y construcción de sistemas de tratamiento y reutilización de los residuales que se generan en los procesos industriales y en el desarrollo social.
- Se introducen paulatinamente prácticas de producción más limpia en la actividad industrial, con el propósito de reducir los volúmenes de agua industrial empleada en los procesos, así como su reciclaje.
- Las unidades de inspección de diferentes instituciones estatales (Autoridad Ambiental, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Ministerio de Salud Pública y otras) establecen planes de control y realizan controles sistemáticos a las fuentes contaminantes con el propósito de ejercer y dictaminar sobre el efecto de su vertimiento al medio.
- Incremento de la capacitación de los profesionales, técnicos y obreros calificados que trabajan en sistemas de tratamiento de residuales, así como de los directivos relacionados con la protección de la calidad de las aguas terrestres.
- Monitoreo sistemático de las aguas subterráneas y superficiales de acuerdo con su uso y según el impacto causado por la disposición de las aguas residuales.

Todas estas acciones están orientadas no sólo a evaluar el impacto ambiental de las aguas residuales en los cuerpos receptores, sino a establecer las medidas para su mitigación o solución definitiva mediante buenas prácticas de operación y mantenimiento y precisión en las inversiones que se requieran.

FORO CONSULTIVO

7. Agua en las áreas urbanas

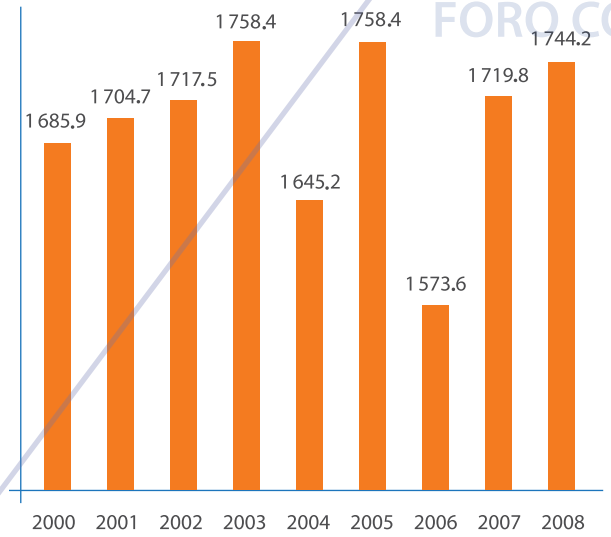
La estructura de la población cubana es esencialmente urbana: 76% de ella reside en asentamientos con esas características; comprenden 157 centros administrativos importantes, de los que 46 tienen categoría de ciudades. Años de retraso tecnológico, a lo largo de los siglos, acumularon una infraestructura que necesita en gran parte ser renovada para alcanzar niveles de servicios que satisfagan las necesidades, si se tiene en cuenta que la provisión de agua potable es un indicador básico de la calidad de vida de la población. El acceso al agua potable está relacionado tanto con la supervivencia humana como con su higiene y bienestar.

Cuba ha incorporado estos derechos primarios en sus programas sociales, por lo que, desde los años 60 y para todo el país, se extendieron estos servicios a toda la población. Trabajando en esta dirección, se logró que la Meta 7C de los "Objetivos de Desarrollo del Milenio" (*Reducir a la mitad, para el año 2015, la proporción de personas que carecen de acceso sostenible al agua potable*) fuera alcanzada en Cuba en el año 1995, lo que constituye un logro.

Actualmente, 94.5% de la población disfruta del acceso sostenible al agua potable, lo que significa que la población sin este servicio se ha reducido en casi tres cuartas partes respecto a 1990. Para lograr esta meta, hubo que dedicar considerables recursos materiales y financieros, pues la situación del servicio de agua potable a principios de los años 60 era precaria. Solamente existían 300 núcleos urbanos, de los cuales 114 contaban con sistema de servicio de acueducto que daba acceso, por medio de tuberías, a unos 3.3 millones de habitantes de unos 6.5 millones en esos años. El agua suministrada por los acueductos se estimaba en alrededor de 200 millones de m^3/año, y aproximadamente 50% recibía tratamiento para su potabilización a través de 16 instalaciones de cloración y 4 plantas potabilizadoras.

Al finalizar 2008, tienen acceso al agua potable, en áreas urbanas, 96.9% de la población, o sea, 8 208 271 habitantes. De ellos, 86.9% está conectado a la red de acueducto; a 3.4% se le brinda el servicio por pipas, y 6.6% posee facilidades de acceso, por lo que sólo queda 3.1% sin solución, cifra casi insignificante.

Figura 6. Volumen de agua suministrada (hm^3) 2000-2008



Dentro los principales problemas que presentan los servicios de abasto de agua se encuentras las grandes pérdidas en conducción y distribución; el envejecimiento y mal estado técnico de los sistemas de abasto de agua, y la necesidad de rehabilitación de sistemas, desde fuentes hasta plantas potabilizadoras. Como logros significativos en esta actividad se citan:

- **El incremento de la cifra de acueductos con tratamiento:** 2 253 lugares con acueductos que abastecen a una población de 8 millones de habitantes.
- **El movimiento de instalaciones EFICIENTES:** el objetivo es lograr que funcionen de forma adecuada para que cumplan con los requisitos establecidos en las normas de agua potable y calidad; calificación del personal, cuidado y mantenimiento de los equipos y medios. De 2 538 estaciones de bombeo de abasto de agua y 64 plantas potabilizadoras, 2 492 y 50 ostentan la categoría de eficientes, respectivamente.
- **Estabilidad en el suministro de productos químicos:** el cloro gas e hipoclorito de sodio o de calcio son utilizados para la desinfección. Para 2008 existían 2 038 instalaciones de desinfección del agua (165 de cloro gas y 1 873 de hipoclorito de sodio).
- **La continuidad del proceso de cloración:** se trabaja para alcanzar el 100% de continuidad de la cloración; actualmente se reporta el 98.4% en el cumplimiento de este indicador.
- **Estabilidad en el monitoreo de las redes:** su cumplimiento sobrepasó el plan tanto para el cloro residual (109%) como para la bacteriología (117%).
- **Aseguramiento de la potabilidad del agua suministrada:** por medio de carros cisternas en lugares donde otras alternativas de suministro no sean posibles.
- **Rehabilitación de plantas potabilizadoras que lo requieran.**
- **Elevación del tiempo medio de servicio:** alcanza 10.9 horas/día.
- **El índice de potabilidad bacteriológica en redes** (o forma de certificar la calidad del agua que suministran los acueductos): alcanzó 94.9% al finalizar el año 2008.
- **El volumen de agua suministrada** (Figura 6): fue de 1 744.2 hm^3 para 98% del plan previsto para ser entregado. El volumen total que se dejó de suministrar fue de sólo 98 hm^3. Las causas fundamentales fueron la rotura de equipos de bombeo, las interrupciones eléctricas, la rotura de conductoras y otras.

Para ejercer un control más estricto de las pérdidas por conducción de agua, se han introducido tecnologías y ma-

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

teriales nuevos en la operación de sistemas de distribución -detectores, monitores, controladores-, rehabilitación de redes, nuevas tuberías; en el tratamiento del agua, desalinizadoras y potabilizadoras, así como productos, y en el área comercial, sistemas automatizados para la facturación y la contabilidad. Se inspeccionan los medidores de entrada y salida de las plantas de tratamiento; se abastece la red con manómetros que registren la presión para controlar cualquier variación más o menos importante en el sistema; se hace investigación permanente de detección y localización de fugas, así como la oportuna reparación de las mismas; se controla el uso indebido del agua por los usuarios con base en el Programa de Ahorro y Uso Racional del Agua (PAURA).

Ejemplo de ello se refleja en la empresa Aguas Varadero que ha establecido un sistema de operación semiautomático que reduce los niveles de pérdidas, el mejor del país, y asegura el servicio continuo de abastecimiento de agua potable a presiones adecuadas. También ha elevado el tratamiento de las aguas servidas hasta el 100% y utiliza el albañal tratado con fines de riego. Este sistema funciona como referencia para otras empresas de acueductos del país.

Por tal motivo, el financiamiento de la infraestructura hidráulica en Cuba ha transitado de ser un soporte prácticamente exclusivo del presupuesto estatal, a ser un sistema de ingreso basado en la aplicación de tarifas que cuenta con una estructura diferenciada: los usuarios domésticos están parcialmente subsidiados por los clientes industriales y comerciales de tal forma que se puedan obtener saldos comerciales positivos.

Adicionalmente, existe la peculiaridad actual de un doble sistema tarifario: en moneda nacional y en divisas convertibles. Los ingresos en divisas convertibles permiten financiar los gastos de importación y algunos servicios especializados. Una proporción sana será la que se obtenga cuando sean favorables los saldos en ambas monedas. A medida que las producciones industrial y mercantil aumentan, la empresa puede, proporcionalmente, aumentar sus ingresos en moneda convertible y mantener la sanidad del balance.

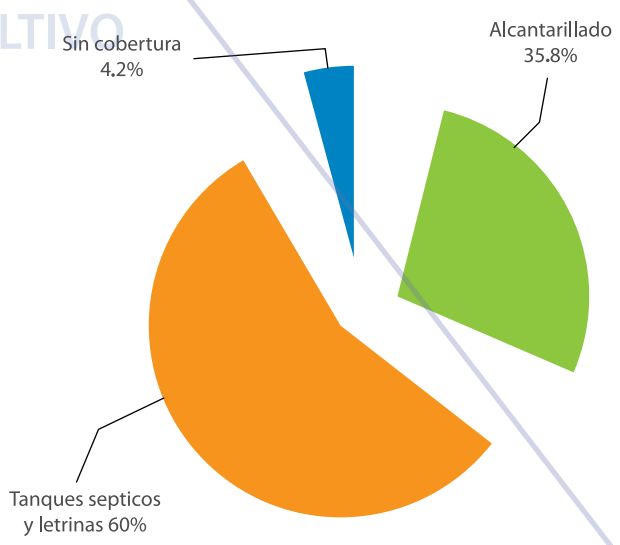
Todo ello pone de manifiesto la magnitud del esfuerzo y de los recursos que, como nunca antes, se destinan por el país al importante objetivo de elevar la calidad de los servicios de abastecimiento de agua a la población y a la economía, además de su significativo impacto en el ahorro de agua y la eficiencia energética. Con ese fin, a pesar de las limitaciones financieras y materiales existentes, se ha venido trabajando en renglones tales como:

- Rehabilitación de redes en ciudades capitales: el programa comenzó en la Ciudad de La Habana y se extiende al resto del país con prioridad en cuatro provincias de la región oriental. Se pusieron en marcha tres fábricas de tuberías, que ya están en producción, y se adquirió el equipamiento especializado, piezas de conexión, etc. asimismo se crearon brigadas con personal capacitado.
- Rehabilitación de estaciones de bombeo y elevación de la eficiencia energética: el programa comprende la instalación de 2 629 equipos de bombeo eficientes, que sustituyen a los viejos equipos y altos consumidores de energía y a los que presentan roturas sin solución, para el completamiento de la reserva de las principales fuentes de abastecimiento de agua. Con este programa, el país ahorrará más de 134 000 Mw-h/año, equivalentes a más de 15 millones de pesos cubanos convertibles (CUC).
- Otros renglones: construcción y rehabilitación de plantas potabilizadoras; modernización de infraestructura e introducción de nuevas tecnologías, y construcción de nuevos acueductos.

8. Aguas residuales y saneamiento

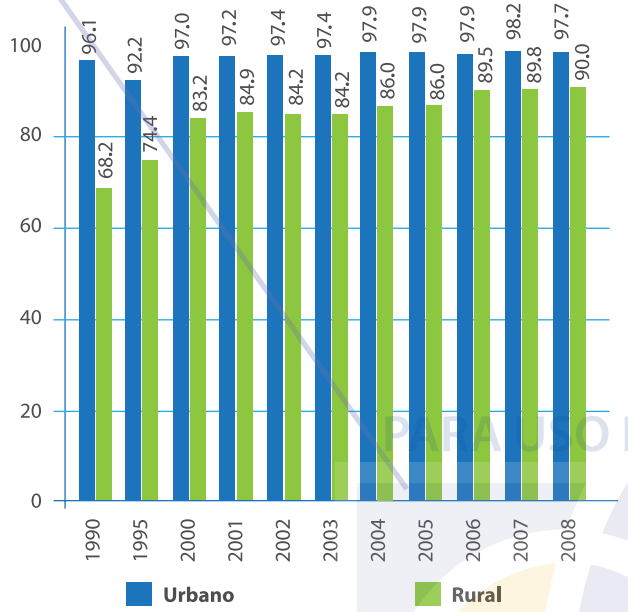
En 1959 existían en Cuba 12 sistemas parciales de alcantarillado y una planta depuradora de aguas residuales en una sola provincia del país, lo que significa que, al triunfo de la Revolución, la situación de los alcantarillados en el país resultaba alarmante. El sector de saneamiento, que en la

Figura 7. Cobertura de saneamiento (2008)



PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 8. Cobertura de saneamiento por sector (urbano, rural) en el año 2008



etapa precedente estuvo muy desatendido, comenzó a experimentar un desarrollo sostenido en el incremento de la cobertura de saneamiento ambiental, que aún continúa, y que logró llegar hasta los poblados y comunidades rurales más remotos como expresión del alcance de las profundas raíces de igualdad y justicia social que caracterizan el modelo socioeconómico de Cuba.

Desde entonces, el saneamiento en Cuba se garantiza mediante un sistema público de alcantarillado (al cual están conectadas, actualmente, más de 4.03 millones de personas) y la evacuación doméstica a través de fosas y letrinas (este dispositivo lo utilizan más de 6.7 millones de personas), lo que permite incorporar paulatinamente el efluente de las fosas de las ciudades y poblaciones importantes al alcantarillado existente o al que se construya.

El actual sistema beneficia a más de 10.7 millones de habitantes; cubre 95.8% de la población total (Figura 7), para un incremento de 356 994 miles de habitantes con respecto al año 2000. La cobertura de saneamiento por sector (urbano, rural) en el año 2008 se muestra en la Figura 8.

Este incremento en las coberturas de saneamiento es respaldado por la infraestructura creada en todos estos años; se trata de más de 33.9% del albañal evacuado.

Hasta el cierre del año 2008, el INRH ha logrado elevar su infraestructura en la actividad de saneamiento: 478 lugares con alcantarillado con 4 965.7 km de longitud de redes, 132 estaciones de bombeo de alcantarillado, 8 plantas de tratamiento de residuales y 304 sistemas de lagunas.

De las ocho plantas de tratamiento de residuales, cuatro de ellas reciclan el agua residual doméstico en el riego de áreas verdes; para este fin, brindan este servicio a importantes polos turísticos con ahorro de agua potable.

Con relación a la población rural, 4.28% cuenta con sistema de alcantarillado y 85.76% con fosas y letrinas, con lo que se logra que 90% de la población total sea beneficiada.

Ha habido un incremento de este indicador respecto al año 2000 por la aplicación de soluciones de proyectos sencillas que permiten la sostenibilidad con uso de materiales más económicos y con amplia participación de la comunidad, desde el inicio del programa, en su diseño, construcción, reparación y operación, y mediante la participación entre las diferentes instancias de gobierno y las ONG.

La estrategia de basar este programa con el empleo de tecnologías y materiales alternativos ante las tecnologías convencionales ha demostrado efectividad. Dentro de ellas, se han utilizado en el saneamiento los Alcantarillados de Bajo Costo (ABC) para el aumento de la cobertura de los servicios y disminución, por consiguiente, de las tasas de morbilidad por enfermedades de origen hídrico, además de mejorar las condiciones medioambientales de la zona; significa un alza en los niveles y calidad de vida de los pobladores.

Los ABC se desarrollan con gran aceptación comunitaria, precisamente, como alternativa eficaz que reduce los gastos originados por la excavación de profundas zanjas, la construcción de grandes registros, el uso de una gran cantidad de tuberías de grandes diámetros, la necesidad de equipos mecanizados con el consiguiente elevado consumo de combustible y otros insumos, el esfuerzo de personal calificado, las afectaciones durante la construcción en la red vial, entre otros.

Otras nuevas alternativas son:

- Redes de alcantarillado simplificado: operan como las convencionales, pero con modificaciones en los criterios de diseño y en la simplificación y minimización del uso de materiales.
- Sistema de alcantarillado simplificado en régimen de condominio: esta variante es un sistema de conexiones en régimen de propiedad horizontal dentro de una "cuadra" (segmento vial de unos 50 m, aproximadamente). Se diseñan por entre los patios de las casas y áreas comunes con el fin de disminuir al

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

máximo la longitud de las redes dentro de la vivienda y las externas.
- Redes de alcantarillado decantado: su característica distintiva consiste en un tanque interceptor de sólidos ubicado entre la vivienda y la red de alcantarillado, que normalmente es una fosa séptica, la cual puede recibir la contribución de una o más viviendas.

Aguas residuales

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales que predominan, y los que se van introduciendo paulatinamente para la actividad de protección y manejo de las aguas terrestres, son los siguientes:

- Plantas de tratamiento para residuales domésticos y mixtos, construidas en núcleos urbanos industriales principales, compuestas por un conjunto de procesos unitarios destinados al tratamiento preliminar, secundario y tratamiento terciario (sedimentación final, cloración).
- Plantas compactas de tratamiento de residuales domésticos, diseñadas y construidas tanto en Cuba como en el exterior del país.
- Plantas de tratamiento de residuales de la industria del procesamiento de metales.
- Lagunas de estabilización (facultativas, anaeróbicas y aeróbicas), construidas en serie o aisladas, para el tratamiento de residuales domésticos de pequeñas poblaciones o del sector agroalimentario. Por ejemplo, para pequeñas comunidades como tratamiento secundario final de residuales porcinos previamente tratados y otros similares. El sistema del INRH controla y evalúa sistemáticamente un total de 304 de estas lagunas.
- Humedales artificiales, de reciente introducción, para el tratamiento de residuales domésticos de pequeños núcleos poblaciones.

9. Agua y salud humana

Las aguas utilizadas para consumo humano, las de fines recreativos y las aguas residuales que se utilicen para la agricultura o acuicultura deben tener un tratamiento adecuado. Ellas requieren de vigilancia constante, de acuerdo con las normas establecidas en cada país. Sin embargo, los países en vías de desarrollo tienden a adoptar los lineamientos y normativas de la calidad de agua formuladas por los países desarrollados, aunque los riesgos, hábitos de la población y condiciones climáticas sean diferentes.

Cada día, en Cuba se incrementan las medidas para garantizar la cobertura de agua potable y saneamiento básico; no obstante, existen situaciones que pueden afectar la calidad del agua, especialmente si no se cumplen los requisitos básicos de acceso, disponibilidad, calidad, cantidad y continuidad del servicio para la población.

En Cuba, las enfermedades infecciosas intestinales aún ocupan, en morbilidad, la segunda causa en la demanda de atenciones médicas. Según informaciones oficiales,[6] en el año 2007, la tasa de morbilidad por 1 000 habitantes reportada por atenciones médicas, causadas por enfermedades diarreicas agudas (EDA), fue de 61.6, con mayor incidencia en niños menores de cinco años (1 062.0), lo que indica que aún estas enfermedades afectan a la población y pueden estar asociadas a la calidad del agua, la higiene y el saneamiento básico.

Durante los años 1996 y 1997 se llevó a cabo un estudio en 31 ciudades de Cuba, con más de 35 000 habitantes[7] con el objetivo de establecer la relación epidemiológica entre la calidad del agua y las EDA. Como indicadores se establecieron los índices de desinfección y potabilidad del agua de consumo y el de atenciones médicas por EDA. El índice de desinfección en el país en el año 1996 mostró un valor de 72.4% y en 1997 de 74.8%, mientras que el índice de potabilidad fue de 87.0% y 76.5%, respectivamente. Se encontró un comportamiento inversamente proporcional en la relación epidemiológica entre estos dos índices y el de atenciones médicas por EDA. Con el conocimiento de la calidad del agua de consumo en las principales ciudades del país, este estudio permitió estratificar, en tres grupos, el riesgo de exposición a agua no segura: alto riesgo, riesgo moderado y bajo riesgo. La estratificación posibilitó la confección de planes de medidas específicos, así como establecer prioridades que fueron analizadas conjuntamente con las autoridades locales.

Más recientemente, en un estudio analítico de corte transversal desarrollado en tres sitios centinelas del país (municipios de Santiago de Cuba, Cienfuegos y La Habana) en mayo y noviembre de 2005,[8] prevalecieron las diarreas en 10.8%, significativamente mayor en verano que en invierno. El 33.5% de ellas fueron asociadas a un alimento consumido y 28.7% al agua. Además, fueron estudiados 27 factores de riesgo relacionados con ocupación, agua, alimentos, tenencia de animales, viajes y condiciones de la vivienda. Se obtuvo asociación estadística en seis factores relacionados con los alimentos (adquisición de productos en los mercados agropecuarios, no lavar las frutas antes de su ingestión, no usar superficies diferenciadas, no la-

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

var dichas superficies antes en los lugares donde se cortan carnes crudas y vegetales, compra de huevos con más de siete días de antelación a su consumo y mantener éstos a temperatura ambiente en el hogar). Tres estuvieron relacionados con el agua (consumo de agua que no procede de acueductos con tratamiento, ciclo de entrega del agua cada dos o tres días y consumo directo del sistema de distribución), uno con los viajes (viajar a otros municipios dentro de la provincia), tres con la tenencia de animales (posesión de mascotas y otros animales), y otros cinco asociados con las condiciones de la vivienda.

10. Agua y economía

PARA USO RESTRINGIDO

Entre los años 1990 y 1994, la economía cubana experimentó una fuerte caída de 33% de su PIB. A partir de ese año, comenzó una paulatina y lenta recuperación que no ha cesado hasta la fecha.

Mientras que en el país el PIB creció en casi 34% de 2004 a 2007, los gastos en el sistema del INRH crecieron en un 82%. Las inversiones en ese período se elevaron en más de dos veces, lo que demuestra la prioridad que se le concede a este sector dentro de la política económica del país. El autofinanciamiento del sector hidráulico, a través de su sistema empresarial, asegura los gastos de operación y mantenimiento de los grupos empresariales encargados de las actividades de acueductos y alcantarillado (agua y saneamiento), aprovechamiento hidráulico (operación de las presas), ingeniería y logística, y el de proyectos de obras hidráulicas. Las inversiones de infraestructura son financiadas por el presupuesto central del Estado.

Los ingresos por tarifas y otras prestaciones, tanto de la población como del sector empresarial, han venido creciendo de acuerdo con el incremento de los servicios. En el año 2007 alcanzaron unos 600 millones de pesos; una parte de ellos en divisas convertibles, en concordancia con el sistema dual monetario (peso cubano, CUP, y peso cubano convertible, CUC) del país, lo que posibilita, además, que las distintas empresas del INRH cubra los gastos operacionales y de mantenimiento con esta moneda.

"Hay escasa evidencia de que los Gobiernos de los países en vías de desarrollo estén reforzando sus presupuestos relacionados con el agua".[9] En Cuba ha venido ocurriendo todo lo contrario, como se desprende de la información anterior, y se están creando las bases para un aseguramiento y ritmo superior de desarrollo en esta esfera en los próximos años.

FORO CONSULTIVO

Con esa finalidad:

- Se han instalado tres fábricas de tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD) con un costo de inversión superior a 19 millones de pesos (90% corresponden a divisas convertibles). Son fábricas de alta tecnología, con una capacidad de procesamiento superior a 25 000 toneladas de resinas al año y cubren el 100% de las necesidades actuales del país. Como complemento de estas inversiones, se han contratado máquinas de inyección y de termofusión para la producción de piezas y accesorios, con un valor superior a US 7 millones de dólares. Para los próximos años se prevé la producción de resinas de PEAD como parte del desarrollo nacional de la industria petroquímica. Cubrirá las necesidades de producción de tuberías y piezas.
- Adquisición de equipos de construcción y transporte que refuerzan la capacidad constructiva de las empresas del INRH.
- Adquisición de unos 700 grupos electrógenos con 125 MW de capacidad que protegen 648 objetivos importantes del sistema de distribución de agua, en caso de fallas en el sistema electroenergético nacional. Estos equipos están instalados en 90% en todo el país y su adquisición fue a un costo de alrededor de US 48 millones de USD.
- Como parte del Programa Nacional de Ahorro de Energía en el sector hidráulico, se han adquirido, y están en fase final de instalación, 2 672 equipos de bombeo de alta eficiencia energética, que sustituyen a igual número de equipos ineficientes en los distintos acueductos del país, con un costo superior a US 45 millones de dólares. Ahorrarán más de US 15 millones de dólares/año. Beneficia, además, el servicio de agua en calidad y cantidad.
- Adquisición, y en fase final de instalación, de cerca de 270 000 bombas de agua de bajo consumo energético para viviendas de más de una planta, que sustituyen equipos ineficientes, con el consiguiente ahorro energético, a la vez que mejoran el servicio de agua a la población. La inversión supera US 18 millones de dólares.

Programa para mitigar los efectos de la sequía Este Programa se ejecuta desde hace unos años. Consta de construcción de trasvases entre cuencas y provincias, rehabilitación de redes y conductoras, construcción de nuevos acueductos y sistemas de tratamiento, entre otros.

11. Agua para energía e impacto de las presas

La utilización de la energía del agua en Cuba, como fuente de generación de electricidad, se inició a principios del pasado siglo cuando se pusieron en explotación pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, cuyas ruinas permanecen aún como muestras de las huellas de la utilización de la energía hidráulica con diferentes fines, especialmente en las plantaciones de café y para accionar molinos de granos. Los años 80 marcaron el inicio real de los estudios, construcción y desarrollo de la energía hidráulica en el país debido a la escasez de combustible y al aumento de su precio en el mercado internacional.

PARA USO RESTRINGIDO

La necesidad de conducir la electrificación a las pequeñas comunidades, en zonas apartadas de las montañas, encontró en esta fuente una forma viable que se intensificó considerablemente con un amplio programa dirigido a su mantenimiento y desarrollo, con el fin de elevar el nivel de vida de estos pobladores y sustituir las plantas diesel.

Energía hidráulica. Situación actual (2008). Clasificación por rangos de potencia (según la Organización Latinoamericana de Energía). El país dispone de 137 microhidroeléctricas, 35 minihidroeléctricas, 7 pequeñas centrales hidroeléctricas y una central hidroeléctrica mayor para un total de 180 (incluye 31 estaciones que aportan energía al Sistema Electroenergético Nacional [SEN]). La potencia instalada es de 62.2 MW, distribuida en 9 provincias y 38 municipios del país. Los habitantes beneficiados, residentes en zonas montañosas y rurales intrincadas de difícil acceso, ascienden a 34 990 (incluye electrificación de 78 consultorios médicos, 138 escuelas y otros 188 objetivos económicos y sociales en estas zonas intrincadas).

FORO CONSULTIVO

12. Inundaciones y sequías

Las inundaciones son el tipo más común de desastre en todo el mundo. Se estima que constituyen 40% de éstos. En los últimos 25 años, y según publicación de la revista Stop Disasters, los fallecidos por inundaciones representan 8.6% del total de muertos y 80% de los heridos producidos por todos los desastres naturales.

La presencia de tormentas tropicales de notable capacidad pluvial, que frecuentan el área del Caribe entre los meses de mayo y noviembre, ejercen una notable influencia sobre el régimen hidrológico de Cuba, donde el régimen de las corrientes superficiales se comporta con arreglo a la distribución de la lluvia: en el período lluvioso se producen las mayores avenidas, casi siempre relacionadas con las tormentas tropicales. Además, las inundaciones en Cuba también están asociadas a las modificaciones del terreno producidas por prácticas agrícolas inadecuadas, tala de árboles, incendios, urbanización, malas prácticas constructivas y otras intervenciones inapropiadas para el medio ambiente o las combinaciones de éstas.

En Cuba, los daños producidos por estos fenómenos también son cuantiosos: la penetración del mar que azotó en 1932 al poblado de Santa Cruz del Sur, en la provincia de Camagüey, ocasionó más de 3 000 muertos y desaparecidos; las inundaciones asociadas al paso del ciclón Flora en 1963 por el oriente del país causaron pérdidas por más de 1 000 vidas humanas.

Afortunadamente, y como respuesta al impacto de este huracán, comenzó el desarrollo de un eficiente Sistema de Defensa Civil que preserva las vidas humanas contra estos desastres naturales. Se reconoce internacionalmente que en Cuba las muertes en estas circunstancias son mínimas, casi siempre debidas a actos irresponsables de las víctimas.

Dada la alta vulnerabilidad a los eventos climáticos extremos, lluvias intensas y crecidas, en Cuba se presta especial atención, y se le dedica grandes esfuerzos, a la prevención hidrológica. En este sentido, el INRH de la República de Cuba está dando los primeros pasos en la automatización de los Sistemas de Prevención Hidrológica y Alerta Temprana en cuencas altamente vulnerables a los embates de eventos extremos y con condiciones de elevada potencialidad de inundaciones, en las que se compromete a la población y a importantes recursos materiales. Se prevé que estos sistemas incluyan la automatización de la medición de las variables del ciclo hidrológico (se ha diseñado una red de monitoreo en correspondencia con las necesidades principales para la protección y manejo de los recursos hidráulicos en las cuencas); la transmisión de datos en tiempo real; el procesamiento de los datos; la modelación hidrológica e hidráulica; la operación de hidromecanismos, todos dirigidos para brindar apoyo a la toma de decisiones.

La sequía también ha estado ejerciendo un rol determinante en el ciclo hidrológico, en particular sobre los recursos hídricos superficiales y subterráneos, sus reservas y las características de su manejo y explotación. Ha conducido a soluciones emergentes en las áreas afectadas respecto al abastecimiento de agua, el riego y la generación de energía.

Cuantiosos impactos directos e indirectos han ocasionado estos eventos sobre la economía y la sociedad. El último de ellos, la sequía desde 2003 hasta 2005, originó que, al finalizar enero de 2005, de las 239 presas en explotación, 114 no alcanzaran 25% de su aprovechamiento y, de ellas, 41 estuvieran por debajo del llamado "nivel muerto". En determinados momentos, hubo que abastecer de agua, simultáneamente, a más de dos millones de personas, utilizando diferentes medios de transporte, como embarcaciones y ferrocarriles. Las pérdidas directas superaron 1 000 millones de USD.

En respuesta a estos nocivos eventos, en Cuba se desarrollan, continuamente, avanzados Sistemas de Vigilancia, Diagnóstico y Alerta Temprana de la Sequía Meteorológica, Agrícola e Hidrológica sustentados en las investigaciones científicas que profundizan en el conocimiento de las causas de estos fenómenos y permiten avanzar en su pronóstico, así como en la determinación del peligro que representan para las distintas localidades del país. Forman parte de los estudios sobre peligro, vulnerabilidad y riesgos por eventos climáticos que, para la reducción de sus impactos, se desarrollan para todo el país.

13. Legislación

Antecedentes

A finales del siglo XIX, la base legal existente en Cuba en materia de agua estaba refrendada en la Ley de Aguas española de 1879, publicada en la Gaceta de La Habana (26 de febrero de 1891). Se hizo extensiva a la Isla de Cuba, el 9 de enero de 1891, por Real Decreto de ese propio año y su Reglamento (13 de enero de 1891); constituyó la primera disposición de mayor rango jurídico que reguló de manera específica aspectos relacionados con el agua en Cuba. Estas normativas estuvieron en vigor hasta el 1 de julio de 1993, fecha en que fue promulgado el Decreto Ley No. 138 de las Aguas Terrestres.

Hito relevante en la legislación cubana en materia de aguas terrestres (24 de febrero de 1976): se promulgó la primera Constitución de la República de Cuba de corte socialista. Establece nuevas bases legislativas en materia de agua e incluye en su Artículo No. 27 que "para asegurar el bienestar de los ciudadanos, el Estado y la sociedad protegen la naturaleza. *Incumbe a los órganos competentes y además a cada ciudadano velar porque sean mantenidas limpias las aguas y la atmósfera y que se proteja el suelo y la fauna*" (Constitución de la República de Cuba, legislación consultada).

Con la reforma realizada al referido texto constitucional en julio de 1992, la Asamblea Nacional del Poder Popular (Parlamento cubano), previa consulta a toda la población, modificó el citado artículo para atemperarlo al principio que propicie el uso racional y sostenible de los recursos naturales. Quedó redactado del modo siguiente:

"El Estado protege el medio ambiente y los recursos naturales del país. Reconoce su estrecha vinculación con el desarrollo económico social sostenible para hacer más racional la vida humana y asegurar la supervivencia, el bienestar y la seguridad de las generaciones actuales y futuras. Corresponde a los órganos competentes aplicar esta política. Es deber de los ciudadanos contribuir a la protección del agua, la atmósfera, la conservación del suelo, la flora, la fauna, y todo el rico potencial de la naturaleza" (legislación consultada).

Es de destacar que el 10 de enero de 1981 se había promulgado la Ley No. 33 de Protección del Medio Ambiente y el Uso Racional de los Recursos Naturales, en la que se establecieron los principios básicos para la conservación, la protección, el mejoramiento y la transformación del medio ambiente y el uso racional de los recursos naturales, y se señaló que estos comprenden, principalmente, entre otros, las aguas terrestres.

Dentro de las proyecciones legislativas del país, y la necesidad de emitir un instrumento jurídico que regulara la creciente actividad de las aguas terrestres en concordancia con la política de integralidad de los recursos naturales que el Estado promovía, es así como se promulga el 1 de julio de 1993 el Decreto Ley No. 138 de las Aguas Terrestres, vigente hasta la fecha, con el objetivo de desarrollar los principios básicos establecidos en la Constitución de la República de Cuba y en la Ley No. 33 de Protección del Medio Ambiente y Uso Racional de los Recursos Naturales, acompañada de otras disposiciones para su mejor aplicación, entre las que se señalan:

- **Decreto No. 199 del 10 de abril de 1995**
  Puso en vigor las Contravenciones de las Regulaciones para la Protección y el Uso Racional de los Recursos Hidráulicos.

- **Decreto No. 211 del 9 de agosto de 1996**
  De las Contravenciones de las Regulaciones para los servicios de acueducto y de alcantarillado.

- **Resolución No.25 (Ministerial) del 27 de octubre de 1993**
  Puso en vigor el Reglamento de la Inspección Estatal, en materia de recursos hidráulicos.

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

- **Resolución No. 67 (Ministerial) del 15 de mayo de 1990** Dispone las medidas necesarias para proteger la Cuenca Vento (fuente de abasto de la población de la capital de la República).

- **Resolución No. 24 (Ministerial) del 8 de mayo de 1999** Aprueba y pone en vigor el gasto sanitario o ecológico de los cursos naturales de agua interrumpidos por embalses.

La promulgación de la Ley No. 81 del Medio Ambiente, de fecha 11 de julio de 1997[10] y que deroga el texto anterior en materia ambiental, determinó la necesidad de comenzar un trabajo de revisión del Decreto Ley vigente en materia de agua para atemperarlo al sistema jurídico. Este trabajo aún no ha concluido; sin embargo, se ha dispuesto la promulgación de normas complementarias que permiten su mejor aplicación.

Un instrumento jurídico relevante, por su significado para el manejo y protección de los recursos hidráulicos en Cuba, ha sido la creación del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas, en el mes de abril de 1997, según el Acuerdo No. 3139 del Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros de la República de Cuba. Este Consejo es el máximo órgano coordinador en materia de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas en el territorio nacional.[11] Los resultados de su desempeño han permitido enriquecer las concepciones relativas al manejo integrado de las cuencas, como centro del Proyecto Nacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas, iniciado en el año 2008. Recientemente, el Consejo de Ministros aprobó el Decreto No. 280/2007, del 19 de marzo de 2007, que en su capítulo III institucionaliza el Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas.

Como complemento, existen disposiciones legales encaminadas a que prevalezca la racionalidad en el uso del agua, entre las que se destacan las relacionadas con la aprobación y puesta en vigor de los índices de consumo de agua para el sector de la economía no agrícola (1991); el establecimiento de la necesidad de aprobación por parte del INRH para extraer total o parcialmente agua de los embalses durante la captura de especies o para otros fines (1994); la aprobación de la metodología para la elaboración del Balance de Agua y su plan asignado (1998), y la aprobación y puesta en vigor de las normas totales netas y el coeficiente de eficiencia para la determinación de las normas brutas de los principales cultivos agrícolas (1999).

14. Conflictos por el agua

La condición de territorio insular excluye a Cuba del 90% de la población mundial que vive en los 145 países con cuencas hidrográficas compartidas,[12] donde el manejo del agua, a partir de su escasez o abundancia, pudiera constituir un foco potencial de conflictos.

No obstante, las características físicas y geográficas del archipiélago, su ubicación geográfica —que determina una alta vulnerabilidad a los eventos hidrometeorológicos extremos—, la configuración alargada y estrecha de la isla principal, la distribución espacial y temporal de sus recursos hídricos y un ambicioso programa de desarrollo socioeconómico planteado por el Gobierno Revolucionario a partir de enero de 1959 han sentado las bases de una estrategia para el manejo del agua que, cimentada en la creación de una amplia infraestructura hidráulica, responda de manera sostenible a las demandas de la sociedad, la economía y el medioambiente.

Contar con una base legal expresada en el Artículo 27 de la Constitución de la República, en la Ley 81 del Medio Ambiente y el Decreto Ley 138 de las Aguas Terrestres, junto con la base institucional —soportada en el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos como ente rector del Estado para la administración, planificación, control y protección de las aguas terrestres, la prestación de los servicios de abastecimiento de agua y saneamiento—, pone al país en condiciones favorables para la solución de los posibles conflictos entre usuarios. Los diferentes usos del agua no compiten entre sí: las prioridades están definidas por su orden de prelación. La primera es el abasto a la población.

El principal instrumento para la administración del agua lo constituye el Balance Anual de Uso del Agua, proceso que parte de las disponibilidades de este recurso al final del período húmedo, y las demandas de los diferentes usuarios. El Balance Anual del Uso del Agua es discutido y aprobado por los gobiernos locales y las estructuras del INRH en la base y, finalmente, es puesto en vigor, mediante una resolución del Presidente del INRH, en enero de cada año. El Presidente está facultado para su modificación, en caso de que fuera necesario. El INRH, a través de su órgano de Inspección Estatal, controla el cumplimiento de lo establecido en este instrumento legal; aplica, a través de las regulaciones vigentes, las medidas por contravenciones tanto a personas jurídicas como naturales. Está facultado para la paralización de la actividad violatoria, si fuera necesario.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

No obstante, la dinámica del desarrollo económico y social o el comportamiento del ciclo hidrológico conducen a situaciones que promueven la adopción de medidas restrictivas, de control extremo, estrategias nacionales y multisectoriales y la concertación de documentos legales, como pueden ser las resoluciones conjuntas entre diferentes sectores de la economía.

A continuación se destacan algunos ejemplos de posibles "conflictos" (y entre paréntesis se mencionan los mecanismos para su solución):

a) Acuicultura y abasto a la población (en el Decreto Ley 138 se establece la prohibición de cría intensiva de peces en embalses de abasto a la población). **b) Acuicultura y agricultura** (en el Balance de Uso del Agua anual se establece el espejo de agua que garantice ambos usos). **c) Generación hidroeléctrica** (se subordina a los usos de abasto y agrícolas). **d) Medioambiente y embalses** (en el Balance Anual de Uso del Agua se planifica el volumen establecido para el mantenimiento del equilibrio ecológico en las corrientes fluviales reguladas [gasto ecológico] por Resolución del Presidente del INRH).

Los diferentes episodios de sequía que ha vivido nuestro país, y la limitada disponibilidad de agua que conllevan, han sido, en oportunidades, situaciones que han marcado "conflictos" entre usuarios. Ante esta situación, se ha implementado una estrategia nacional en la que, con la participación de los organismos de la administración del Estado, principales usuarios del agua, se identifican las acciones, tanto emergentes para el uso racional del agua y su máximo aprovechamiento, como para el establecimiento de medidas tecnológicas u organizativas a corto, mediano y largo plazo, unido a los proyectos estratégicos que incrementan las disponibilidades de agua para los diferentes usos.

El trasvase de agua (Figura 9) entre regiones (provincias) es uno de los proyectos estratégicos de mayor alcance que se viene desarrollando en el país para dar solución a potenciales conflictos que, sobre todo, van en detrimento de la estabilidad social y económica de la población, así como de su calidad de vida.

En términos objetivos, la alternativa para la solución de conflictos es apostar a la aplicación de tecnologías eficientes y sostenibles para el uso del agua, y lograr una gestión del agua con un enfoque cada vez más multidimensional con la participación de todos los actores sociales (usuarios, técnicos, responsables de la toma de decisiones) involucrados.

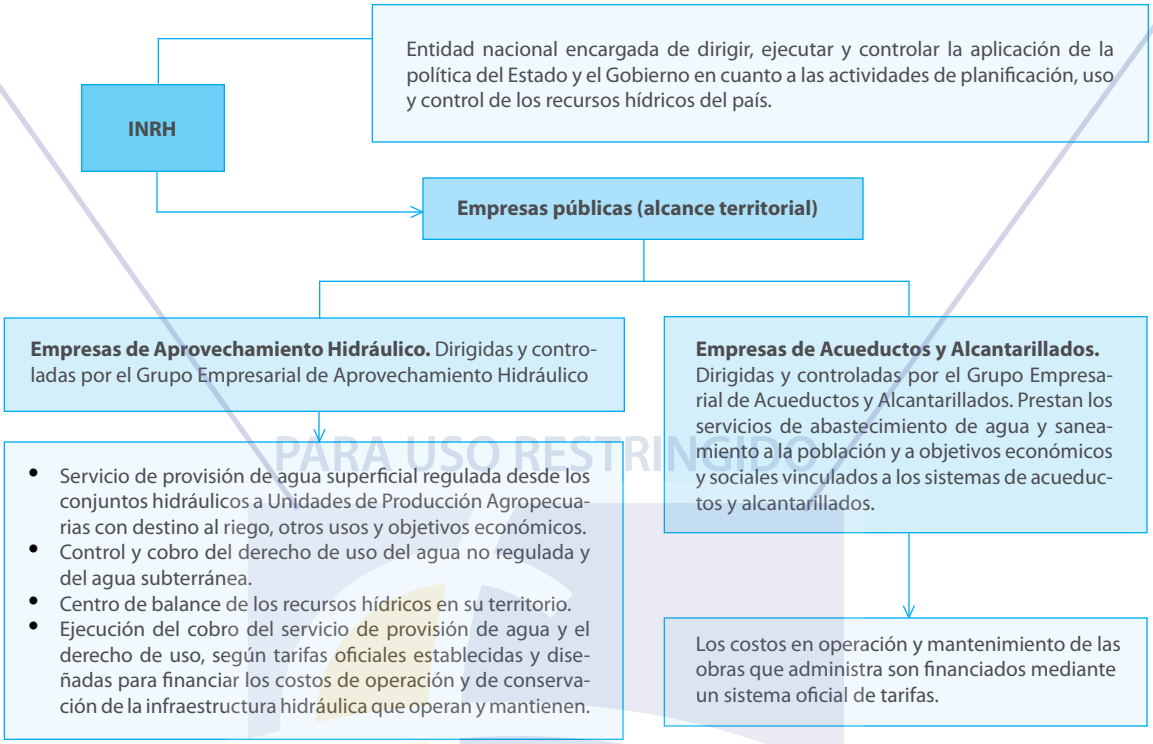
15. Gobernabilidad del agua

Como concepto, y de acuerdo con la UNESCO,[13] "la gobernabilidad del agua está definida por los *sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos* que se encuentran en funcionamiento y que afectan, directa o indirecta-

Figura 9. Trasvases de agua, proyecto estratégico. Curvas de igual precipitación (isoyetas) y necesidades de trasvases

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Esquema 1. Organización administrativa



PARA USO RESTRINGIDO

mente, la utilización, el desarrollo y la gestión de los recursos hídricos, así como la distribución de los servicios de abastecimiento de agua a diferentes niveles de la sociedad (fin de la cita)".

Condiciones para la gobernabilidad del agua

La Constitución de la República de Cuba, en su Artículo 11, establece el fundamento legal en materia de agua: "*El Estado ejerce su **soberanía sobre todo el territorio nacional**, integrado por la Isla de Cuba, la Isla de la Juventud, las demás islas y cayos adyacentes, **las aguas interiores** y el mar territorial en la extensión que fija la ley y el espacio aéreo que sobre éstos se extiende*". El Artículo 27 de esta Constitución (Sección 13) reconoce la estrecha vinculación del agua con el desarrollo económico y social sostenible del país, unido al deber de los ciudadanos de contribuir a su protección. Otros instrumentos legales complementan y amplían la base legal vigente con relación al agua, como son la Ley No. 81 del Medio Ambiente y, en especial, el Decreto Ley No. 138 de las Aguas Terrestres, entre otros.

Organización administrativa (institucional)

La estructura institucional existente, para el ejercicio de los mecanismos de gobernabilidad del agua en Cuba, se muestra en el Esquema 1.

Las redes de observación de las variables del ciclo hidrológico y de la calidad de las aguas son operadas por el sistema del INRH, organismo que administra las bases de datos que generan y que constituyen la fuente de la información oficial para toda la nación.

Las inversiones en infraestructura son financiadas por el presupuesto del Estado. Consecuentemente, toda la infraestructura hidráulica y de saneamiento del país es propiedad estatal.

FORO CONSULTIVO

Mecanismos para la gobernabilidad del agua

La planificación. En las condiciones de Cuba, la piedra angular en el manejo del agua lo constituye el Balance Anual de Uso del Agua, que es de alcance nacional y tiene una expresión territorial: a) expresa los volúmenes de agua asignados para las diferentes actividades económicas y sociales, y b) toma en cuenta las disponibilidades reales previstas para el año en las fuentes de abasto y las medidas encaminadas a la protección del agua y los ecosistemas acuáticos (ver Cuadro 5).

La ejecución. Corresponde a las Empresas de Aprovechamiento Hidráulico la ejecución del Plan de Uso de las Aguas, a través de la operación de la infraestructura hidráulica que tienen a su cargo. Además de las responsabi-

lidades descritas en el anterior esquema, estas entidades ejecutan, entre otras actividades y dentro de su área de actuación, las siguientes:

- La medición del agua que entregan a los usuarios: mediante el desarrollo y perfeccionamiento constantes de la hidrometría de explotación.
- El cobro a los usuarios del servicio de provisión de agua regulada y del derecho de uso de agua no regulada y subterránea.
- Eventuales proposiciones para la modificación del Plan del Uso del Agua: en condiciones no previstas del comportamiento de las variables del ciclo hidrológico o por necesidades de la producción y los servicios.
- La prevención hidrológica: en eventos extremos, juegan un importante papel antes, durante y después de su ocurrencia, en la protección de la infraestructura que operan, y en la adecuación de la operación a las condiciones del momento. En estas circunstancias, su trabajo resulta clave en los planes y acciones de Defensa Civil en el territorio.

Fotografía 1. Fuente de Los Leones, fotografía de Richard Molina, Agencia de Medio Ambiente, Cuba

La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH)

Aún cuando desde hace muchos años algunos de los elementos de la GIRH han estado presentes en los sistemas de planificación y control del uso del agua en Cuba, a lo que han contribuido la estabilidad institucional y del modelo sociopolítico cubano, las autoridades nacionales del sector hidráulico han seguido atentamente el desarrollo conceptual sobre la gestión del agua, que ha tenido lugar en el ámbito internacional, y que han derivado en un enfoque de GIRH. Por ello, dentro del marco institucional y legal existente se han dado pasos importantes, en los últimos años,[14] que enriquecen las dimensiones medioambiental, social, política y económica de la gestión del agua hacia el enfoque de GIRH que, de forma sucinta, se focaliza en los siguientes aspectos:

Implementación de los enfoques actuales para la GIRH en Cuba

- **Creación del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas. Quince Consejos Territoriales de Cuencas Hidrográficas y seis Consejos específicos:** constituyen un importante marco para un mayor acercamiento de la gestión integrada del agua en su vínculo con los otros componentes ambientales y socioeconómicos.
- **Definición de nueve cuencas de interés nacional:** incluye seis cuencas compartidas y 53 cuencas de interés provincial prioritario para los Consejos a ese nivel. Elaboración y control del Plan del Uso del Agua de estas cuencas.
- **Inicio de la constitución de Comunidades de Usuarios del Agua:** propician y evitan posibles conflictos de intereses entre usuarios y su mayor participación en la toma de decisiones. Brindan apoyo a la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico en su labor de elevar la eficiencia en el uso del agua.

En Cuba, las políticas de financiamiento, basado en tarifas de los servicios de suministro de agua para uso doméstico, comercial, industrial o agrícola, están regidas por el principio de la recuperación de los costos. Dentro de este marco, el diseño de tarifas tiene como objetivo el uso eficiente del agua con escala de precios que estimulan los menores consumos y penalizan el exceso de consumo.

PARA USO RESTRINGIDO
PARA USO CONSULTIVO

Cuadro 5. Balance anual del uso del agua	
Elaboración del Balance Anual de Uso del Agua	Los usuarios están obligados a presentar cada año las demandas de agua argumentadas, de acuerdo con el nivel de actividad previsto en sus planes de producción o de servicios y con las normas de consumo y eficiencia establecidos. Está referido a cada fuente de abasto, usuario y uso específico del agua en cada trimestre del año que se planifica. Constituye el documento rector para la operación de las fuentes y el control de las entregas, y las prescripciones que contiene son de obligatorio cumplimiento para todas las entidades usuarias del agua.
Aprobación del Balance Anual de Uso del Agua	Compete al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Una vez aprobado, constituye el Plan de Uso de las Aguas para el año que corresponda, y pasa a ser parte integrante del Plan de la Economía Nacional.

La dimensión económica en la gestión del agua. Uso eficiente

El pleno desarrollo de estas políticas lleva implícito la medición de las entregas de agua. En el caso cubano, es en el sector residencial donde resulta pobremente desarrollada (sólo 4% de cobertura). En la actualidad se encuentran en marcha inversiones que deben incrementar esta cobertura en más de 20% en los próximos años. El resto de los sectores presentan coberturas de medición aceptables.

Una experiencia

Con el propósito esencial de incorporar tecnologías de punta en la gestión de los servicios de acueducto y alcantarillado, desde 1994 operan dos modalidades de contratos: el contrato de Asociación Económica Internacional, para el servicio de acueducto y alcantarillado en el polo turístico de Varadero, Empresa Acueducto y Alcantarillado de Varadero y la Sociedad Concesionaria para la Gestión y Fomento de los Servicios de Acueducto, Alcantarillado, Saneamiento y Drenaje Pluvial, S.A., que atiende estos servicios en ocho municipios de la Ciudad de La Habana, Aguas de La Habana, a los efectos comerciales, ambos con el Grupo Aguas Barcelona, con resultados económicos favorables y beneficios sociales importantes.

16. Escenarios debido a los cambios globales

Una de las evidencias de los cambios globales en la región del Caribe es el aumento de la frecuencia de los huracanes en los últimos años: Michelle (2001), Lily, Isidora (2002), Claudette (2003), Charley, Iván (2004), Dennis, Rita, Vilma, Katrina (2005).

El tema de la previsión y las estrategias para la mitigación y adaptación que permitan enfrentar las consecuencias que acarrearán los impactos de los evidentes cambios globales sobre la economía y supervivencia de los estados insulares, y en particular en lo que respecta a Cuba, es el motivo de las acciones que el gobierno y las instituciones involucradas acometen en la actualidad. El sector de la Ciencia y la Defensa Civil integran los estudios pertinentes. El gobierno dota a instituciones clave de los recursos materiales y financieros, así como del apoyo necesario para la elaboración de las recomendaciones y medidas que la sociedad cubana tiene que ir adoptando con vistas a su preparación ante los efectos de los cambios globales. Los sectores de la economía, entre ellos el encargado de los recursos hídricos, forman parte de la instrumentación de esta estrategia, la cual incluye las medidas para la adaptación y decrecimiento de la vulnerabilidad mediante el denominado "Programa de Recursos Hídricos".

17. Agua, cultura y religión

La cultura ha sido definida por la Declaración Universal de la UNESCO sobre la Diversidad Cultural como *"el conjunto de los rasgos distintivos espirituales y materiales, intelectuales y afectivos que caracterizan a una sociedad o a un grupo social y que abarca, además de las artes y las letras, los modos de vida, las maneras de vivir juntos, los sistemas de valores, las tradiciones y las creencias"*.[15] Esta organización internacional ha reconocido el papel del agua en la cultura en cuanto a su vinculación con el desarrollo de la humanidad. En su sitio web, en la sección "Agua y cultura", se recogen los aportes de las investigaciones que, en este sentido, se realizan en los países, con manifestaciones que se remontan a los inicios de las más antiguas civilizaciones. La fuente anteriormente citada señala:

"En la mitología griega, Okeanos (Océano) era el titán y el dios primigenio del gran río Okeanos que circundaba el mundo, la fuente original de toda el agua dulce del planeta que incluía los ríos, pozos, manantiales y nubes".[16]

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Asociada al desarrollo de la nacionalidad cubana, y como parte de los "rasgos distintivos espirituales y materiales, intelectuales y afectivos que caracterizan a la sociedad (cubana), el agua ha estado y está integrada a sus modos de vida, sistemas de valores, tradiciones y creencias".

La inmigración española en Cuba hasta el siglo XVIII es andaluza principalmente, y las casas que se construyeron en el período que el profesor Pradt denomina Pre-Barroco cubano muestran una gran influencia de esta zona del sur de España, enriquecida por la cultura árabe. Esa influencia se manifiesta en los alfarjes, las tejas, la alfarería y en el atanor, tubo o cañería para conducir agua hasta el aljibe, pozo o cisterna, cavado en los patios de las casas para colectar el agua de lluvia. En Camagüey, el agua se almacenaba en típicos tinajones que, por su valor utilitario y ornamental, se convirtieron en símbolo de esta provincia cubana.

En la época en que Cuba era colonia de España, durante el período de gobierno del Capitán General Miguel Tacón, la ciudad fue engalanada con fuentes adicionales a las ya existentes. De los años 30 del siglo XIX datan las fuentes de la Columna o de la Ceres, de los Aldeanos o de las Frutas, de los Sátiros o de las Flores y la de Esculapio. En 1836 fue inaugurada en la Plaza de San Francisco la Fuente de los Leones (Fotografía 1), obra del escultor Gaggini y del arquitecto Tagliafichi, y un año después, frente al Campo de Marte y en un extremo del Paseo de Extramuros, fue colocada la simbólica Fuente de La India o de la Noble Habana (Fotografía 2), obra también de los mencionados artistas italianos. En 1838 se inauguró una fuente del dios Neptuno, de autor anónimo, a orillas del mar frente a la antigua Capitanía del Puerto.

Pero las fuentes no se utilizaron solamente para engalanar los paseos y alamedas de la villa y crear ambiente de frescura en los patios interiores de las mansiones residenciales, sino también para engalanar los paseos y alamedas de la villa. Asimismo sirvieron para alegrar y crear ambiente de frescura en los patios interiores de las mansiones residenciales.

El agua y la poesía. De la excelsa poetisa Dulce María Loynaz se ha expresado que en "Juegos de agua" (1947) canta a la naturaleza en uno de sus elementos, grande y simple, el agua de mar, estanque o río, libre o prisionera, fugitiva o estática. Su hermoso poema "Al Almendares", río habanero, es un ejemplo del encuentro de lo humano y la naturaleza.

El agua y la pintura. Asociada a las aguas mineromedicinales está la primera aparición de la imagen del negro en la pintura cubana. Nicolás de la Escalera (1734-1804) lo pinta en una obra donde aparece el primer Conde de Casa Bayona, junto con su familia y el esclavo que lo llevó hasta las aguas medicinales que había en sus tierras, donde pudo curar cierta enfermedad que lo aquejaba en la piel.

El agua y la música. Los sonidos naturales de la lluvia suave o torrencial y de las corrientes mansas o bravas, en ríos llanos o caudalosos, y también los de la campiña cubana, han despertado la sensibilidad de compositores del siglo XX como Pablo Ruíz Castellanos, autor de las obras sinfónicas tituladas "Río Cauto", "Monte Rouge" y "Escenas Campestres".

El agua y las religiones. Refiere la UNESCO:[14] El agua desempeña una función primordial en numerosas religiones y creencias alrededor del mundo. Como "fuente de vida", el agua representa el nacimiento y renacimiento. El agua limpia el cuerpo y, por lo tanto, también lo purifica. Estas dos cualidades principales otorgan al agua una condición simbólica, incluso sagrada, que hacen del agua un elemento clave en las ceremonias y cultos religiosos, realidad que no es ajena a la cultura del agua en Cuba en relación con las religiones de origen yoruba, conga y carabalí (difundidas y practicadas actualmente en gran parte del país), desde tiempos tan remotos como desde el arribo a Cuba, en 1511, de los primeros negros esclavos procedentes de África.[17]

Quienes en Cuba aún practican cultos afrocubanos de origen yoruba, tanto en ceremonias rituales que evocan al ser supremo o a deidades protectoras como en actos de adivinación, comienzan salpicando el suelo con agua clara contenida en una jícara y solemnemente pronuncian: "Omi-tutu: ana-tutu, tutu-laroye, tutu-ilé". Su significado es variado, sin que cambie la esencia. Desde la concepción religiosa, son palabras que convocan a lo esencial, a tomar conciencia de que para forjar el desarrollo y garantizar el futuro se necesita agua, fe y voluntad creadora.

Significado yoruba/español

Omi tutu:	Agua fresca (para que estén)
Ana tutu:	Fresco el cerebro
Tutu Laroye:	Fresco Elegguá (deidad calificada de traviesa en el panteón yoruba. Es un niño dueño del camino, quien a diario abre y cierra los caminos de todo mortal)
Tutu Ilé:	Fresca la casa

Fuente: Leyda Oquendo Barrios, comunicación personal

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

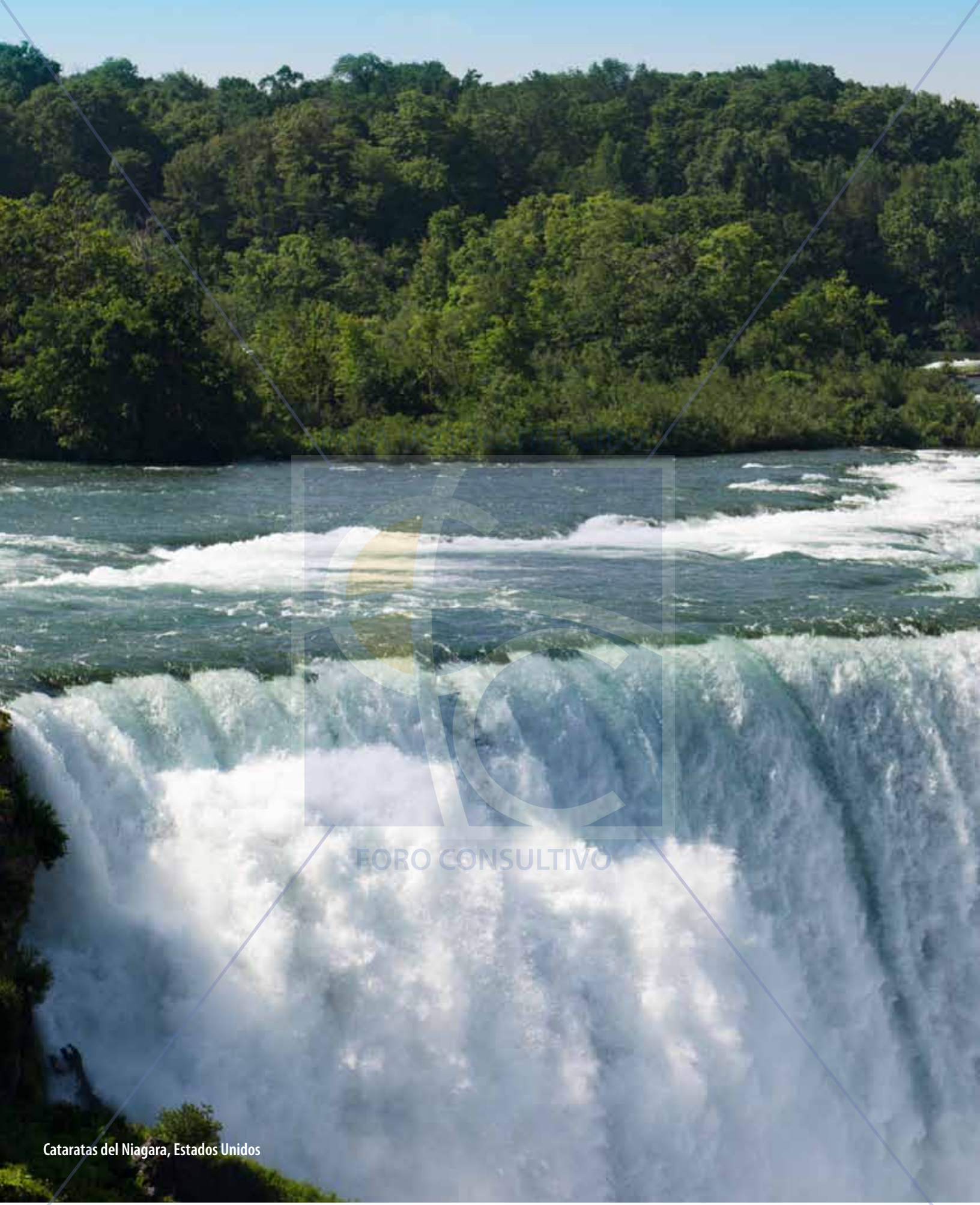
18. Referencias

1. García Fernández, J. M., Cantero Corrales, Luís (2008). Indicadores globales para el uso sostenible del agua: caso cubano. Revista Voluntad Hidráulica No. 100, La Habana: 12-19.
2. A. K. Chapagain y A. Y. Hoeskstra (2004). UNESCO-IHE. Water Footprints for Nations. Vol. No. 1. Main Report. Research Report Series No. 16. November 2004.
3. Plan de Uso del Agua Año 2009, Informe oficial INRH, Cuba (Oficina Nacional de Estadísticas (ONE), reporte 2010).
4. Rey R. Reporte oficial, Ministerio de la Agricultura, Cuba (ONE, 2010).
5. Inventario Nacional de las principales fuentes contaminantes de las aguas terrestres (2008). Inédito. Documento de trabajo. Archivo INRH.
6. Dirección Nacional de Registros Médicos y Estadísticas de Salud del Ministerio de Salud Pública de Cuba (2007). Disponible en URL: http://www.dne.sld.cu/desplegables/indexcuab.htm
7. Aguiar, P., Cepero, J. A., Coutin, G. La calidad del agua de consumo y las enfermedades diarreicas en Cuba, 1996-1997. Revista Panamericana de Salud Pública, 2000, 5: 313-18.
8. Aguiar, P., Castro, A., Coutín, G., Triana, T., Fernández, K., Hernández, R., Navarro, R. Factores de riesgo asociados a las enfermedades diarreicas agudas en tres sitios centinelas de Cuba. En Memorias del VIII Congreso Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS), Ciudad de La Habana, 22-25 de mayo de 2007.
9. En: Segundo Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hidráulicos en el mundo, p. 82.
10. Fernández-Rubio Legrá, Ángel. Ley 81/97 del Medio Ambiente en más de 150 preguntas y respuestas. Ministerio de Justicia, La Habana, 1999.
11. Gutiérrez Díaz, Joaquín. Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas en Cuba. Ponencia. Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de la República de Cuba.
12. PNUD (2007), Informe de Desarrollo Humano, 2006. Más allá de la escasez: poder, pobreza y la crisis mundial del agua.
13. http://www.waterhistory.org/histories/nile/ y de la sección Okeanos del Proyecto Theoi http://www.theoi.com/Titan/TitanOkeanos.html.

Fotografía 2. Fuente de La India o de La Noble Habana, fotografía de Richard Molina, Agencia de Medio Ambiente, Cuba

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

14. García Fernández, J. M. Aplicación del enfoque ecosistémico a la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. V. Hidráulica No. 99 Año 2007
15. Sección "Agua y cultura", sitio web de la UNESCO: "El sonido de nuestra agua".
16. http://www.waterhistory.org/histories/nile/ y de la sección Okeanos del Proyecto Theoi http://www.theoi.com/Titan/TitanOkeanos.html.
17. Oquendo Barrios, L. (1999). Trata, esclavitud y cimarronaje en América. Cronología (1492-1890). Revista de la Asociación Cubana de las Naciones Unidas, Documentos para el análisis. No. 2, p. 9, La Habana.



Cataratas del Niagara, Estados Unidos

FORO CONSULTIVO

Los recursos hídricos de los Estados Unidos y su administración

Henry Vaux, Jr.
Universidad de California

PRESTAMO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

1. Introducción

En los Estados Unidos, la disponibilidad de agua, los patrones de su uso y los problemas asociados a su administración son muy variables en cuanto a tiempo y a ubicación. Dicha variabilidad implica que con frecuencia es difícil hacer generalizaciones sobre las características de los recursos hídricos. No obstante, la característica más destacada y consistente de la situación hídrica en los Estados Unidos, es que el agua es escasa. Con excepción de las épocas de inundación, generalmente no hay suficiente agua para satisfacer todas las demandas debido a su disponibilidad, nivel de uso y las circunstancias bajo las cuales se administra. La dominante escasez de agua y el hecho de su incesante intensificación, son el resultado del continuo aumento de la demanda como de población y el crecimiento de la economía mientras el suministro de agua se mantiene estático o hacia la baja. La disminución puede ser consecuencia del deterioro de la calidad del agua, la sobreexplotación de aguas subterráneas, y las tendencias de cambio en cantidad, temporalidad y forma de la precipitación. El impacto de estos factores varía de una región a otra y ello significa que la escasez misma, aunque penetrante, tiene diferentes grados a lo largo de todo el país.

A pesar del lugar que ocupa como la nación con mayor desarrollo económico y la más rica de las Américas, Estados Unidos se enfrenta a los mismos problemas hídricos que sus vecinos hemisféricos al sur. Una excepción parcial es el hecho de que prácticamente toda la población de los Estados Unidos tiene acceso a fuentes de agua potable y servicios sanitarios adecuados. Sin embargo, el envejecimiento de los sistemas públicos de agua potable, la continua aparición de contaminantes que pueden amenazar las fuentes domésticas de agua, la insuficiencia de algu-

nos sistemas sanitarios rurales, y la creciente necesidad de renovar y actualizar algunos sistemas urbanos, implica que incluso este problema debe permanecer en la agenda de recursos hídricos de los Estados Unidos. A pesar de que los desafíos de proveer agua potable y servicios sanitarios de forma adecuada se manifiestan de distintas formas en los Estados Unidos, el menú de problemas hídricos a lo largo de los países americanos es bastante similar.

La siguiente descripción de los recursos hídricos de los Estados Unidos y los problemas asociados con su gestión ilustra lo común que son estas dificultades a lo largo del hemisferio. Sin duda, las diferencias entre un país y otro se relacionan probablemente tanto al grado y extensión. Similarmente, la variabilidad regional de la situación de los recursos hídricos en los Estados Unidos. y los relacionados problemas de gestión tiende a manifestarse como diferencias de grado y extensión. Esta lección surge de las secciones que siguen en esta contribución. La descripción de los recursos hídricos y los retos de su gestión está organizada y discutida en cuatro secciones: primero, la variabilidad en la existencia de agua y su disponibilidad a lo largo de la nación. Segundo, los patrones actuales y anticipados del uso del agua en distintas regiones. Tercero, el estado de la investigación sobre recursos hídricos en los Estados Unidos y el alcance de las investigaciones científicas probablemente proporcionen la nueva ciencia necesaria para enfrentar los retos del futuro. En la cuarta y sección final se menciona los principales retos de gestión del agua a los que se enfrenta Estados Unidos y las posibilidades de encararlos con éxito.

Figura 1. Zonas climáticas en los Estados Unidos

2. La existencia y disponibilidad del agua

La magnitud y tiempo de la precipitación varía sustancialmente a lo largo del país. En términos cuantitativos, los niveles de precipitación comúnmente se dividen en dos campos generales demarcados por el meridiano 100. Ésta es la línea que separa la parte relativamente húmeda del país (donde la lluvia generalmente excede los 500 mm anuales), de la parte oeste relativamente seca (donde la lluvia generalmente es menor a los 500 mm anualmente). La precipitación anual de 500 mm se considera particularmente significativa porque es el nivel mínimo para que la agricultura dependiente de la lluvia pueda ser realizada de forma rentable a largo plazo. En las áreas donde la precipitación anual es menor a 500 mm, irrigación suplementaria es casi siempre requerida si la agricultura va ser tanto productiva como rentable.

Como se puede ver en la Figura 1, los climas de la región húmeda del este del país y la región seca del oeste, son bastante diferentes. La precipitación anual en las regiones al este promedia entre 650 mm y 1500 mm. La región está dominada por tres tipos de clima: subtropical húmedo en la porción media y sureste; un clima continental húmedo con veranos cálidos que se presenta en las porciones medias y cerca del norte, y un clima continental húmedo con veranos frescos que se encuentra en las porciones lejanas del norte. La región seca del oeste tiene mayor variación tanto en cuanto a la magnitud de la precipitación como en cuanto a los tipos de clima. La precipitación oscila de 125 mm anuales en el desierto árido del suroeste hasta más de 2500 mm por año en los bosques lluviosos del Pacífico noroeste. Con excepción del noroeste más húmedo y las altas cordilleras, la precipitación a lo largo de la mayor parte de la región oeste tiende a ser entre 250 y 500 mm por año.

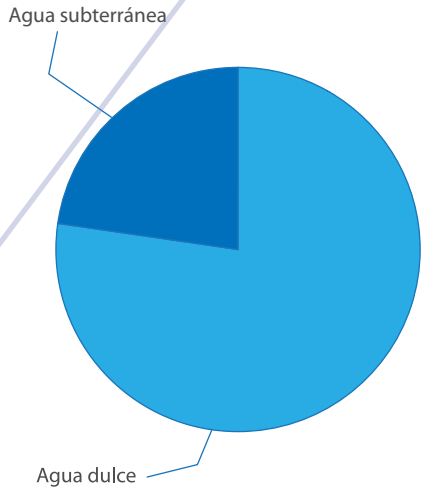
Tres patrones climáticos son la regla. Ellos son: el clima desértico de latitud media con precipitación muy escasa; el clima estepario semiárido que ocurre en las planicies occidentales y la Gran Cuenca, y el clima alpino que se manifiesta en las cordilleras de mayor elevación. A estos tres se debe agregar dos tipos de clima presentes en la proximidad de la costa oeste. La costa suroeste, que incluye la mayor parte de California, tiene clima mediterráneo mientras los tramos más al norte tienen clima marítimo de la costa oeste con grandes cantidades de lluvia. La cantidad y estacionalidad de las lluvias en esta última región contrasta con el resto de la región oeste.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

La precipitación varía temporalmente como espacialmente. Algunos climas varían de forma interanual. Así, por ejemplo, el clima mediterráneo de la costa suroeste se caracteriza por un período de lluvias de noviembre a abril y un período seco de mayo hasta octubre. El clima del suroeste árido conlleva dos estaciones lluviosas, una estación invernal y una estación de monzón desde fines de julio a principios de septiembre cuando ocurre más del 90% de la precipitación. En contraste, las latitudes medias de la parte este del país tienden a tener un clima moderado con lluvias de cantidades relativamente iguales en todas las estaciones. El sureste de los Estados Unidos es susceptible a huracanes que pueden traer cantidades enormes de lluvia introduciendo grandes distorsiones a los patrones locales de precipitación. Sumándose a las variaciones anuales que son características de los tipos de clima específicos, períodos de inundaciones y sequías se han encontrado a lo largo de la historia registrada. Por lo tanto, prácticamente cada región del país tiende a experimentar sequías recurrentes que van desde moderadas a severas. Similarmente, eventos de inundación ocurren periódicamente, y éstos también oscilan de moderadas a severas. La extensión de precipitación que cae como nieve también puede ser importante desde el punto de vista temporal. Áreas considerables del árido oeste dependen del deshielo primaveral como fuente importante de agua. En lugares donde la nieve es común en los meses de invierno, el deshielo primaveral tiende a sesgar el impacto de la precipitación hacia la primavera.

La precipitación se divide generalmente entre la evaporación, infiltración profunda y escorrentía. Las cantidades de agua superficial disponible para satisfacer el consumo y los usos de riachuelos son función de la escorrentía, que es alguna fracción de la precipitación. Esa fracción depende de una serie de factores que difieren de un lugar a otro y de un momento a otro. Sin embargo, la precipitación proporciona una aproximación razonable de la magnitud relativa del agua superficial disponible en las distintas regiones del país. Como se ilustra en la Figura 2, el agua superficial a escala nacional representa aproximadamente el 77% del total de agua dulce desvío, excluyendo la usada en la producción termoeléctrica. El 23% restante proviene de recursos hídricos subterráneos.

Figura 2. Fuentes de recursos hídricos en los Estados Unidos

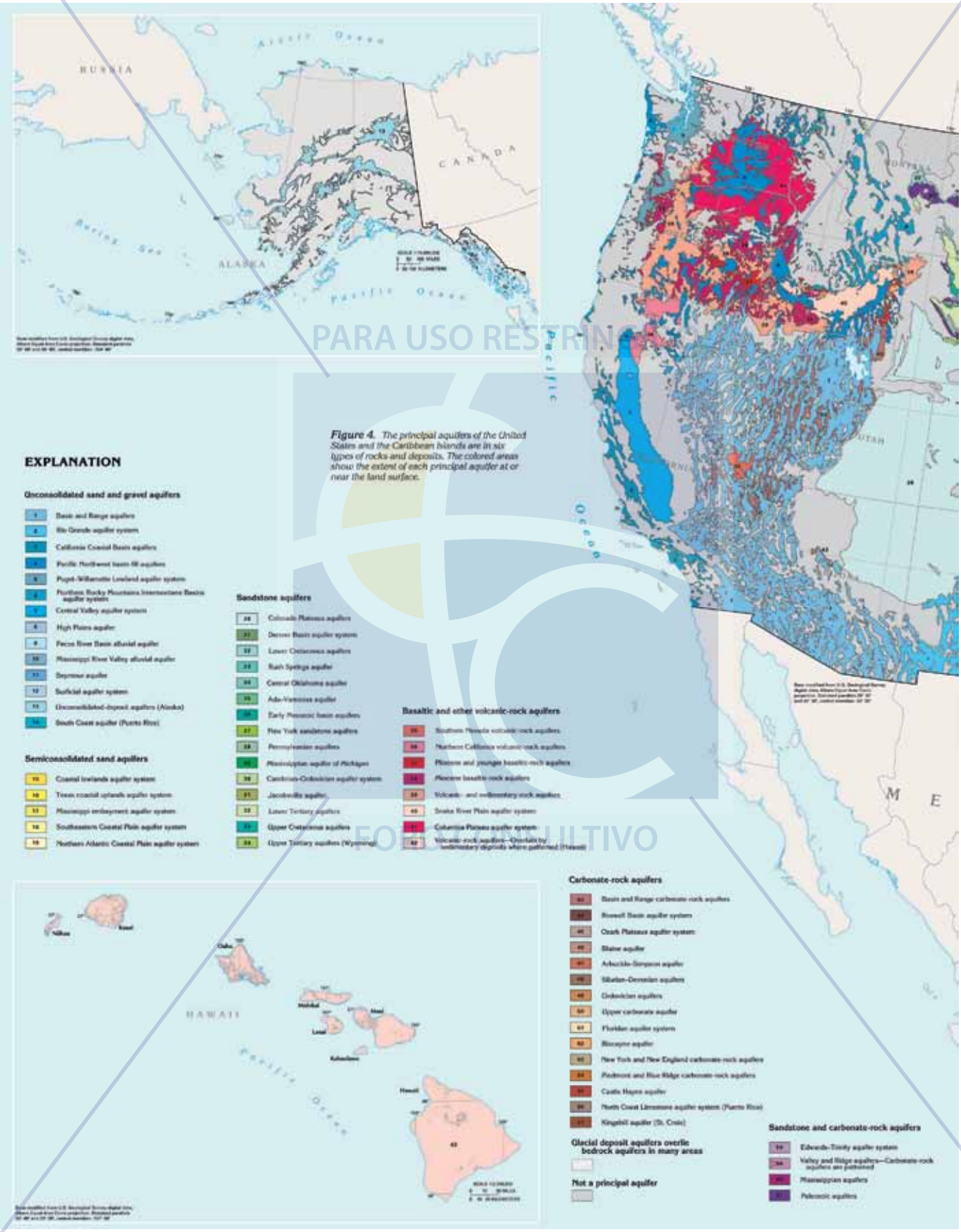


Los Estados Unidos poseen recursos hídricos subterráneos sustanciales y prácticamente ninguna región del país carece completamente de agua subterránea. La Figura 3 muestra la localización de los principales acuíferos o cuerpos subterráneos de agua de la nación. La importancia del agua subterránea está en el hecho de que es una fuente significativa de agua potable en cada uno de los estados. El agua subterránea también es una fuente sustancial del agua para uso agrícola en los estados áridos y semiáridos donde el riego se practica extensamente. Además, la cantidad almacenada de agua subterránea disponible es considerable y puede proveer una cantidad adicional de agua de manera temporal en caso de que las fuentes superficiales no estén disponibles en cantidades habituales (Alley, Reilly and Franks, 1999). El hecho de que el agua subterránea esté almacenada en acuíferos y no responda directamente a la falta de precipitación en términos de recarga, significa que tiende a estar fácilmente disponible por lo menos en el corto plazo en los tiempos de sequía. Por otra parte, el espacio poroso sin agua de los acuíferos nacionales proporciona una capacidad importante de almacenamiento (Alley, Reilly y Franks, 1999).

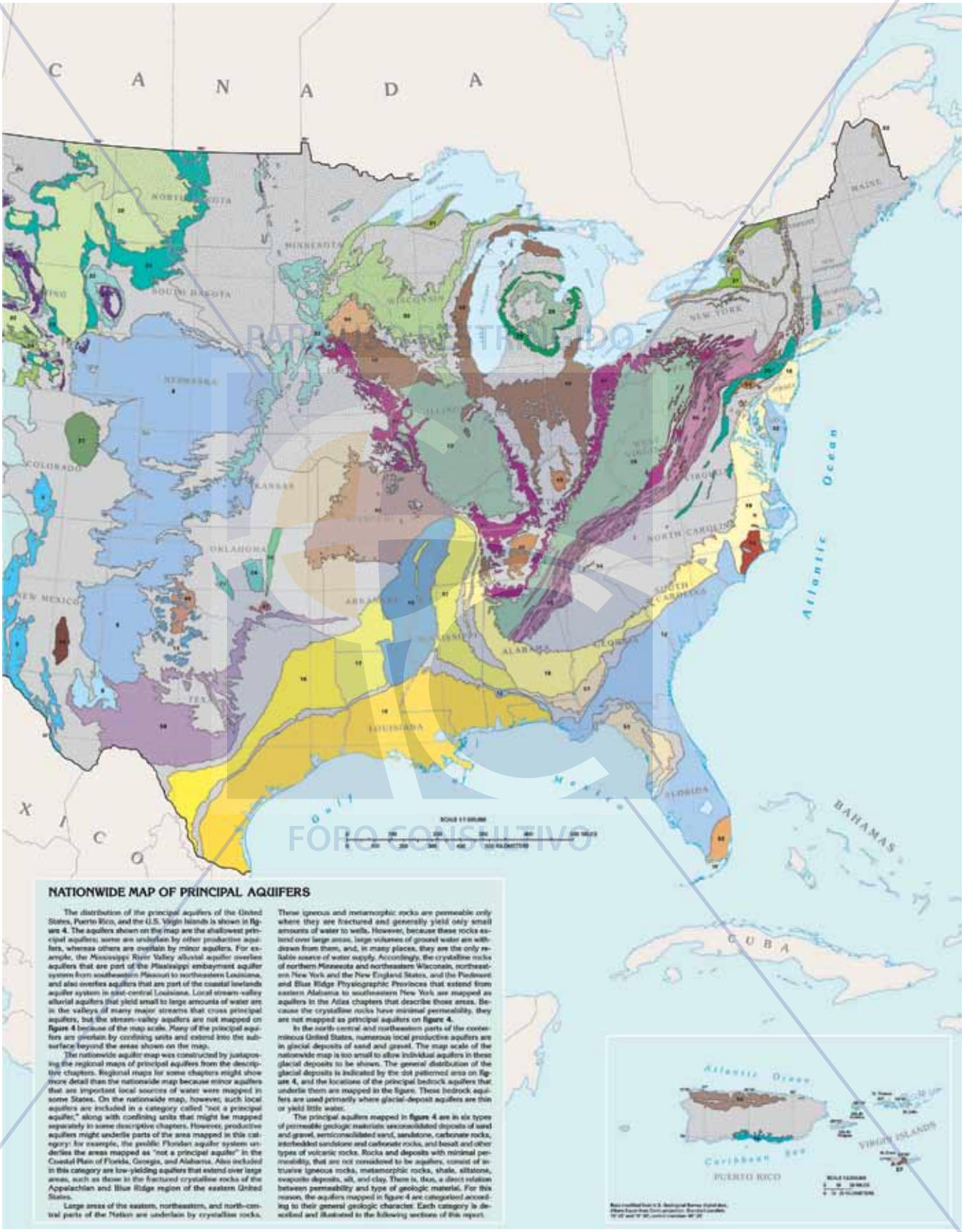
La salud del agua subterránea nacional es motivo de cierta preocupación. La sobreexplotación de agua subterránea amenaza la sostenibilidad de la cantidad disponible de agua mientras que la contaminación, especialmente de desechos tóxicos, amenaza su calidad. Como regla general, la cantidad de agua disponible para extracción a largo plazo no puede ser mayor a la tasa anual de recarga. Cuando se extrae más agua de la que se recarga, se dice que el agua subterránea está sobrestimada. La sobreexplotación persistente no se puede sostener indefinida mente porque la sobreexplotación resulta en la disminución del nivel freático, como más agua es extraída que recargada. La sobreexplotación persistente significa que a la larga el nivel freático caerá hasta el punto en que por lo menos algún subgrupo de extractores no podrá extraer de forma económica y las extracciones disminuirán.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 3. Principales acuíferos o cuerpos subterráneos de agua en los Estados Unidos (USGS Ground Water Atlas, 1999)



PARA USO RESTRINGIDO
FOTOCOPIA CULTIVO



NATIONWIDE MAP OF PRINCIPAL AQUIFERS

The distribution of the principal aquifers of the United States, Puerto Rico, and the U.S. Virgin Islands is shown in figure 4. The aquifers shown on the map are the shallowest principal aquifers; some are underlain by other productive aquifers, whereas others are overlain by minor aquifers. For example, the Mississippi River Valley alluvial aquifer overlies aquifers that are part of the Mississippi embayment aquifer system from southeastern Missouri to northeastern Louisiana, and also overlies aquifers that are part of the coastal lowlands aquifer system in east-central Louisiana. Local stream-valley alluvial aquifers that yield small to large amounts of water are in the valleys of many major streams that cross principal aquifers, but the stream-valley aquifers are not mapped on figure 4 because of the map scale. Many of the principal aquifers are overlain by confining units and extend into the subsurface beyond the areas shown on the map.

The nationwide aquifer map was constructed by juxtaposing the regional maps of principal aquifers from the descriptive chapters. Regional maps for some chapters might show more detail than the nationwide map because minor aquifers that are important local sources of water were mapped in some States. On the nationwide map, however, such local aquifers are included in a category called "not a principal aquifer," along with confining units that might be mapped separately in some descriptive chapters. However, productive aquifers might underlie parts of the area mapped in this category: for example, the prolific Floridan aquifer system underlies the areas mapped as "not a principal aquifer" in the Coastal Plain of Florida, Georgia, and Alabama. Also included in this category are low-yielding aquifers that extend over large areas, such as those in the fractured crystalline rocks of the Appalachian and Blue Ridge region of the eastern United States.

Large areas of the eastern, northeastern, and north-central parts of the Nation are underlain by crystalline rocks. These igneous and metamorphic rocks are permeable only where they are fractured and generally yield only small amounts of water to wells. However, because these rocks extend over large areas, large volumes of ground water are withdrawn from them, and, in many places, they are the only reliable source of water supply. Accordingly, the crystalline rocks of northern Minnesota and northeastern Wisconsin, northeastern New York and the New England States, and the Piedmont and Blue Ridge Physiographic Provinces that extend from eastern Alabama to southeastern New York are mapped as aquifers in the Atlas chapters that describe those areas. Because the crystalline rocks have minimal permeability, they are not mapped as principal aquifers on figure 4.

In the north-central and northeastern parts of the conterminous United States, numerous local productive aquifers are in glacial deposits of sand and gravel. The map scale of the nationwide map is too small to allow individual aquifers in these glacial deposits to be shown. The general distribution of the glacial deposits is indicated by the dot patterned area on figure 4, and the locations of the principal bedrock aquifers that underlie them are mapped in the figure. These bedrock aquifers are used primarily where glacial-deposit aquifers are thin or yield little water.

The principal aquifers mapped in figure 4 are in six types of permeable geologic materials: unconsolidated deposits of sand and gravel, semiconsolidated sand, sandstone, carbonate rocks, interbedded sandstone and carbonate rocks, and basalt and other types of volcanic rocks. Rocks and deposits with minimal permeability, that are not considered to be aquifers, consist of intrusive igneous rocks, metamorphic rocks, shale, siltstone, evaporite deposits, silt, and clay. There is, thus, a direct relation between permeability and type of geologic material. For this reason, the aquifers mapped in figure 4 are categorized according to their general geologic character. Each category is described and illustrated in the following sections of this report.

PARA USO DEL TRIBUNAL
FORO CONSULTIVO

La sobreexplotación persistente conduce a un número de problemas. Primero, en la mayoría de las áreas el agua superficial y el agua subterránea están vinculadas. Donde esto ocurre, la reducción de los niveles freáticos tenderán a acelerar la tasa de recarga a expensa de los flujos de agua superficial. Segundo, el hundimiento de tierra, o asentamiento de la superficie del suelo, es frecuentemente el resultado de una sobreexplotación persistente de agua subterránea. Galloway, Jones e Ingebritsen (1999) reportan que más del 80% de los hundimientos de tierra en los Estados Unidos son atribuibles a la sobreexplotación de aguas subterráneas. Tercero, la sobreexplotación puede conducir a significativas disminuciones en la calidad del agua subterránea. Esto sucede más comúnmente cuando se sobreexplotan los acuíferos costeros y resulta en la intrusión de agua salada. La disminución de calidad también puede ser manifestada en acuíferos tierra adentro cuando se extrae el agua de buena calidad de las capas superiores, por lo tanto permitiendo que agua de mala calidad, con frecuencia salina, sea arrastrada hacia arriba.

La sobreexplotación ocurre, en cierta medida, en todas las regiones de los Estados Unidos. A lo largo de la Planicie Costera del Atlántico ha tenido un impacto importante en los flujos de aguas superficiales. En el Oeste Central de la Florida y a lo largo del litoral del Golfo, la intrusión de agua salada ha sido significativa. Las Altas Planicies se encuentran sobre el famoso Acuífero Ogallala que almacena enormes volúmenes de agua pero que se recargan muy lentamente y en algunos lugares no se recargan. En la Altas Planicies sureñas, la disminución ha tenido un impacto económico importante en la agricultura de la región que históricamente ha sido sostenida con agua subterránea. El interior del Noroeste Pacífico ha sido también sujeto a sustancial disminución de agua subterránea. Nuevamente, el bombeo excesivo de parte de los agricultores ha sido la causa. Finalmente, se ha presentado sustancial sobreextracción en el desierto del suroeste y en los acuíferos rurales de California. En todos estas instancias, esfuerzos para atenuar la sobreexplotación han sido sólo parcialmente exitosos. Consecuentemente, el problema de la sobreexplotación persistente sigue amenazando la sustentabilidad de los acuíferos en muchas regiones (Alley, Reilly y Franks, 1999; U.S. Geological Survey, 2003).

Otra gran amenaza a la sustentabilidad de los recursos hídricos subterráneos en los Estados Unidos es la contaminación de aguas subterráneas. Además de la intrusión de agua salada causada principalmente por sobreextracción, el agua subterránea puede ser contaminada a través de interacciones entre la superficie terrenal y acuíferos o interacciones entre aguas superficiales y aguas subterráneas. Las interacciones entre agua superficial y agua subterránea están dominadas por descargas no puntuales. En áreas irrigadas, las aguas infiltradas, a veces atribuidas al riego excesivo, pueden llevar pesticidas, herbicidas y otros residuos químicos hacia el agua subterránea. Similarmente, las actividades ganaderas pueden causar la contaminación de los acuíferos con excesivo nitrógeno y otros contaminantes. Desechos tóxicos que han sido tradicionalmente desechados bajo tierra o en vertederos de diversos tipos representan un problema particular. En muchas áreas, la regulación de los cabezales de pozos ha ayudado a disminuir la contaminación, pero hasta la fecha los contaminantes de fuentes no puntuales siguen siendo muy difíciles de controlar.

Las interacciones entre aguas superficiales y subterráneas también pueden dañar la calidad del agua subterránea al acarrear contaminantes del agua superficial al agua subterránea. La contaminación microbiana puede darse frecuentemente de esta manera si las aguas superficiales están muy contaminadas de inicio. Los contaminantes puntuales de aguas superficiales han sido razonablemente y efectivamente regulados tanto por los gobiernos nacionales como por los estatales, pero los contaminantes superficiales de fuentes no puntuales siguen siendo un problema. Existen dos principios importantes que dictan la regulación de la contaminación de aguas subterráneas: primero, casi siempre es más barato prevenir la contaminación de aguas subterráneas en primer lugar que tener que limpiarlas después del hecho. Segundo, el agua subterránea tiende a moverse con mayor lentitud que el agua superficial y frecuentemente no está en contacto con la luz. El resultado es que los mecanismos de auto-limpieza del agua subterránea, incluyendo la dilución, son menos efectivos que los del agua superficial. (Alley, Reilly y Franks, 1999).

3. Usos del agua

El uso del agua en los Estados Unidos generalmente se cuantifica en términos de la extracción combinada tanto de agua superficial como subterránea. La extracción total diaria es en promedio de unos 1.5×10^{12} litros. Como se puede ver a continuación en la Figura 4a, el 80% proviene de aguas superficiales y el 20% de aguas subterráneas. La Figura 4b resume que el 84.8% proviene de fuentes de agua dulce mientras que el 15.2% viene de agua salada (agua salina se usa para enfriamiento y para algunas apli-

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

caciones industriales). Finalmente, la Figura 4c muestra que aproximadamente el 77.4% del agua dulce proviene de fuentes superficiales mientras que el 22.6% restante proviene de aguas subterráneas.

Las prácticas contables de los usos del agua como extra ciones crean algo de confusión porque fallan en distinguir entre el agua usada en el consumo y el agua que es retornada a la corriente y que puede ser utilizada de nuevo. Sin embargo, es la principal forma en la que los datos están disponibles. En términos de extracción, los dos principales usuarios de agua son el riego, que cuenta por el 31% de la extracción, y la producción de energía termoeléctrica, que cuenta por el 49%. Existen dos diferencias importantes entre estos usos. Primero, una proporción muy alta de la extracción para riego se consume por la misma cosecha y los flujos de retorno tanto hacia las aguas subterráneas como los superficiales, si es que los hay, tienden a ser bastante modestos. En contraste, el agua para termoelectricidad se usa con fines de enfriamiento y una porción muy pequeña es consumida. La mayor cantidad es retornada al río. Una segunda diferencia importante es que toda el agua extraída para riego es dulce mientras que parte del agua usada para generar termoelectricidad es agua salada. También se debe señalar que la gran mayoría de los usos termoeléctricos ocurren en la mitad oriental del país (la energía hidroeléctrica predomina en el oeste), mientras que el mayor uso de agua para el riego ocurre en el oeste donde la agricultura de riego es predominante. Otros usos se muestran junto con la termoelectricidad y el riego en la Figura 5.

El año más reciente para el cual hay datos disponibles (1995) indican que el uso consuntivo total fue igual a 25% del total extraído. Este dato puede ser bastante engañoso, sin embargo, ya que la extracción para enfriamiento termoeléctrico cuenta por casi la mitad del total de la extracción, aunque sólo el 1.95% de estas extracciones son de uso consuntivo. El uso consuntivo por la agricultura de riego, en contraste, es algo mayor al 60% del agua extraída con fines agrícolas.

En términos geográficos, los cuatro estados con la mayor utilización de agua son California, Texas, Idaho y Florida. Juntos cuentan por aproximadamente una cuarta parte del total de extracción de agua en los Estados Unidos. California encabeza todos los estados con la mayor extracción de cualquier estado. Las extracciones californianas cuentan por el 11% del total nacional y más de tres cuartas partes de estas extracciones fueron destinadas al riego. Texas está en el segundo lugar con cerca del 7% del total nacional. En Texas, el agua es usada principalmente para el riego y la

Figura 4a. Total fuentes de agua dulce y salada

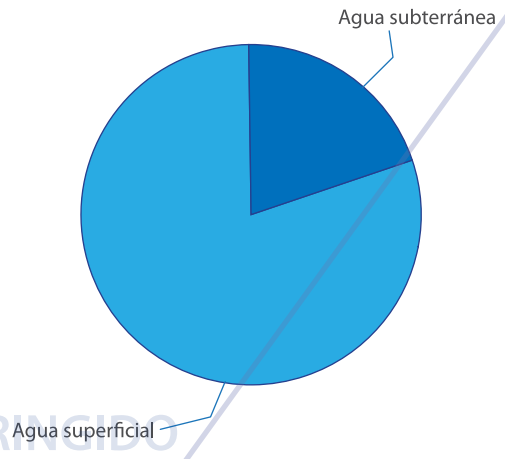


Figura 4b. La extracción de agua proviene 84.8% de agua dulce y 15.2% de agua salada

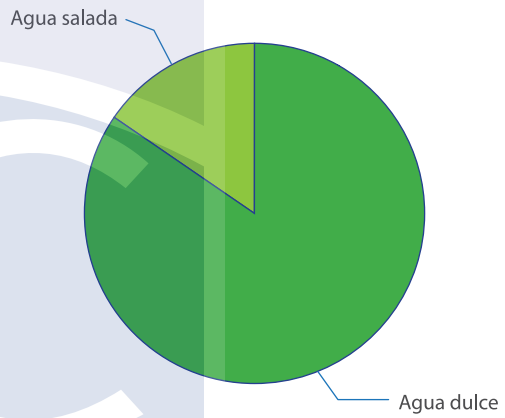
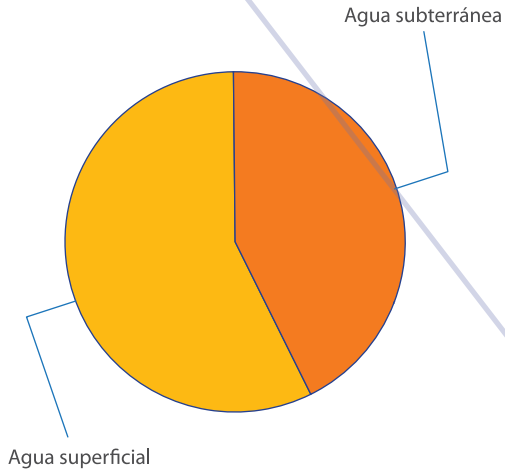
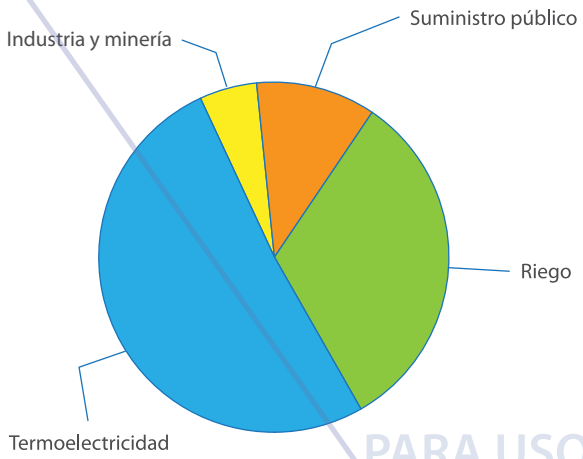


Figura 4c. Agua dulce según la fuente



PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 5. Usos del agua por sector



producción de energía termoeléctrica. Alrededor de 33% de toda el agua dulce que se extrae se dedica al riego con el 40% destinado a la energía termoeléctrica. Además, un poco más del 60% del total de agua salada extraída fueron para energía termoeléctrica. Idaho quedó en tercer lugar y 85% de sus extracciones fueron a la agricultura de riego con otro 13% para la acuacultura. Las extracciones de Idaho fueron todas de agua dulce y corresponden por casi el 5% del total nacional. Las extracciones de agua dulce de la Florida fueron destinadas principalmente al riego y al suministro público, pero el total de la extracción de agua dulce es significativamente menor a las extracciones de agua salada que fueron usadas casi exclusivamente para enfriar plantas de energía eléctrica (Kenny, Barber, Hutson, Linsey, Lovelace y Maupin, 2009).

Los patrones de extracción y uso de agua en estos cuatro estados que corresponden a un cuarto de la extracción nacional, en general, reflejan los patrones encontrados a lo largo del país. El agua para riego domina en los estados del oeste como lo ilustran California y Idaho, así como parcialmente Texas. Los estados del oeste tienden a no usar grandes cantidades de agua para el enfriamiento porque dependen de la generación hidroeléctrica y, en consecuencia, tienen pequeñas demandas de agua para enfriamiento en plantas termoeléctricas. Por lo tanto, los estados del oeste tienden a usar cantidades muy pequeñas de agua salada. Sólo una cuarta parte de la extracción de agua en California es de agua salada, y Idaho no tiene ninguna. Texas tiene una demanda significativa de agua para enfriamiento ya que su uso individual es más grande. Sin embargo, la mayoría de esta demanda para enfriamiento se satisface con agua dulce. La Florida, en general, representa a los estados del sureste y medio-oeste. El 65% de su extracción es para al enfriamiento de plantas termoeléctricas y solamente el 16% se usa para riego, que es suplementario a la precipitación estacional normal. Los patrones de consumo, en la mayoría de los estados, entonces tienden a estar determinados en parte por las fuentes de agua disponibles y también por la alta productividad de la agricultura de riego en el oeste y la relativa ausencia de buenos sitios para la generación de hidroelectricidad en el este.

4. Investigación en recursos hídricos en los Estados Unidos

PARA USO RESTRINGIDO

Como regla general, en los Estados Unidos el gobierno nacional es el responsable de la gobernanza y regulación de los flujos de corrientes y sus usos no consuntivos, mientras que los estados típicamente gobiernan y regulan su uso consuntivo. Por eso, la mayoría de los derechos para desviar aguas y usarlas de manera consuntiva son otorgados y regulados por los estados. El gobierno federal no sólo regula los usos no consuntivos como la navegación, usos ambientales y control de inundaciones, sino también es responsable de aquellos aspectos de la gestión de recursos hídricos que tienen beneficios amplios y que son difíciles de negar a los "consumidores" si éstos no están dispuestos a pagar por ellos. Estos llamados "bienes públicos" incluyen el control de inundaciones de corrientes principales, la biodiversidad acuática y la investigación de los recursos hídricos.

FORO CONSULTIVO

Las investigaciones sobre el agua comenzaron en el siglo XIX, aproximadamente al mismo tiempo que se descubrieron las bacterias. Mucha de la investigación inicial del agua en las primeras décadas del siglo XX se concentró en problemas de salud pública. Había alguna incipiente investigación sobre contaminación, y comenzando a mediados de los años 30, algunos trabajos sobre el control de inundaciones a medida que la legislación federal creó nuevas obligaciones federales para el control de inundaciones. La ciencia en general tuvo mucha mayor importancia durante e inmediatamente después de la Segunda Guerra Mundial, y la ciencia del agua recibió un gran impulso de parte del Comité Especial del Senado sobre Recursos Hídricos que recomendó un rol mucho más preponderante del gobierno federal en la conducción de investigaciones del agua. Poco después, gracias a la legislación aprobada y con el financiamiento correspondiente, el establecimiento federal de investigación hídrica comenzó a crecer (National Research Council, 2004).

A pesar de que las décadas de los 60 y 70 fueron tiempos de crecimiento en la investigación de recursos hídricos, el apoyo federal a esta investigación comenzó a estancarse en los años 80 y 90, y se ha mantenido estática hasta la primera década del siglo XXI. Una revisión de la empresa federal de investigación hídrica realizada poco después del cambio de siglo reveló que estaba acosada con un número de problemas a pesar de que el valor total de los recursos disponibles, ajustados a la inflación, se han mantenido bastante estables. La evidencia demuestra que el gasto federal total en investigación de recursos hídricos fue alrededor de US$ 700 millones (en dólares con valor del año 2000) en los años 70 y seguía en ese nivel durante los primeros años del siglo XXI. A pesar de la controversia que existe en cuanto a si esta cantidad es adecuada, el gasto en investigación hídrica ha permanecido bastante estático cuando se compara con el crecimiento poblacional, el producto interno bruto y la erogación federal total. Sin embargo, y quizás más relevante, es que existen otros síntomas que sugieren que la empresa federal de investigación no se encuentra particularmente en buena forma para enfrentar los retos que se avecinan. (Algunos de estos retos de describen en la siguiente sección.)

Muchos actores, poca coordinación. La investigación en recursos hídricos se conduce en no menos de 10 organismos federales. Ésta es fragmentada, carece de coherencia estratégica y es susceptible a innecesaria duplicación. Cinco de las agencias federales listadas en el Cuadro 1, cuentan con casi 88% del financiamiento total, aunque ninguna agencia aporta más del 25% del financiamiento.

El problema aquí no es con el alineamiento de las agencias dentro de las dos categorías, sino con el hecho que hay muchas agencias llevando a cabo independientemente programas de investigación hídrica y apoyando dichas investigaciones en las universidades del país. No existe un mecanismo para fijar las prioridades nacionales en la investigación hídrica. No existe un proceso a través del cual el desempeño global del gobierno federal en el campo de la investigación hídrica pueda ser evaluado periódicamente y revisado para asegurar que la nación esté obteniendo lo más posible de cada dólar de investigación hídrica (National Research Council, 2004).

El patrón de temas de investigación en el portafolio federal no refleja las prioridades modernas. El énfasis y el apoyo económico proporcionado a los diversos temas de investigación no reflejan las prioridades temáticas actuales. Específicamente, la investigación de leyes hídricas, demanda de agua y otros temas institucionalmente relevantes se financian actualmente a niveles significativamente menores a los que eran financiados hace 30 años. Además, el aumento del suministro de agua y la conservación están en la misma situación. Está claro que nuevas inversiones sustanciales deben ser realizadas en estas categorías si se han de afrontar con éxito los retos del futuro. Si la nación ha de estar preparada para los problemas que enfrentará en una o dos décadas, el portafolio necesitará dedicar una sustancial porción de su financiamiento a la investigación enfocada a retos de largo plazo (National Research Council, 2004).

Cuadro 1. Organismos federales con un papel importante en el apoyo a la investigación hídrica

Organismo	Porcentaje presupuesto federal investigación hídrica en 2000
U.S. Department of Agriculture (USDA)	17%
U.S. Geological Survey (USGS)	18%
National Science Foundation (NSF)	22%
U.S. Department of Defense (DOD)	15%
U.S. Environmental Protection Agency	15%

Fuente: NRC, 2004

Cuadro 2. Agencias federales con un papel menor en el apoyo al agua

Organismo	Porcentaje del presupuesto federal investigación hídrica en 2000
U.S. Department of Health & Human Services (DHSS)	1%
U.S. Bureau of Reclamation (USBR)	2%
National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA)	4%
U.S. Department of Energy (DOE)	4%
National Aeronautics & Space Administration (NASA)	2%

Fuente: NRC, 2004

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Lo que se necesita es un planteamiento coordinado y estratégico para el esfuerzo de investigación que fije objetivos estratégicos; priorice la investigación necesaria para que coadyuve estos objetivos estratégicos asegurando un balance temático apropiado para los problemas modernos y los que puedan ser previsibles en el futuro; asigne los limitados recursos para investigación a las áreas prioritarias de investigación, y obtenga los resultados que secan. Hacer menos implica que los Estados Unidos y aquéllos que dependen de estas iniciativas de investigación no estarán bien equipados para enfrentar los retos del futuro como deberían estar.

5. Los principales asuntos hídricos que enfrentan los Estados Unidos

Los Estados Unidos se enfrentan a numerosos asuntos y retos hídricos. Algunos de éstos son de un lugar específico de naturaleza regional. Otros se manifestarán casi en toda la nación y presentan desafíos urgentes que se tendrán que atender de forma continua. Es posible que existan varias docenas de estos asuntos y la discusión de la relativa urgencia de cada uno va más allá del alcance de la presente contribución. Por el contrario, seis asuntos convincentes se han elegido para su discusión más profunda y éstos proporcionan tanto una idea de la diversidad de los asuntos hídricos que enfrentan los Estados Unidos como también la urgencia de abordarlos.

El manejo de la escasez de agua

La escasez de agua es dominante en los Estados Unidos y nuevos métodos y procesos deben ser encontrados para asistir en su manejo. Las ciudades áridas y semiáridas del suroeste de los Estados Unidos son las ciudades de mayor crecimiento de la nación. Éstas incluyen a Denver, Phoenix Albuquerque, Las Vegas y Los Ángeles. Todas requerirán suministros adicionales de agua para apoyar el crecimiento poblacional anticipado y aún no está claro de dónde provendrá esa agua.

Los regímenes de flujo actual del río Missouri pone en peligro a tres especies que han sido declaradas amenazadas. Las recomendaciones realizadas para mejorar los hábitats de estas especies requerirían mayor flujo de los ríos durante la primavera y reducciones en el verano. Las reducciones veraniegas podrían tener un impacto negativo en la navegación del río y haría más difícil y más costoso el transportar la sustancial cosecha agrícola en la cuenca. La situación ha resultado en el estancamiento porque no es posible mejorar el hábitat de las tres especies afectadas y a la vez proteger la navegación histórica del río Missouri(National Research Council, 2002).

La situación en la Cuenca Klamath al sur del estado de Oregon y al norte de California es bastante similar. Ahí se cortó el agua para riego para que los niveles de los ríos y lagos se pudieran manipular para beneficiar varias especies amenazadas. El conflicto surgió cuando agricultores de riego y científicos argumentaron que la ciencia detrás de la decisión de recortar la corriente para riego estaba viciada. Un estancamiento surgió aquí también porque había insuficiente agua para servir tanto la necesidad ambientalista como los contratos de riego (National Research Council, 2003).

Las manifestaciones de escasez no se encuentran confinadas a las regiones del oeste del país. Glennon (2002) documenta ejemplos a lo largo de toda la nación en los que la extracción excesiva de agua ha causado que ríos y arroyos se sequen y también una cascada de conflictos sociales, penurias económicas y degradación ambiental. En muchos casos, el problema es empeorado porque los sistemas legales existentes no reconocen que el agua superficial y la subterránea están interconectadas. Las aguas del río Potomac fueron el foco de una disputa entre los estados de Maryland y Virginia en los primeros años del siglo XXI. Al final esta disputa tuvo que ser resuelta por la Suprema Corte de los Estados Unidos. Y existe otro conflicto entre los estados de Georgia, Alabama y Florida que se enfoca en los esfuerzos de Atlanta, Georgia, de asegurarse cantidades suficientes de agua para sostener el crecimiento poblacional proyectado. Las manifestaciones de escasez ya no se limitan a las regiones secas del oeste sino que ahora son parte del panorama de gestión hídrica nacional. Nuevos métodos tienen que ser encontrados para resolver los conflictos que surgen y para asegurar que la nación obtenga el rendimiento óptimo de un suministro de agua cada vez más limitado.

La protección de la oferta de agua potable de la nación

A lo largo de los últimos 100 años, los Estados Unidos ha realizado grandes inversiones en su sistema de tratamiento y distribución de agua. El resultado ha sido que su abastecimiento de agua en conjunto ha estado dentro de los más seguros, confiables y saludables del mundo. Sin embargo, existen dos amenazas claras que tendrán que ser resueltas en el futuro. La primera está enfocada en la lista de contaminantes nuevos y potenciales que amenazan las fuentes crudas de agua de manera continua. La segunda se enfoca

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

en el envejecimiento de la infraestructura de agua y saneamiento que tendrá que ser reconstruida en gran parte en el siglo venidero.

A medida que el desarrollo económico continúa, la aparición de nuevas sustancias químicas y sus residuos probablemente se acelere. Tales químicos se desarrollan para fines específicos y frecuentemente proporcionan grandes beneficios a la sociedad. Sin embargo, al momento de ser introducidos, su comportamiento y destino en el medio ambiente se desconocen.

Existe una propensión clara a que las fuentes de agua cruda sean contaminadas no sólo con sustancias químicas nuevas, sino con químicos que han sido muy utilizados en el pasado y que quizás no fueron desechados adecuadamente. Así, por ejemplo, químicos, como residuos de pesticidas y herbicidas, han aparecido en el agua subterránea algunas décadas después de que comenzó su uso. En los últimos años, una sustancia utilizada en la manufactura de municiones, combustibles para cohetes y pirotecnia ha aparecido en el agua subterránea de California. Dicha sustancia se sospecha que es un carcinógeno humano y se sabe que interfiere con la producción de la hormona tiroidea humana. Éstos no son ejemplos aislados. Químicos de todo tipo —nuevos y viejos— han aparecido y seguirán apareciendo en el agua subterránea y superficial de la nación. Los métodos para detectar dichos químicos en el medio ambiente de forma temprana y desarrollar tecnología para tratar y retirarlas de las fuentes de agua potable serán muy necesarios. Idealmente, sería deseable continuar el desarrollo de protocolos de detección que permitan una evaluación temprana del probable comportamiento de estos químicos en el ambiente y caracterizar la posibilidad de contaminación.

La segunda amenaza a la integridad del suministro de agua potable nacional es el envejecimiento de la infraestructura. En las próximas décadas habrá fallas en los sistemas urbanos de distribución, algunos de los cuales tienen bastante más de 100 años de edad. Plantas de tratamiento de agua se tendrán que reemplazar, y tendrán que ser diseñadas de manera que permitan la adaptación a nuevos retos de mantenimiento de calidad del agua. Ni siquiera está claro si simplemente reemplazar los sistemas existentes tiene sentido. La necesidad de reemplazar los sistemas de distribución que están debajo de millas de áreas urbanas pavimentadas apunta a la importancia de considerar sistemas más descentralizados que den servicio a comunidades bien definidas o incluso hogares individuales. También existe el asunto verdaderamente apremiante de cómo se financiará el reemplazo de dichos sistemas. Los cálculos iniciales de los costos totales son enormes.

¿Se puede lograr una política hídrica efectiva?

Existe gran cantidad de evidencia de que las políticas hídricas federales son inefectivas o parcialmente efectivas. Así, por ejemplo, muchas hectáreas de humedales se han perdido al desarrollo a lo largo de los años a pesar de que son enormemente productivos desde el punto de vista biológico y proporcionan todo tipo de servicios ambientales. En 1990, el gobierno federal promulgó una política que estipulaba que no habría pérdida neta de humedales. Requería la mitigación en aquellos lugares donde éstos fueran destruidos o modificados. La evidencia muestra que a pesar del requisito de restituir más de una hectárea de humedales por cada hectárea destruida, sólo el 70% de la superficie requerida fue realmente restaurada o creada (National Research Council, 2001). Además, muchos de los esfuerzos de mitigación no fueron monitoreados y hubo cumplimiento completo en sólo cerca de la mitad de los permisos otorgados. Esto se atribuye en parte a la falta de información científica adecuada en la cual basar los esfuerzos de mitigación. Específicamente, la ecología de la restauración actualmente no se comprende lo suficiente como para permitir que continúen dichos esfuerzos.

Existe un número de áreas en las que se dificulta la elaboración de políticas por la falta de información científica adecuada. Éstas incluyen: a) El tratamiento de las fuentes de agua potable. Las políticas necesarias para regularizar de agua potable requerirán conocimientos científicos adicionales sobre el destino y transporte de nuevas sustancias químicas en el medio ambiente, así como información sobre la efectividad de tecnologías nuevas y existentes de tratamiento para retirar contaminantes dañinos y potencialmente dañinos. b) El uso del agua en la agricultura. La agricultura es el mayor consumidor de agua y es vista por muchas personas como proveedor de último recurso para apoyar nuevos usos con alto valor. Sin embargo, la demanda de productos agrícolas seguirá creciendo conforme crezca la población mundial. Además, la gestión del agua para la agricultura contribuye a la contaminación del agua subterránea y superficial, así como a la erosión de algunos suelos. Ha sido muy difícil regular efectivamente estas fuentes no puntuales de contaminación. c) El mantenimiento y conservación de los hábitats acuáticos. Existe conocimiento insuficiente sobre la cantidad de agua necesaria para sostener hábitats acuáticos. Tampoco hay suficiente conocimiento sobre la relación entre hábitats acuáticos y terrestres. Sin un conocimiento más profundo en estas áreas, será difícil idear políticas capaces de prote-

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

ger y mejorar los flujos ambientales, atractivos y servicios. d) El manejo de inundaciones y sequías requerirá información científica adicional para su efectiva administración. Esto es particularmente cierto debido al espectro del cambio climático global que probablemente llevará una frecuencia más alta de eventos extremos.

Adaptación de los sistemas de gestión hídrica al cambio climático global

El espectro del cambio climático promete no sólo cambios en la frecuencia de eventos extremos como son inundaciones y sequías, sino también cambios fundamentales en la disponibilidad del agua como precipitación y las tasas naturales de demanda (como la evapotranspiración) que responden a circunstancias climáticas alteradas. A pesar de que sustanciales recursos han sido gastados para la investigación básica del cambio climático, ha habido poco financiamiento y escaso esfuerzo para el desarrollo de mejores métodos de gestión hídrica en un ambiente más incierto y menos estable. La gestión de recursos hídricos ha sido identificada como uno de los elementos más débiles de las evaluaciones integrales del cambio climático (National Assessment Synthesis Team, 2001).

Como mínimo, el cambio climático requerirá que se ponga mayor atención a la incertidumbre sobre la disponibilidad del suministro de agua a lo largo del tiempo y espacio. El desarrollo e implementación de estrategias de manejo de riesgo será crítico para sobrellevar la gran cantidad de cambios, tanto predecibles como no predecibles, que podría traer el cambio climático. Los sistemas urbanos de suministro de agua potable podrían ser vulnerables, así como los sistemas agrícolas existentes. Será necesario desarrollar técnicas y tecnologías para la gestión hídrica que permitan una gestión del agua mucho más adaptable de lo que ha sido en el pasado. Así, por ejemplo, la inversión en capacidad nueva para almacenamiento a gran escala de agua superficial tiene poco sentido cuando no queda claro cuánta agua adicional, si es que existe, podría estar disponible para su almacenamiento. Una estrategia más adaptable sería depender del espacio subterráneo poroso vacío como medio de almacenamiento. Esta última estrategia tiene la ventaja de ser mucho más barata, ya que se evitarían las pérdidas por evaporación asociadas con instalaciones superficiales de almacenamiento de agua. Además, el almacenamiento subterráneo se puede utilizar con tiempos de espera relativamente cortos y, por lo tanto, sería una estrategia mejor adaptada al manejo de disponibilidades y demandas inciertas de agua.

La gestión de sistemas hídricos regionales

A lo largo de los Estados Unidos existen numerosos ejemplos de sistemas hídricos de gran escala que han sufrido grandes modificaciones de parte del hombre y que ahora están bajo enormes presiones para satisfacer la necesidad de una demanda creciente de agua mientras protegen los ecosistemas acuáticos que proveen esas demandas. Existen dos ejemplos importantes: el río Sacramento-San Joaquín/delta de la bahía de San Francisco en California, y el ecosistema de los Grandes Everglades en el sur de Florida. Se analiza cada uno a continuación.

El delta Sacramento-San Joaquín de la bahía de San Francisco es uno de los sistemas de delta más modificados por el hombre en el mundo. Históricamente, la mayor parte era un humedal que se drenó y canalizó para permitir que se practicara agricultura en unas 60 islas que fueron redescubiertas. Posteriormente, el delta se utilizó como un medio para transportar agua extraída del norte y bombeada hacia el sur con fines agrícolas y para satisfacer la demanda urbana. A pesar de que el delta ha sido sometido a grandes modificaciones, aún sirve como hábitat biológico altamente diverso, parte del cual no es nativo del lugar. Además, un número de especies que se encuentran en el delta han sido clasificadas como raras y amenazadas. Las agencias encargadas de administrar esas aguas deben encontrar la forma de proteger y mejorar esas especies mientras que proporcionan agua hacia el sur a los contratistas (National Research Council, 2010; Lund *et al*, 2010).

En esencia, el problema con el manejo del agua del delta es el administrar la escasez. No existe evidencia que sugiera que el medio ambiente del delta puede ser razonablemente protegido mientras que la confiablidad de las exportaciones de agua hacia el sur pueda ser incrementada. Sin embargo, el ecosistema es tan complejo y las interacciones entre la demanda y el flujo de agua en el ecosistema tan pobremente comprendidas, que no queda claro cuáles estrategias tienen alguna posibilidad positiva de funcionar. Claramente, el enfoque debe ser uno de gestión adaptativa. Igualmente, claro, el enfoque debe reconocer que el problema fundamental es la escasez y que los días cuando todos los usos podían adquirir agua adicional sin interferir con los demás se acabaron. La mera complejidad de la situación es el factor primordial, y sigue todavía sin aclararse si los sistemas así de complejos son susceptibles a una gestión efectiva.

El ecosistema de los Grandes Everglades en el centro y sur de la Florida es un sistema de humedal como ningún otro en el mundo. A lo largo de los años, ha habido grandes

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

invasiones en el sistema con el fin de desarrollar tierras agrícolas y suburbanas y para proporcionar control de inundaciones para proteger el desarrollo del centro y sur de Florida. Hace cerca de una década se hizo obvio que sin un esfuerzo extraordinario el ecosistema único de los Everglades sería modificado de tal manera que se perdería. Los planes de restauración están siendo preparados y debatidos (National Research Council, 2008).

La situación además está llena de complejidad e incertidumbre. La rehabilitación de las corrientes de agua que antes fueron modificadas con fines de control de inundaciones está en el centro del esfuerzo de restauración. Parte del problema es que el agua debe ser almacenada y los únicos lugares disponibles son canteras calizas subterráneas. La viabilidad del uso de dichas canteras es cuestionable, pero aun si ese asunto se resolviera favorablemente, quedan por solucionar los asuntos de la restauración biológica. Es poco probable que grandes extensiones de los Everglades puedan restituirse a su condición original, de manera que surgen dudas de cuáles aproximaciones son razonables y posibles para fines de restauración. La complejidad, el mero tamaño y la diversidad del ecosistema implican que se tendrán que encontrar formas para gestionar el riesgo y la incertidumbre a gran escala.

Los costos de las restauraciones adicionales y la modificación de estos dos ecosistemas gigantes son enormes. Hay cierta probabilidad de que aun si se hacen grandes inversiones, las metas de restauración no se podrán lograr. Sencillamente no hay suficiente entendimiento sobre cómo funcionan estos grandes ecosistemas ni comprensión suficiente de todas las complejas interrelaciones. Sin embargo, los problemas de gestión de los ecosistemas del delta Sacramento-San Joaquín y de los Grandes Everglades no son únicos. La resolución de los problemas que surgen en relación con la gestión de estos sistemas hídricos muy grandes y muy complejos probablemente se convierta en la regla y no la excepción en el futuro. Es probable que las soluciones lleguen progresivamente y sean el resultado de esquemas sofisticados de gestión adaptativa que deben diseñarse cuidadosamente y ser rigurosamente investigados por adelantado.

6. Referencias

1. Alley, William M. Thomas E. Reilly and O. Lehn Franks. 1999, Sustainability of Ground Water.
2. Resources. U.S. Geological Survey Circular 1186. p.79.
3. Center for Sustainable Systems, University of Michigan. 2010 . U.S. Water Supply and Distribution Fact Sheet. Publication No. CSS05-17.
4. Galloway, D.L, D.R. Jones and S.E. Ingebritsen, eds. 1999. Land Subsidence in the United States. U.S. Geological Survey Circular 1182. 179 pp.
5. Lennon, Robert. 2002. Water Follies: Groundwater Pumping and the Fate of America's Fresh Waters. (Washington, DC: The Island Press).
6. Kenny, J.F., N.L. Barber, S.S. Hutson, K.S. Linsey, J.K. Lovelace and M.A. Maupin. 2009. Estimated Use of Water in the United States in 2005. U.S. Geological Survey Circular 1344. 52 pp.
7. Lund, Jay R., Ellen Hank, William E. Fleenor, William A. Bennett, Richard E. Howitt, Jeffrey F. Mount , and Peter B. Moyle. 2010. Comparing Futures for the Sacramento-San Joaquin Delta (Berkeley, CA: The University of California Press).
8. National Assessment Synthesis Team. 2001. Climate Change Impacts on the United States: The Potential Consequences of Climate Variability and Change (Washington, DC: U.S. Global Change Research Program).
9. National Research Council. 2001. Compensating for Wetland Losses Under the Clean Water Act. (Washington, DC: The National Academy Press).
10. National Research Council. 2002. The Missouri Ecosystem: Exploring Prospects for Recovery. (Washington, DC: The National Academy Press).
11. National Research Council. 2003. Endangered and Threatened Fishes in the Klamath River Basin: Causes of Decline and Strategies for Recovery (Washington, DC: The National Academy Press).
12. National Research Council. 2004. Confronting the Nation's Water Problems: The Role of Research (Washington, DC: The National Academy Press). p. 310.
13. National Research Council. 2008. Progress Toward Restoring the Everglades: The Second Biennial Review (Washington, DC: The National Academy Press).
14. National Research Council. 2010. Scientific Assessment of Alternatives for Reducing Water Management Effects on Threatened and Endangered Fishes in California's Bay Delta. (Washington, DC: The National Academy Press).
15. U. S. Geological Survey. 1999. Ground Water Atlas of the United States.
16. US. Geological Survey. 2003. Ground Water Depletion Across the Nation. USES Fact Sheet 1034-03. November.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Monumento Natural Semuc Champey, municipio de Lanquín, Guatemala
Fotografía de Jose Barrena Barrena

Estado del agua en Guatemala

Manuel Basterrechea
Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales

USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

1. Introducción

La Academia de Ciencias de Guatemala, interesada en contribuir al conocimiento sobre el estado de los recursos hídricos del país, ha elaborado el presente informe que describe la situación actual de la gestión del agua y los retos a mediano y largo plazo. El informe ha sido elaborado en base al diagnóstico de los recursos hídricos del 2007, preparado por la Secretaría General de Planificación con apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo.

El contenido del informe fue diseñado por el Comité de las Academias de Ciencias de las Américas (IARNAS, por sus siglas en inglés). Uno de los propósitos de IARNAS es elaborar un documento sobre la situación de los recursos hídricos en cada uno de los países de América, coordinado por los miembros nacionales de las Academias de Ciencias y con la participación de actores clave.

La metodología empleada para elaborar el informe consistió: primero, la elaboración del borrador del informe; segundo, discusión del borrador con personas y entidades relacionadas con el tema, en un taller; tercero, incorporación de los comentarios de los participantes del taller al informe; cuarto, envío del informe al Comité Directivo del IARNAS para su revisión y comentarios; quinto, edición final y publicación del informe.

Se agradece el apoyo financiero del Fondo para Actividades Científicas y Tecnológicas (FACYT), que es una línea del FONACYT, orientado al financiamiento de actividades

que fortalezcan el desarrollo científico y tecnológico nacional, a la formación y capacitación del recurso humano en el campo científico y tecnológico, la estimulación de la creatividad y la difusión y la transferencia de tecnología. Adicionalmente, se agradece la participación de los miembros de la Comisión Técnica Intersectorial de Medio Ambiente (CIMA), del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología (SINACYT) y de la Academia de Ciencias de Guatemala.

2. Disponibilidad y distribución espacial y temporal del recurso hídrico

PARA USO RESTRINGIDO

En este epígrafe se detalla el volumen de agua disponible en el país y per cápita, esto último a manera de compararlo con el índice de intensidad de uso del agua o riesgo hídrico. Además, se describen las mayores fuentes superficiales y reservas subterráneas de agua. También se indican los niveles de explotación de dichas fuentes, tanto de sus cuencas como de ciertas áreas sujetas a sobreexplotación.

Debido a su posición geográfica, Guatemala se encuentra en el tránsito de los vientos húmedos que se originan en el Mar Caribe y Océano Pacífico, y por su cercanía con las fuentes de humedad, la precipitación en el país es muy intensa en las laderas de las montañas expuestas al tránsito de tales vientos. En la Figura 1 se muestra la ubicación geográfica de Guatemala. Como consecuencia y de acuerdo a los balances anuales de agua (volúmenes medios anuales), el país cuenta con una cantidad significativa de agua que supera en forma abundante la demanda del recurso. La disponibilidad promedio anual de agua superficial y subterránea se calcula en 97,120 millones m^3.

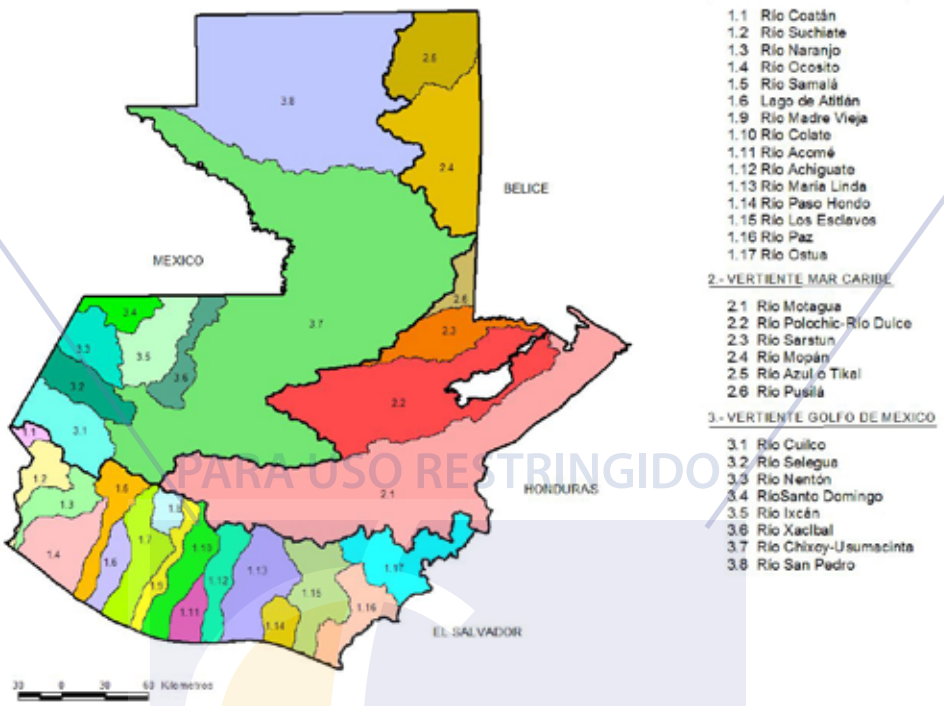
Las fuentes superficiales de agua en el país están distribuidas en las tres regiones hidrográficas (Figura 2) expresadas en 38 cuencas fluviales y 194 cuerpos de agua continentales.[1] Las aguas subterráneas en el país se han dividido en cuatro regiones hidrogeológicas: (a) las llanuras aluviales cuaternarias de la Costa Sur, que se considera son las formaciones con mayor potencial de estas aguas; (b) el altiplano volcánico de rocas terciarias y cuaternarias, con depresiones tectónicas rellenas con depósitos piro clásticos, que forman el altiplano, con un potencial de ocurrencia de dichas aguas a profundidades relativamente grandes; (c) la cadena montañosa de tierras altas cristalinas, de rocas ígneas graníticas y metamórficas, que es la

1 PREPAC (2005): Inventario de cuerpos de agua continentales de Guatemala, con énfasis en la pesca y acuicultura. 878 pp.

Figura 1. Ubicación geográfica de la República de Guatemala

FORO CONSULTIVO

Figura 2. Mapa de cuencas hidrográfica de Guatemala



formación con menor ocurrencia del país, y (d) la región sedimentaria del Norte de rocas calizas del cretácico karstificadas, donde el agua subterránea ocurre en conductos kársticos, y que a pesar de su importancia, su dinámica ha sido poco estudiada.[2] La disponibilidad anual de agua subterránea renovable se estima en 33,699 millones m³, los cuales están contemplados dentro de la disponibilidad total de 97 120 millones m³ (Figura 3).

A pesar de la disponibilidad anual de agua superficial y subterránea, evidencias físicas tales como ríos secos en la costa sur y lagos en proceso de desaparición en el sur-oriente, además del incremento de las demandas de la población por un mejor servicio de agua potable, especialmente en el área metropolitana, y los crecientes conflictos por el uso del agua en varios puntos del país, indican que existen zonas y períodos con importantes déficit, que aún no pueden ser identificados con acierto porque el sistema nacional de información aún no produce la información hidrológica necesaria, consistente en balances mensuales, sino únicamente ha generado balances promedios anuales en 1975 (INDE), 1992 (UNESCO-INSIVUMEH) y 1994 (PLAMAR).

Efectivamente, el hecho que el régimen hidrológico depende exclusivamente de la lluvia y el almacenamiento subterráneo, además de que la lluvia se presenta en promedio durante seis meses, hace que la diferencia entre el flujo de los ríos durante el período de lluvias y el del período seco, sea muy significativa. En los Cuadros 1 y 2 se muestra la disponibilidad de agua (l/hab./día) anual a nivel nacional y por vertiente; así como para el mes más seco.

2 Definidas por Carlos Muñoz Palacios (1992): Plan Maestro de Riego y Drenaje.

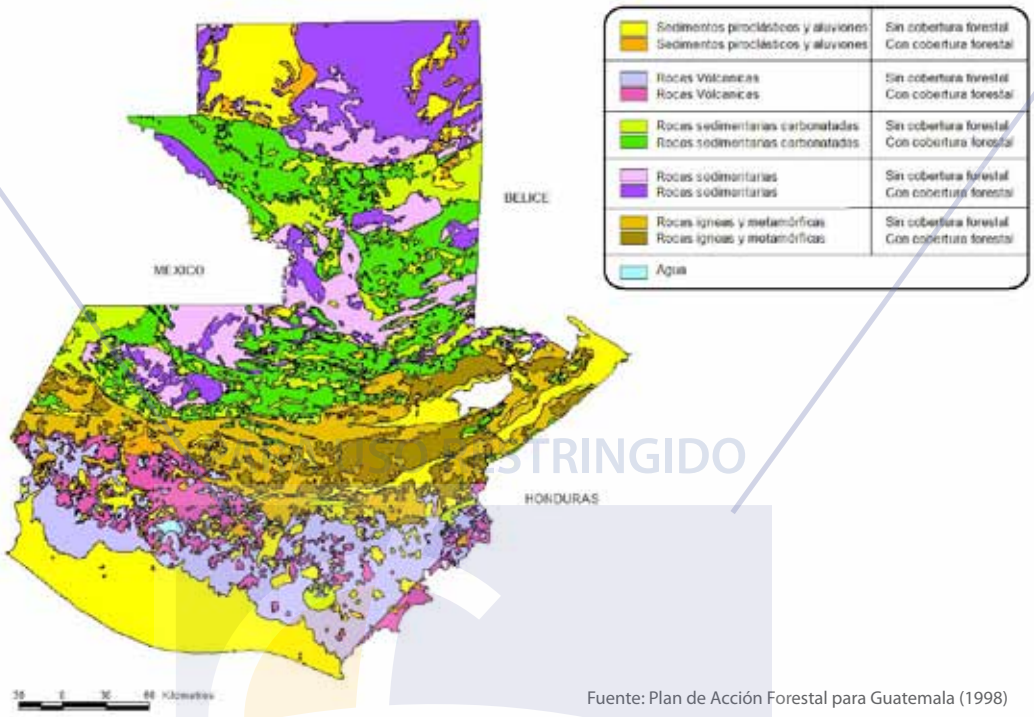
Cuadro 1. Disponibilidad hídrica anual (nacional y por vertiente)

Vertientes	Área (km²)	% área	Q Medio (m³/s)	Q (litros/s/km²)	Población (2002)	% Hab.	Hab. /km²	litros/ habitante/día
Pacífico	23,990	22.0	728.47	31	5,897,817	52.5	245.8	10,897
Caribe	34,259	31.5	1,180.53	34	3,450,840	30.7	100.7	30,030
Golfo de México	50,640	46.5	1,297.63	26	1,888,539	16.8	37.3	60,225
Totales	**108,889**	**100.0**	**3,206.63**	**29**	**11,237,196**	**100.0**	**103.2**	**25,116**

Fuente: SEGEPLAN (2007)

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 3. Zonas de recarga de Guatemala



Fuente: Plan de Acción Forestal para Guatemala (1998)

Los rendimientos anual y en el mes de estiaje en cada una de las vertientes son proporcionales, debido a que en cada una hay zonas húmedas y zonas secas. Sin embargo, la vertiente del Golfo de México, por tener menor densidad poblacional y mayor caudal, tiene más disponibilidad por habitante. Al comparar la disponibilidad anual por habitante, se tiene que la del Golfo de México es seis veces mayor que la del Pacífico y dos veces mayor que la del Mar Caribe; en el mes más seco, la relación es de cuatro y dos veces, respectivamente. Además, un país con una disponibilidad mayor a 1,000 m³/hab./año (2,740 l/hab./día) se considera que no hay riesgo hídrico, lo cual ocurre en todos los casos.

Por otra parte, la distribución espacial de la lluvia es muy irregular y la disponibilidad natural del agua no coincide exactamente con las demandas. En las regiones localizadas en las partes altas de las cuencas y que reciben menor precipitación, la ocurrencia de agua como flujo superficial es menor y es ahí en donde precisamente se asienta la mayor cantidad de población del país, como es el caso del área metropolitana de Guatemala, 10 de las 22 cabeceras departamentales más pobladas del país y más de 130 de las 335 cabeceras municipales.

3. Balance hídrico del 2005

En el Cuadro 3 se muestra que el país tiene una oferta o disponibilidad bruta de agua de 97,120 millones m³, distribuida de la siguiente forma: 23.7% en la vertiente del Océano Pacífico; 42.1% en la del Golfo de México; y el 34.2% restante, en la del Mar Caribe. Del agua ofertada, es deman-

Cuadro 2. Disponibilidad hídrica en el mes de estiaje (nacional y por vertiente)

Vertientes	Área (km²)	% área	Q Medio (m³/s)	Q (l/s/km²)	Población (2002)	% Hab.	Hab. /km²	l/hab./día
Pacífico	23,990	22.0	291.39	12	5,897,817	52.5	245.8	4,218
Caribe	34,259	31.5	354.16	10	3,450,840	30.7	100.7	8,580
Golfo de México	50,640	46.5	402.27	8	1,888,539	16.8	37.3	18,531
Totales	**108,889**	**100.0**	**1,047.81**	**10**	**11,237,196**	**100.0**	**103.2**	**8,372**

Fuente: SEGEPLAN (2007)

USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 3. Balance hídrico del 2005 (nacional y por vertiente)

Concepto	Oferta y uso de agua anual en Guatemala					Situación para el mes más seco			
	Indicadores	V. Pacífico	V. Golfo de México	V. Mar Caribe	Total país	V. Pacífico	V. Golfo de México	V. Mar Caribe	Total país
	caudal (m^3/seg)	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*
I. Capital hídrico	**3,079.65**	**22,973.03**	**40,922.06**	**33,224.75**	**97,119.84**	**755.28**	**1,042.67**	**846.55**	**2,644.50**
Vertiente del Pacífico	728.47								
Golfo de México	1,297.63								
Mar Caribe	1,053.55								
II. Total demandas consuntiva o no		**5,346.23**	**1,783.46**	**2,466.37**	**9,596.06**	**698.19**	**159.59**	**277.00**	**1,134.78**
III. Total demandas de uso consuntivo		**3,758.73**	**278.83**	**1,105.07**	**5,142.63**	**565.90**	**34.21**	**163.56**	**763.66**
a. Agua potable y saneamiento	*Hogares país*	*485.22*	*132.50*	*216.90*	*834.62*	*40.43*	*11.04*	*18.08*	*69.55*
Hogares con servicio domiciliar	1,458,480	426.96	112.82	191.71	731.48	35.58	9.40	15.98	60.96
Hogares con servicio comunitario	182,537	31.11	5.24	13.02	49.37	2.59	0.44	1.09	4.11
Hogares con otro tipo de servicio (pozo)	337,241	22.44	10.90	7.37	40.71	1.87	0.91	0.61	3.39
Hogares sin servicio (acceso precario)	222,350	4.70	3.54	4.81	13.06	0.39	0.30	0.40	1.09
	2,200,608								
b. Uso agropecuario		*2977.06*	*130.41*	*849.62*	*3957.09*	*500.76*	*21.84*	*142.27*	*664.86*
Riego (312,000 ha en todo el país)		2743.62	123.03	801.53	3668.18	457.27	20.51	133.59	611.36
Ganadería y otros usos agropecuarios (2.0 millones UA)		27.44	1.23	8.02	36.69	2.29	0.10	0.67	3.06
Agroindustrial (lavado de caña y otros)		206.00	6.15	40.08	252.23	41.20	1.23	8.02	50.45
c. Industria y otras actividades de transformación		*291.28*	*13.84*	*37.51*	*342.63*	*24.27*	*1.15*	*3.13*	*28.55*
Industria manufacturera (80 m^3/ US$ 1,000 en VA)		285.28	11.84	35.51	332.63	23.77	0.99	2.96	27.72
Industria de la construcción		6.00	2.00	2.00	10.00	0.50	0.17	0.17	0.83
d. Minería		*0.00*	*0.60*	*0.30*	*0.90*	*0.00*	*0.05*	*0.03*	*0.08*
Minas de Oro - Marlín	822 m^3/día	0.00	0.30	0.00	0.30	0.00	0.03	0.00	0.03
Otros minas y otros productos mineros (estimación)		0.00	0.30	0.30	0.60	0.00	0.03	0.03	0.05
e. Otras actividades económicas		*5.18*	*1.48*	*0.74*	*7.40*	*0.43*	*0.12*	*0.06*	*0.62*
Hoteles y restaurantes (27,038 plazas cama/día, 50%)		3.45	0.99	0.49	4.93	0.29	0.08	0.04	0.41
Comercios y otros		1.73	0.49	0.25	2.47	0.14	0.04	0.02	0.21
IV. Total demanda no consuntiva		**1,587.50**	**1,504.63**	**1,361.30**	**4,453.43**	**132.29**	**125.39**	**113.44**	**371.12**
Energía hidráulica	141.21	1,587.33	1,504.63	1,361.30	4,453.26	132.28	125.39	113.44	371.11
- Vertiente del Pacífico	50.33								
- Golfo de México	47.71								
- Mar Caribe	43.17								
Energía térmica (excepto ingenios cogeneradores)	3910 mill kv/h	0.17	0.00	0.00	0.17	0.01	0.00	0.00	0.01
V. Aguas retorno de riego (infiltración)		**1,097.45**	**49.21**	**320.61**	**1,467.27**	**182.91**	**8.20**	**53.44**	**244.55**
VII. Generación aguas contaminadas		**1,060.93**	**137.63**	**340.90**	**1,539.46**	**129.57**	**13.31**	**40.43**	**183.31**
Origen doméstico		388.17	106.00	173.52	667.69	32.35	8.83	14.46	55.64
Origen agropecuario		493.85	22.15	144.28	660.27	82.31	3.69	24.05	110.05
Origen industrial		174.77	8.30	22.51	205.58	14.56	0.69	1.88	17.13
Origen de otras actividades económicas		4.14	1.18	0.59	5.92	0.35	0.10	0.05	0.49
Saldo (superávit o déficit)		**21,372.68**	**40,830.07**	**32,781.18**	**94,983.94**	**501.86**	**1,029.98**	**776.86**	**2,308.70**

Fuente: SEGEPLAN (2007)

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

dada el 23.3%, 4.4% y 7.4%, respectivamente en cada una de las vertientes, implicando un uso del 9.9% a nivel nacional. Ello demuestra que en el Golfo de México, vertiente que más dispone de agua, es donde hay menor demanda; opuesto a lo que ocurre en la vertiente del Océano Pacífico (menor disponibilidad, mayor demanda).

El primer usuario del agua debiera ser el caudal ecológico (10% del caudal medio anual); sin embargo, actualmente no se aplica en el país, por lo que no fue considerado en el balance.

En el país se utiliza, 9,596 millones m^3 de agua, el 53.6% en usos consuntivos y el restante 46.4% en no consuntivos. De forma más desglosada, podría decirse que de ese total, la hidroelectricidad utiliza un 46.4%; para consumo humano 8.7%; en riego 38.2%. Al tomar en cuenta solamente los usos consuntivos, el agua para consumo humano utiliza el 16.2%, el riego el 76.9% y la industria el 6.7%; los otros usuarios consumen el 0.2% restante.

De toda el agua empleada en el país, se generan 1,540 millones m^3 de aguas residuales; en general, vertidas sin tratamiento a corrientes de agua superficial o cuerpos de agua (sólo el 5% son tratadas), por lo que automáticamente limitan o dificultan usos ulteriores. Adicionalmente, el 40% del agua utilizada en el riego retorna a los ríos al infiltrarse.

Dado el capital hídrico del país y el total de demandas consuntivas, se tiene un superávit original de 87,524 millones m^3; a ello se le suman los volúmenes de uso no consuntivo, los de aguas contaminadas y de retorno, dando un saldo anual de 94,984 millones m^3. Lo cual, por falta de tratamiento de las aguas residuales e incapacidad de las fuentes de diluir por completo la contaminación, se convierten en agua disponible de baja calidad. El balance anterior indica que hay una relación entre saldo y disponibilidad de 0.98.

Según se muestra en el Cuadro 3, en el mes de estiaje del 2005 a nivel nacional se tiene un superávit de 2,309 millones m^3; reduciendo así la relación saldo-capital a 0.87. Haciendo el análisis, como en el caso anterior (balance anual), se tiene que hay una demanda total de 42.9% de la disponible. En la vertiente del Océano Pacífico, como se dijo anteriormente, es donde se concentra la mayor demanda de agua que actualmente hace la sociedad y la economía del país; además, hace uso del 92.4% de la disponible en dicha región, mientras que en la del Golfo de México únicamente un 15.3% y en la del Mar Caribe 32.7%.

Los datos demuestran que del capital hídrico de la vertiente del Pacífico, el 74.9% se utiliza en forma consuntiva, y el sector productor de energía un 17.2%, lo cual implicaría un saldo del 7.9%. Sin embargo, al agregar el agua de uso no consuntivo, aguas contaminadas y de retorno del riego, la disponibilidad de agua de baja calidad aumenta y se obtiene un superávit del 66.4% de la disponible al inicio del mes.

4. Balance hídrico y escenarios al 2025

A lo largo de este apartado se describe la proyección de la demanda de los distintos usos del agua al 2025, así como el balance hídrico. Para cada uno de los usos sectoriales del agua se procedió a realizar una estimación de la demanda al año 2025 de acuerdo a tasas de crecimiento; para ello se proyectaron tres posibles escenarios: optimista, pesimista y tendencial. En el Cuadro 4 se muestran las condiciones que definen cada escenario, mientras que el crecimiento de la demanda para los usos en cada escenario, se expone en el Cuadro 5.

Tomando en cuenta que no se produce la información suficiente para la elaboración de balances mensuales debido a la discontinuidad de las estaciones hidrométricas y meteorológicas en el tiempo y ubicación física, lo cual obliga a

Cuadro 4. Condiciones que definen los distintos escenarios

Condiciones/Escenarios	Optimista	Pesimista	Tendencial
Crecimiento económico (PIB)	> 5.4 %	< 3%	3.6%
Crecimiento del turismo	>8%	< 5%	5%
Incremento de la demanda de AP	>25%	< 15%	15%
Incremento de la demanda de riego	Se duplica	Poco	Se incrementa
Incremento de la tecnificación del riego por aspersión y goteo	Sí	No	No significativa

Fuente: SEGEPLAN (2007)

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 5. Tasas de crecimiento anual de las demandas de agua por usos para cada escenario

Condiciones/Escenarios	Optimista	Pesimista	Tendencial
Agua potable	4.7%	4.3%	4.5%
Riego	4.1%	2.6%	3.2%
Industria	4.8%	2.3%	2.4%
Energía	4.5%	1.7%	2.5%
Aguas contaminadas	1.9%	3.1%	2.6%
Reducción de aguas de retorno por eficiencia en el riego	25.0%	0%	0%

Fuente: SEGEPLAN (2007)

reinstalar y dar continuidad a la operación de las pocas estaciones ("estratégicas") que sí se tienen pero que pertenecen a distintas entidades, es recomendable unificar la información en una sola institución como el INSIVUMEH o INDE.

A continuación se hace una descripción de las demandas de agua para el año 2025 del escenario tendencial, y en el Cuadro 6 se muestran los cálculos realizados para determinar el balance hídrico. Para la demanda de uso doméstico se utilizó la información disponible en el Instituto Nacional de Estadística sobre proyecciones de población 2000-2020; siguiendo la tendencia del 2020 se hizo la proyección al año 2025. Para la proyección de los datos de cobertura de servicio, el informe sobre el cumplimiento de las metas del milenio (metas 10 y 11, SEGEPLAN, 2005) se prolongó al año 2025. Se asumieron las mismas dotaciones y datos de eficiencia consignadas en dicho informe para la estimación de la demanda actual (2005).

En el caso del agua para riego se consideró que para los próximos 20 años, siguiendo la tendencia de los últimos 20 años pasados, el país podrá duplicar la superficie bajo riego, mejorando la proporción en sistemas de menor consumo como es el caso de riego por aspersión y por goteo.

Para el caso de la industria se hizo una expansión asumiendo una tasa de crecimiento de esta actividad económica de 2.5% anual, cifra que puede parecer conservadora ante la expectativa que podría generar la vigencia de los nuevos tratados comerciales y de inversiones que ha firmado el país, pero que también toma en cuenta que los nuevos esquemas de inversión en las industrias se harán con tecnologías de mayor ahorro de insumos, entre ellos el agua. Igual tasa de crecimiento anual se estimó para calcular la demanda de agua de las otras ramas de actividad económica; ésta podría quedar corta para el caso de hotelería y turismo si el país logra posicionar y ampliar sus fortalezas y atributos en materia de desarrollo del turismo receptivo.

- **Consumo humano:** para el año 2025 se estima que Guatemala tendrá un total de 19.96 millones habitantes, o sea 7.26 millones más que en 2005, equivalentes a 4.0 millones hogares. En la vertiente del Pacífico habrá 9.4 millones personas, 4.5 millones en la vertiente del Golfo de México y 6.1 millones en el Mar Caribe. La tasa de cobertura de agua entubada se ha estimado en 86.5% a nivel nacional, con un 90% para las áreas urbanas y 84.2% para las áreas rurales. En esas circunstancias se ha estimado que la demanda de agua para uso doméstico será de 2,010 millones m^3, distribuida en 57.7% para la vertiente del Pacífico, 14.8% para la vertiente del Golfo de México y 27.4% para la vertiente del Mar Caribe.
- **Riego:** en el caso de riego, la demanda de agua para el 2025 se ha estimado en 7,410 millones m^3; siempre la mayor demanda se concentrará en la vertiente del Pacífico, que es donde se encuentran los mejores suelos agrícolas del país, aunque dada las potencialidades de riego en el departamento de Petén, muchas nuevas zonas de riego en suelos con algunas limitaciones estarán estableciéndose en ese departamento del país.
- **Industria:** como ya se ha indicado, la proyección del consumo industrial se hizo bajo la hipótesis de una tasa de crecimiento anual de 2.5%; en consecuencia, la demanda de agua para este sector se ha estimado en 555 millones m^3; por el fenómeno de la localización, la mayor parte de esta demanda también será concentrada en la vertiente del Pacífico, aunque se esperaría que varios complejos industriales de alta demanda de agua se muevan del departamento de Guatemala hacia lugares de menores restricciones de este recurso, tal como está sucediendo en la planicie costera del Pacífico, cercana al Puerto Quetzal en Escuintla y en la región de Teculután en Zacapa.
- **Minería:** se ha asumido que la minería tendrá un comportamiento similar al de la industria; en virtud de que en Guatemala se ha gestado oposición pública al desarrollo de esta actividad económica, cualquier in-

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

Cuadro 6. Balance hídrico – tendencia normal (estimación al año 2025, nacional y por vertiente)

Concepto	Oferta y uso de agua anual en Guatemala					Situación para el mes más seco			
	Indicadores	V. Pacífico	V. Golfo de México	V. Mar Caribe	Total país	V. Pacífico	V. Golfo de México	V. Mar Caribe	Total país
	caudal (m^3/seg)	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*
I. Capital hídrico	**3,079.65**	**22,973.03**	**40,922.06**	**33,224.75**	**97,119.84**	**755.28**	**1,042.67**	**846.55**	**2,644.50**
Vertiente del Pacífico	728.47								
Golfo de México	1,297.63								
Mar Caribe	1,053.55								
II. Total demandas consuntiva o no		**10,123.51**	**3,048.95**	**4,623.60**	**17,796.06**	**1,340.15**	**276.00**	**537.63**	**2,154.13**
III. Total demandas de uso consuntivo		**7,522.19**	**583.44**	**2,392.95**	**10,498.58**	**1,123.38**	**70.54**	**351.74**	**1,546.01**
a. Agua potable y saneamiento	*Hogares país*	*1,160.57*	*297.81*	*551.65*	*2,010.03*	*96.71*	*24.82*	*45.97*	*167.50*
Hogares con servicio domiciliar	3,286,387	1,114.59	269.37	517.04	1,901.00	92.88	22.45	43.09	158.42
Hogares con servicio comunitario	212,727	30.73	11.12	17.09	58.94	2.56	0.93	1.42	4.91
Hogares con otro tipo de servicio (pozo)	329,165	11.19	13.33	13.33	37.85	0.93	1.11	1.11	3.15
Hogares sin servicio (acceso precario)	215,811	4.07	3.99	4.19	12.25	0.34	0.33	0.35	1.02
	4,044,091								
b. Uso agropecuario		*5,879.67*	*260.82*	*1,779.41*	*7919.89*	*986.62*	*43.67*	*300.57*	*1,330.87*
Riego (312 000 ha en todo el país)		5,487.25	246.06	1,603.07	7336.37	914.54	41.01	267.18	1,222.73
Ganadería y otros usos agropecuarios (2.0 millones UA)		54.87	2.46	16.03	73.36	4.57	0.21	1.34	6.11
Agroindustrial (lavado de caña y otros)		337.55	12.30	160.31	510.16	67.51	2.46	32.06	102.03
c. Industria y otras actividades de transformación		*473.46*	*21.40*	*60.19*	*555.05*	*39.46*	*1.78*	*5.02*	*46.26*
Industria manufacturera (80 m^3/US$ 1,000 en VA)		467.46	19.40	58.19	545.05	38.96	1.62	4.85	45.42
Industria de la construcción		6.00	2.00	2.00	10.00	0.50	0.17	0.17	0.84
d. Minería		*0.00*	*0.98*	*0.49*	*1.47*	*0.00*	*0.10*	*0.10*	*1.51*
Minas de Oro - Marlín	822 m^3/día	0.00	0.49	0.00	0.49	0.00	0.03	0.03	0.00
Otros minas y otros productos mineros (estimación)		0.00	0.49	0.49	0.98	0.00	0.08	0.08	0.16
e. Otras actividades económicas		*8.49*	*2.43*	*1.22*	*12.13*	*0.59*	*0.17*	*0.08*	*0.84*
Hoteles y restaurantes (27,038 plazas cama/día, 50%)		5.66	1.62	0.81	8.09	0.47	0.13	0.07	0.67
Comercios y otros		2.83	0.81	0.41	4.04	0.12	0.03	0.02	0.17
IV. Total demanda no consuntiva		**2,601.31**	**2,465.51**	**2,230.65**	**7,297.47**	**216.77**	**205.46**	**185.89**	**608.12**
Energía hidráulica	141.21	2,601.02	2,465.51	2,230.65	7,297.18	216.75	205.46	185.89	608.10
- Vertiente del Pacífico	50.33								
- Golfo de México	47.71								
- Mar Caribe	43.17								
Energía térmica (excepto ingenios cogeneradores)	3910 mill kv/h	0.29	0.00	0	0.29	0.01	0.00	0.00	0.01
V. Aguas retorno de riego (infiltración)		**2,194.90**	**98.42**	**641.23**	**2,934.55**	**365.82**	**16.40**	**106.87**	**244.55**
VII. Generación aguas contaminadas		**1,744.49**	**217.56**	**594.87**	**2,556.92**	**219.45**	**21.45**	**71.21**	**312.12**
Origen doméstico		649.92	166.77	308.92	1,125.61	54.16	13.90	25.74	93.80
Origen agropecuario		888.93	39.86	259.70	1,188.49	148.16	6.64	43.28	198.08
Origen industrial		198.85	8.99	25.28	233.12	16.57	0.75	2.11	19.43
Origen de otras actividades económicas		6.79	1.94	0.97	9.70	0.57	0.16	0.08	0.81
Saldo (superávit o déficit)		**19,390.23**	**40,654.60**	**32,067.90**	**92,112.73**	**217.17**	**1,009.98**	**672.89**	**1,655.16**

Fuente: SEGEPLAN (2007)

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

versión en este campo estará supeditada a garantizar el uso de buenas prácticas ambientales y quizá a mejorar las tasas de regalías que actualmente prevalecen. Se ha estimado una demanda anual de 1.5 millones m3.

- **Turismo y otros servicios:** se hace una proyección conservadora para estos sectores al asumir tasas de crecimiento en la demanda de agua similar al comportamiento del sector industrial, lo que implica que para el año 2025 se tendrá una demanda de 12.1 millones m3.
- **Energía:** en el país hay una tendencia a favorecer la inversión en complejos hidroeléctricos, desde la óptica del sector público sin embargo, buena parte de la sociedad civil ha formado frentes populares en contra del establecimiento de este tipo de inversiones. En ese juego de intereses y de grupos de presión emerge la necesidad de cubrir el incremento en la demanda de energía para la sociedad y economía del país, cuya demanda anual se estima que crece en 7% (110 MW). Para el cálculo de la demanda de agua de este sector se ha considerado que para el año 2025 la energía hidráulica cubrirá una tasa acumulada anual de 2.5% del incremento anual de la necesidad de energía para el país. En ese sentido este uso no consuntivo de agua se ha estimado en 7,297 millones m3.
- **Balance:** el balance hídrico proyectado al año 2025, parte de una oferta o capital hídrico, asumiendo que no hay cambios significativos en la distribución espacial del agua en el país. En ese sentido la oferta o disponibilidad bruta de agua es equivalente a 97,119.8 millones m3, distribuidos en 23.7% en la vertiente del Pacífico, 42.2% en la vertiente del Golfo de México y 34.28% en la vertiente del Mar Caribe.

La demanda para todos los usos consuntivos y no consuntivos en el 2025 en el Escenario Tendencial se ha estimado en 17,796 millones m3, de los cuales el uso consuntivo alcanza 10,499 millones m3 y la demanda de uso no consuntivo se estima en 7,298 millones m3. La hidroelectricidad utilizaría el 41.0% del total de los usos estimados del agua en el país, para consumo humano se destinaría el 11.3%, en riego el 44.5%; los restantes usos consumirían el 3.2%. De acuerdo a los datos del consumo consuntivo, el consumo humano utilizará el 19.1%, el riego el 75.5% y la industria el 5.3%; los otros usos consumirían el 0.1% restante. El consumo de los anteriores volúmenes de agua generará un total de 2,557 millones m3 de aguas contaminadas en el país, con las secuelas que esta situación representa y un volumen de aguas de retorno del riego de 2,935 millones m3.

Al relacionar la disponibilidad anual neta de agua en el país de 97,120 millones m3 del país con la suma de demandas consuntivas, indicadas con anterioridad, se reflejaría un superávit de 92,113 millones m3. El caudal ecológico, como el primer usuario natural del agua, se esperaría que para el 2025 sea un 10% del caudal medio para cada vertiente, de manera que al restarse de la oferta bruta o capital hídrico se tendrá una disponibilidad neta de 87,408 millones m3 de agua para los distintos usuarios, y el superávit será de 82,401 millones m3.

En el escenario pesimista (Cuadro 7) el superávit para el 2025 sin considerar el caudal ecológico será de 92,932 millones m3 y para el escenario optimista (Cuadro 8) el superávit será de 90,348 millones m3. En la época de estiaje, la situación será conflictiva para la vertiente del Pacífico para cualquiera de los escenarios, ya que para el año 2025 el mes más seco del año podría encontrarse en la situación siguiente: la oferta o capital hídrico será de 755 millones m3 y si descontamos el caudal ecológico será de 566 millones m3, el uso consuntivo alcanzará 1,056 millones m3, es decir, un déficit de agua de 301 o 490 millones m3 (sin y con caudal ecológico). El uso de agua para generación eléctrica requerirá de 217 millones m3; se generarán 379 millones m3 de aguas contaminadas, lo que significaría que en algunos puntos de las cuencas el agua que corra en los ríos será casi como aguas negras.

La vertiente del Mar Caribe también mostrará en el 2025 una situación moderadamente difícil, ya que en el mes más seco del año se utilizarán en forma consuntiva 320 millones m3, que representan el 56% del agua disponible (573.47millones m3, descontando el caudal ecológico); si se añade el requerimiento no consuntivo de agua para generación eléctrica se estaría consumiendo el 88.2% del agua disponible en esa vertiente. La vertiente del Golfo de México mostrará en el 2025 una situación manejable, ya que las demandas de los distintos usos representarán alrededor del 25% de la oferta hídrica.

Debido a la no uniformidad de la distribución temporal y espacial del agua, su mala calidad, así como la falta de gobernabilidad, se concluye que hay riesgo hídrico, siendo el Lago de Amatitlán un ejemplo.

Se debe motivar el estudio hidrológico que incluya el caudal ecológico con una ponderación adecuada a cada ecosistema; pero lo más importante es crear unidades de planificación, a nivel de cuencas o microcuencas, por lo que deben institucionalizarse las mismas.

No se han dado iniciativas para colectar agua de lluvia ni tratar las aguas residuales. En general, no hay trabajo

AGUA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 7. Balance hídrico – tendencia pesimista (estimación al año 2025)

Concepto	Oferta y uso de agua anual en Guatemala					Situación para el mes más seco			
	Indicadores	V. Pacífico	V. Golfo de México	V. Mar Caribe	Total país	V. Pacífico	V. Golfo de México	V. Mar Caribe	Total país
	caudal (m^3/seg)	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*
I. Capital hídrico	**3,079.65**	**22,973.03**	**40,922.06**	**33,224.75**	**97,119.84**	**755.28**	**1,042.67**	**846.55**	**2,644.50**
Vertiente del Pacífico	728.47								
Golfo de México	1,297.63								
Mar Caribe	1,053.55								
II. Total demandas consuntiva o no		**9,149.32**	**2,655.34**	**4,107.38**	**15,912.03**	**1,340.15**	**241.01**	**479.39**	**2,154.13**
III. Total demandas de uso consuntivo		**6,926.77**	**548.86**	**2,201.56**	**9,677.18**	**1,123.38**	**65.47**	**320.57**	**1,546.01**
a. Agua potable y saneamiento	*Hogares país*	*1,139.04*	*290.01*	*539.68*	*1,968.72*	*94.92*	*24.17*	*44.97*	*164.06*
Hogares con servicio domiciliar	3,286,387	1,089.90	258.26	501.65	1,849.80	90.82	21.52	41.80	154.15
Hogares con servicio comunitario	212,727	29.95	10.45	16.36	56.76	2.50	0.87	1.36	4.73
Hogares con otro tipo de servicio (pozo)	329,165	14.06	16.39	16.48	46.93	1.17	1.37	1.37	3.91
Hogares sin servicio (acceso precario)	215,811	5.13	4.91	5.19	15.23	0.43	0.41	0.43	1.27
	4,044,091								
b. Uso agropecuario		*5,317.51*	*234.73*	*1,601.47*	*7,153.71*	*893.12*	*39.30*	*270.52*	*1,202.95*
Riego (312,000 ha en todo el país)		4,938.52	221.45	1,442.76	6,602.73	823.09	36.91	240.46	1,100.46
Ganadería y otros usos agropecuarios (2.0 millones UA)		49.39	2.21	14.43	66.03	4.12	0.18	1.20	5.50
Agroindustrial (lavado de caña y otros)		329.6	11.07	144.28	484.95	65.92	2.21	28.86	96.99
c. Industria y otras actividades de transformación		*462.45*	*20.94*	*58.82*	*542.21*	*38.54*	*1.75*	*4.90*	*45.19*
Industria manufacturera (80 m^3/ US$ 1,000 en VA)		456.45	18.94	56.82	532.21	38.04	1.58	4.74	44.35
Industria de la construcción		6.00	2.00	2.00	10.00	0.50	0.17	0.17	0.84
d. Minería		*0.00*	*0.96*	*0.48*	*1.44*	*0.00*	*0.10*	*0.10*	*1.51*
Minas de Oro - Marlín	822 m^3/día	0.00	0.48	0.00	0.48	0.00	0.03	0.03	0.00
Otros minas y otros productos mineros (estimación)		0.00	0.48	0.48	0.96	0.00	0.08	0.08	0.16
e. Otras actividades económicas		*7.77*	*2.22*	*1.11*	*11.10*	*0.54*	*0.15*	*0.08*	*0.77*
Hoteles y restaurantes (27,038 plazas cama/día, 50%)		5.18	1.48	0.74	7.40	0.43	0.12	0.06	0.61
Comercios y otros		2.59	0.74	0.37	3.70	0.11	0.03	0.02	0.16
IV. Total demanda no consuntiva		**2,222.55**	**2,106.48**	**1,905.82**	**6,234.85**	**185.20**	**175.54**	**158.82**	**519.56**
Energía hidráulica	141.21	2,222.26	2,106.48	1,905.82	6,234.56	185.19	175.54	158.82	519.55
Energía térmica (excepto ingenios cogeneradores)	3910 mill kv/h	0.29	0.00	0.00	0.29	0.01	0.00	0.00	0.01
V. Aguas retorno de riego (infiltración)		**1,975.41**	**88.58**	**577.1**	**5,641.09**	**329.23**	**14.76**	**96.18**	**244.55**
VII. Generación aguas contaminadas		**1,920.53**	**259.77**	**667.93**	**2,848.23**	**230.42**	**24.80**	**76.22**	**331.44**
Origen doméstico		820.10	208.81	388.57	1,417.48	68.34	17.40	32.38	118.12
Origen agropecuario		844.49	37.87	246.71	1,129.07	140.75	6.31	41.12	188.18
Origen industrial		249.72	11.31	31.76	292.79	20.81	0.94	2.65	24.40
Origen de otras actividades económicas		6.22	1.78	0.89	8.89	0.52	0.15	0.07	0.74
Saldo (superávit o déficit)		**19,942.20**	**40,721.55**	**32,268.22**	**95,931.98**	**217.17**	**1,016.77**	**698.38**	**1,655.16**

Fuente: SEGEPLAN (2007)

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 8. Balance hídrico – tendencia optimista (estimación al año 2025)

Concepto	Oferta y uso de agua anual en Guatemala					Situación para el mes más seco			
	Indicadores	V. Pacífico	V. Golfo de México	V. Mar Caribe	Total país	V. Pacífico	V. Golfo de México	V. Mar Caribe	Total país
	caudal (m^3/seg)	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*	*volumen (mill m^3)*
I. Capital hídrico	**3,079.65**	**22,973.03**	**40,922.06**	**33,224.75**	**97,119.84**	**755.28**	**1,042.67**	**846.55**	**2,644.50**
Vertiente del Pacífico	728.47								
Golfo de México	1,297.63								
Mar Caribe	1,053.55								
II. Total demandas consuntiva o no		**12,864.89**	**4,271.82**	**6,070.37**	**23,207.08**	**1,670.93**	**382.19**	**688.60**	**2,741.72**
III. Total demandas de uso consuntivo		**9,055.01**	**660.71**	**2,803.25**	**12,518.97**	**1,353.45**	**81.26**	**416.34**	**1,851.05**
a. Agua potable y saneamiento	*Hogares país*	*1,200.30*	*306.58*	*569.44*	*2,076.32*	*100.03*	*25.55*	*47.45*	*173.03*
Hogares con servicio domiciliar	3,286,387	1,158.92	280.17	537.67	1,976.76	96.58	23.35	44.81	164.73
Hogares con servicio comunitario	212,727	31.95	11.57	17.77	61.29	2.66	0.96	1.48	5.11
Hogares con otro tipo de servicio (pozo)	329,165	7.02	11.47	10.74	29.23	0.59	0.96	0.90	2.44
Hogares sin servicio (acceso precario)	215,811	2.41	3.37	3.26	9.04	0.20	0.28	0.27	0.75
	4,044,091								
b. Uso agropecuario		*7,083.15*	*312.98*	*2,135.29*	*9,531.42*	*1,189.46*	*52.41*	*360.69*	*1,602.55*
Riego (312,000 ha en todo el país)		6,584.70	295.27	1,923.68	8,803.65	1,097.45	49.21	320.61	1,467.28
Ganadería y otros usos agropecuarios (2.0 millones UA)		65.85	2.95	19.24	88.04	5.49	0.25	1.60	7.34
Agroindustrial (lavado de caña y otros)		432.60	14.76	192.37	639.73	86.52	2.95	38.47	127.94
c. Industria y otras actividades de transformación		*747.73*	*32.78*	*94.34*	*874.85*	*62.31*	*2.73*	*7.86*	*72.90*
Industria manufacturera (80 m^3/ US$ 1,000 en VA)		741.73	30.78	92.34	864.85	61.81	2.56	7.69	72.06
Industria de la construcción		6,00	2,00	2,00	10,00	0,50	0,17	0,17	0,84
d. Minería		*0.00*	*1.56*	*0.78*	*2.34*	*0.00*	*0.10*	*0.10*	*1.51*
Minas de Oro - Marlín	822 m^3/día	0.00	0.78	0.00	0.78	0.00	0.03	0.03	0.00
Otros minas y otros productos mineros (estimación)		0.00	0.78	0.78	1.56	0.00	0.08	0.08	0.16
e. Otras actividades económicas		*23.83*	*6.81*	*3.40*	*34.04*	*1.65*	*0.47*	*0.24*	*2.36*
Hoteles y restaurantes (27,038 plazas cama/día, 50%)		15.89	4.54	2.27	22.70	1.32	0.38	0.19	1.89
Comercios y otros		7.94	2.27	1.13	11.34	0.33	0.09	0.05	0.47
IV. Total demanda no consuntiva		**3,809.88**	**3,611.11**	**3,267.12**	**10,688.11**	**317.48**	**300.93**	**272.26**	**890.67**
Energía hidráulica	141.21	3,809.59	3,611.11	3,267.12	10,687.82	317.47	300.93	272.26	890.66
Energía térmica (excepto ingenios cogeneradores)	3910 mill kv/h	0.29	0.00	0.00	0.29	0.01	0.00	0.00	0.01
V. Aguas retorno de riego (infiltración)		**2,633.88**	**118.11**	**769.47**	**3,521.46**	**438.98**	**19.68**	**128.25**	**586.91**
VII. Generación aguas contaminadas		**1,550.79**	**174.43**	**500.84**	**2,226.06**	**198.37**	**17.64**	**61.94**	**277.94**
Origen doméstico		480.12	122.63	227.78	830.53	40.01	10.22	18.98	69.21
Origen agropecuario		829.67	37.20	242.38	1,109.25	138.28	6.20	40.40	184.88
Origen industrial		224.32	9.83	28.30	262.45	18.69	0.82	2.36	21.87
Origen de otras actividades económicas		16.68	4.77	2.38	23.83	1.39	0.40	0.20	1.99
Saldo (superávit o déficit)		**18,102.69**	**40,553.89**	**31,691.81**	**90,348.39**	**39.18**	**998.73**	**620.39**	**1,658.30**

Fuente: SEGEPLAN (2007)

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 9. Área regable con base en clases agrológicas (I a IV) y déficit de lluvia (km^2)

Clase de déficit	V. Océano Pacífico	V. Mar Caribe	V. Golfo de México	Total País
I	911	201	0	1,112
II	6,074	627	343	7,044
III	1,608	979	7,896	10,483
IV	624	3,478	3,482	7,584
Total	**9,217**	**5,285**	**11,721**	**26,223**

Fuente: Ponencia de PLAMAR en simposio sobre riego, Chile, 2001 (SEGEPLAN, 2007)

de sensibilización para disminuir el riesgo hídrico en los lugares donde se produce la contaminación. Hay desconocimiento en general, y tampoco se invierte en educación ambiental, por lo que debe darse la socialización para que las personas se hagan cargo de sus propios proyectos.

Debido a los cambios climáticos no se puede predecir la disponibilidad del agua, pero los usos y aumento de los mismos sí se va a mantener.

5. Agua y agricultura

Estudios del Plan Maestro de Riego y Drenaje del MAGA (1992) identificaron que se podrían regar 26,000 km2 (2.6 millones hectáreas), de suelos agrícolas del país (clases agrológicas I a IV), los cuales muestran déficit de lluvia (clases de déficit de lluvia I a IV), según se expresa en el Cuadro 9. El mayor potencial se localiza en la vertiente del Golfo de México (44.7%), precisamente donde existe la mayor disponibilidad de agua del país, pero donde hay menor presión poblacional y la actividad agropecuaria es de carácter extensiva y menos desarrollada respecto a la practicada en las otras vertientes. Le sigue en importancia la vertiente del Océano Pacífico, 35.1%, luego la del Mar Caribe con 20.1%. Sin embargo, el mismo Plan Maestro de Riego y Drenaje indica que del total de área de suelo agrícola con déficit de lluvia, efectivamente son aptas para riego alrededor de 12,960 ,km^2 de terreno, es decir, 1.296,000 hectáreas, equivalentes al 49.84% del total de área identificada. En 1992, el área del país estimada bajo riego era de 130,000 hectáreas (10% del área apta para riego); actualmente se considera cubre 311,557 hectáreas, es decir, cerca del 24% del área total apta para riego (según censo agropecuario del 2003).

Cuadro 10. Guatemala: estimación superficie regada según principales cultivos

Cultivos	Hectáreas	%
Banano	22,400	7.18
Caña de azúcar	168,490	54.00
Flores y follajes	2,800	0.90
Limón	3,500	1.12
Mango	3,500	1.12
Bayas	350	0.11
Palma africana	30,800	9.87
Papaya	980	0.31
Piña	2,100	0.67
Plátano	8,400	2.69
Pasto	14,000	4.49
Otros permanentes	2,170	0.70
Melón	5,530	1.77
Tomate	2,800	0.90
Cebolla	1,320	0.42
Otras hortalizas y cultivos anuales	42,900	13.75
Totales	**312,040**	**100.00**

Fuente: Datos estimados conforme censo agropecuario 2002-2003 (SEGEPLAN, 2007)

La mayor parte del área regada es llevada a cabo por la iniciativa privada y no como producto de políticas gubernamentales, salvo el caso de los pequeños agricultores. El cultivo de caña de azúcar ha alcanzado una superficie sembrada de 269,400 hectáreas en el ciclo 2004-2005, estimándose que el 80% del mismo se riega en época seca. El mayor tipo de riego aplicado en el país es por aspersión (54.2%), luego un 30.2% por inundación, 6.1% por goteo y 9.6% por otros sistemas. La mayor fuente de agua empleada para regar es de río (57.6%), luego 16.7% aprovecha un lago, laguna o charca, el 0.3% un río o lago, laguna o charca. El 74.6% del riego utiliza aguas superficiales y el 25.4% aguas subterráneas; de no haber cambios en la gestión, el porcentaje de uso de agua subterránea irá incrementándose en el futuro por escasez de fuentes superficiales. Alrededor del 80% de la superficie bajo riego del país se encuentra en la vertiente del Pacífico, el 16% en la del Mar Caribe y el 4% en la del Golfo de México.

Para hacer un estimado de la demanda de agua para riego en el país se consideró que el agua se utiliza casi exclusiva-

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 11. Datos utilizados para estimar demanda de agua para riego (miles hectáreas)

Eficiencia y cultivo equivalente	Total superficie	Aspersión	Goteo	Inundación	Otro	Demanda m³/ha	Riegos/año
Eficiencia		0.7	0.9	0.5	0.6		
Cultivo equivalente							
Caña de azúcar	181.6	110.0	2.1	56.0	13.5	500	12
Palma africana	43.0	20.7	2.0	17.3	3.0	340	27
Banano-plátano	30.8	14.0		14.0	2.8	500	27
Melón	9.8	3.0	0.4	5.0	1.4	525	25
Hortalizas y otros anuales	46.4	21.3	14.6	1.9	8.6	280	24
Totales	**311.5**	**169.0**	**19.0**	**94.2**	**29.3**		

Nota: Por aproximaciones los datos totales de los cuadros anteriores no siempre coinciden (SEGEPLAN, 2007).
Fuente: Estimación con base a datos censo agropecuario 2002-2003 y criterios de riego de especialistas sobre demandas de agua generalmente aceptadas en Guatemala

PARA USO RESTRINGIDO

mente en el período seco, o sea seis meses por año. Posteriormente, se hizo un estimado de cultivos irrigados según vertiente, ya que el dato preciso no lo reporta el censo agropecuario; los datos de cultivos se redujeron a los rubros más representativos, para los que se estimó una frecuencia de riego específica y un aporte total de agua conforme la experiencia de riego en esos cultivos, habiendo consultado a expertos locales con muchos años de experiencia en el tema. La superficie de cultivos se estimó con los datos censales del 2002-2003, según se indica en el Cuadro 10,y los índices utilizados para calcular la demanda de agua se consignan en el Cuadro 11. El área de caña regada ocupa el 54% del total, la palma africana le sigue con un 10% y el banano con el 7%.

Con base en los datos mostrados en los Cuadros 10 y 11 y a la distribución de superficie de riego por sistema y por vertiente, se ha podido establecer la demanda de agua para riego en el país, según se expresa en el Cuadro 12. La demanda de agua para riego en todo el país se estima en 3,668.18 millones m³. Los dos sistemas que más demandan agua son los de inundación y aspersión (84.7) y se corrobora que en la vertiente del Océano Pacífico se concentra la mayor demanda de agua (71.8%), siendo menor en la vertiente del Mar Caribe (21.0%) y bastante menos en la vertiente del Golfo de México (7.2%); esta última es la que mayor disponibilidad de agua tiene. Asimismo, se indica que si bien continúa siendo importante el riego por inundación (39.1%), esto ha sido superado por el riego por aspersión, el cual demanda el 45.6% del agua con ese destino; además puede considerarse satisfactorio que el país tenga sistemas de riego por goteo porque ello aumenta la eficiencia en el uso del agua.

Los grandes productores llevan registros de cuánta agua consumen; otros solamente la usan debido a la poca importancia que le dan, ya que no les representa un costo. Para los que les representa un costo, por bombeo, sí les preocupa y es por ello que prefieren el riego por goteo. Además, no está sistematizado el acceso a la información.

Junto al agua de riego se ha estimado el consumo de agua para otros fines agropecuarios (beneficio de café, agua para ganado, aves, cambio del agua en las 1,500 hectáreas de estanques que producen camarón, y otros), cuya demanda de agua es bastante menor a la de riego, aunque el consumo unitario de estas actividades pueden ser bastante alto y contaminante.

FORO CONSULTIVO

Cuadro 12. Demanda de agua para riego (millones m3) según sistema y vertiente

Vertiente	Total	%	Aspersión	Goteo	Inundación	Otro sistema
Pacífico	2,743.62	71.8	1,450.31	44.50	1,052.41	196.41
Golfo de México	123.03	7.2	59.63	0.62	39.89	22.89
Mar Caribe	801.53	21.0	230.62	21.12	402.68	147.12
Total:	**3,668.18**	**100.0**	**1,740.56**	**66.24**	**1,494.98**	**366.42**
% del total	**100.0**		**45.6**	**1.7**	**39.1**	**9.6**

Fuente: Datos censales e índices de consultores especializados en el tema riego (SEGEPLAN, 2007)

6. El agua y la industria

La industria primaria es consumidora de significativa cantidad de agua. Lamentablemente el estado no lleva registros de consumo de agua en las industrias de Guatemala ni estos datos son proveídos al público por la industria, por lo que no se puede estimar su eficiencia. En este capítulo se estimarán los volúmenes de agua demandados por la industria, incluyendo a la minería y al turismo.

La actividad industrial se concentra en el Área Metropolitana de Guatemala (AMG), presiona la demanda del servicio prestado mediante agua entubada, abasteciéndose en la mayoría de casos de agua subterránea. Para estimar el consumo de agua de este sector se ha seguido el criterio del informe de la Estrategia Integrada de Recursos Hídricos en Costa Rica (2005), donde para hacer proyecciones de consumo de agua para este sector se establece un parámetro de 80 m^3 por cada US 1,000 dólares de valor agregado. Para Guatemala el dato de 80 m^3 se ajustó con un incremento de 25%. La industria guatemalteca produjo en el año 2004 el equivalente en US 3,565.9 millones dólares de valor agregado a precios corrientes. La estructura de la producción industrial indica que el 66.8% proviene de procesos orientados al consumo directo; la producción para el consumo intermedio representa el 27.5%, en tanto que la producción para bienes de capital es de 5.7%.

Bajo esa modalidad, el consumo de agua en la industria se estima en 332.6 millones m^3, el cual se concentra en el AMG, en donde se ubica alrededor del 80% del valor agregado industrial del país. Además del AMG, hay pequeños enclaves industriales en los departamentos y municipios de Escuintla, Teculután y Quetzaltenango. Como ya se mencionó, la industria tiene actualmente resuelto el abastecimiento de agua a través de su acceso directo y libre a pozos y manantiales. Sin embargo, la sobreexplotación de algunos acuíferos ya representa un costo alto e inversiones cuantiosas (energía eléctrica y perforaciones más profundas), y a mediano plazo se estima no son sostenibles porque se considera abatirán el rendimiento de las aguas subterráneas.

Asimismo, la industria de la construcción es una actividad que no puede desarrollarse sin agua. Estimaciones de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS), de la USAC, indican que para construir una vivienda de 60 m^2 se requieren alrededor de 10 m^3 de agua.[3] Con base a ese indicador se ha podido estimar, *grosso modo*, el requerimiento de agua en esa rama de la actividad económica.

La actividad minera está cobrando nuevamente auge en Guatemala con la apertura de la mina de oro Marlín en San Marcos, el posible reinicio de operaciones de extracción de níquel en Izabal, y por el otorgamiento de otras licencias de reconocimiento y exploración de parte del Ministerio de Energía y Minas.[4] La industria minera tiene un doble efecto en la disponibilidad de agua, por un lado se refiere al agua que se extrae junto con los minerales y por otro el agua que se utiliza en el procesamiento de los minerales. Dependiendo de la hidrogeología de la zona, el volumen de agua que se extrae puede ser muy importante. El impacto regional puede no ser importante, pero el impacto local puede ser significativo.

En el caso del Proyecto Marlín que extrae oro y plata en el altiplano de San Marcos, el estudio de impacto ambiental indica que se requerirá para el proceso de 1.5 millones m^3 de agua por año, de los cuales 1.2 millones provendrán de los embalses de colas y 0.3 millones proveniente de aguas subterráneas. Los requerimientos totales diarios serán 4,110 m^3, de los cuales 822 m^3 provendrían del pozo, y del reciclado de la fosa de colas, 3,288 m^3. La empresa ha entrado en operaciones y espera explotar 2.1 millones de onzas oro y 28.4 millones onzas de plata, contenidas en 13.2 millones toneladas de material.[5] En el balance nacional se consigna un consumo anual de agua de 0.3 millones m^3 para el proyecto minero en San Marcos, y hasta dos veces para los proyectos mineros que se desarrollan en otros lugares del país.

Los servicios al turismo también requieren buena cantidad de agua. Guatemala le está apuntando al turismo

3 Elías, Carlos Alberto, *et al*. Determinación del agua no contabilizada y análisis tarifario del sistema de agua de Planes de Bárcenas, en revista Agua, Saneamiento & Ambiente, ERIS, Facultad de Ingeniería, USAC -,2005.

4 Para explotar níquel se requiere de 500 m3 de agua por tonelada de producto, se esperaría una producción de 14,000 a 24,000 toneladas por año el entrar en operación la planta. Comunicación del Departamento de Control Minero, Dirección de Minería, Ministerio de Energía y Minas.

5 Informe de Evaluación del Proyecto Marlín de explotación de oro y plata en San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, San Marcos. Comisión especial de la USAC, Guatemala, marzo de 2005.

PARA USO INSTITUCIONAL FORO CONSULTIVO

receptivo como un elemento importante para su desarrollo económico (es uno de los tres ejes de la Agenda de Competitividad 2005-2015), esperando mantener por encima de un millón la afluencia de turistas por año; dos de los cuatro sitios más visitados del país están asociados a cuerpos de agua (Atitlán y Río Dulce) y el Estado ha creado autoridades de cuenca, aunque en parte por su poco presupuesto los resultados no son visibles. En el año 2004, el país contaba con un total de 27,038 plazas cama por día, las que según reporte del Instituto Guatemalteco de Turismo tiene una tasa de ocupación del 48.9%. Basado en esos datos y con una media de consumo de 500 litros cama por día y con tasa de ocupación del 50% se llegó a estimar la demanda de este sector, al que se le ha agregado una similar cantidad para el uso de restaurantes en general, de manera que esta rama de la actividad económica demanda 4.93 millones m^3 de agua por año. Con base a los datos de este sector se ha estimado también el consumo de agua del resto de actividades del sector comercial y de servicios.

En conclusión, hace falta más información sobre la contaminación que producen las industrias y agroindustrias, ya que la que existe está sectorizada.

7. Agua para abastecimiento humano: cantidad, calidad y acceso

La provisión de agua por tubería ha mejorado significativamente en Guatemala, como lo demuestran los datos de los últimos tres censos de población y habitación. La cobertura de agua pasó de un 52.3% en 1981 a 68.4% en 1994 para alcanzar en el año 2002 el 74.6% de los hogares del país (agua domiciliar, para varios hogares o chorro público). Se mantienen diferencias significativas de cobertura entre las áreas urbanas y rurales. Para 2002 la cobertura urbana alcanzó el 89.4% de los hogares censados, y la rural se ubicó en 59.6% (Cuadro 13). En Guatemala los hogares urbanos representan el 50.2% del total nacional e integran el 46.1% de la población del país, mientras que los hogares rurales constituyen el 49.8% del total nacional conformados por el 53.9% de la población.

A pesar de la mejora en la tasa de cobertura expresada en términos relativos, de manera absoluta todavía hay un número significativo de hogares guatemaltecos que se abastecen de agua por medio de acarreo (de pozos someros, de ríos o lagos u otras formas precarias). Según datos del censo de población 2002 esto significa un total de 116,395 hogares urbanos y 443,196 hogares rurales para hacer un total aproximado superior a los 3 millones personas, lo cual muestra cierta inequidad entre ambos ámbitos y dentro de lo urbano, entre los distintos estratos sociales.

Al igual que muchos países, Guatemala se ha comprometido a cumplir las Metas del Milenio entre las cuales se encuentra las de reducir a la mitad el porcentaje de habitantes que en el año 2000 no tenían acceso a una fuente segura de agua y que no contaba con el servicio de saneamiento básico.

Evidencia empírica señala que aun cuando la cobertura del servicio de agua ha mejorado notablemente, la calidad del servicio no necesariamente es buena, pues del total de servicios existentes sólo el 15% sirve agua previamente tratada para fines domésticos y la prestación de los mismos no es continua ni se caracteriza porque el agua se sirva con presión adecuada. Adicionalmente, las tarifas por los servicios en general no cubren ni siquiera los gastos de operación y mantenimiento, lo que ha dado como resultado el deterioro de la infraestructura existente, el subsidio para

Cuadro 13. Hogares según tipo de servicio de agua y sectores urbanos y rurales (2002)

Tipo de servicio de agua	Total país	%	Urbanos	%	Rurales	%
Total	**2,200,608**	**100.0**	**1,104,994**	**100.0**	**1,095,614**	**100.0**
Chorro de uso exclusive	1,458,480	66.3	880,704	79.7	577,776	52.7
Chorro para varios hogares	93,729	4.3	75,587	6.8	18,142	1.7
Chorro público (fuera del local)	88,808	4.0	32,308	2.9	56,500	5.2
Pozo	337,241	15.3	56,375	5.1	280,866	25.6
Camión o tonel	49,000	2.2	25,886	2.3	23,114	2.1
Río, lago o manantial	106,360	4.8	8,848	0.8	97,512	8.9
Otro tipo	66,990	3.0	25,286	2.3	41,704	3.8

Fuente: Censo de Población y Habitación 2002

VADA USORES INVIDIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 14. Criterios para estimar la demanda actual de agua para uso doméstico en Guatemala

Tipo de abastecimiento	Urbano (litros/persona/día)	Rural (litros/persona/día)	Demanda anual (millones m3)
Tubería servicio domiciliara	200	100	732.65
Tubería servicio varios hogares	100	75	28.93
Tubería servicio comunal (fuera casa)	100	75	20.55
Pozo	50	50	39.77
Camión o tonel	25	25	2.73
Río, lago o manantial	25	25	6.35
Otro tipo	25	25	3.82
Totales			**834.80**

Fuente: Datos censales del año 2002 (SEGEPLAN, 2007)

PARA USO RESTRINGIDO

las áreas urbanas y la ampliación del servicio por medio de sistemas alternos —camiones cisternas, por ejemplo—, también de dudosa calidad y de costo notablemente superior a los de un sistema tradicional en perjuicio de las necesidades de la población rural y de las áreas marginales de las ciudades.

La demanda para toda la población del país de acuerdo a las dotaciones indicadas en el Cuadro 14 es de 834.8 millones m3 (solo en ciudad de Guatemala, la Empresa Municipal de Agua, EMPAGUA, produce alrededor de 120 millones m3 de agua potable por año). Como la población está ubicada mayoritariamente en la vertiente del Pacífico, en ella la demanda es de 485.28 millones m3 (58.1%), en la vertiente del Golfo de México la demanda es de 132.46 millones m3 (15.9%), en tanto que en la vertiente del Mar Caribe es de 217.07 millones m3 (26.0%).

Como se evidenciará más adelante con los otros usos, el sector Agua Potable es donde hay más problemas y satisfacerla constituye un gran reto debido a la dispersión de la población rural y, en no pocos casos, a dificultades técnicas puntuales para su abastecimiento. Los datos de cobertura indican que debe atenderse en forma prioritaria el área rural y el área metropolitana y mejorar la calidad de los servicios existentes. Es evidente la necesidad de modernizar el subsector de agua potable y aguas residuales.

En relación a la gestión general del agua, el subsector agua potable y saneamiento se vincula primero como usuario, es decir, como titular de derechos de aprovechamiento del agua (agua que entra al sistema de distribución); luego a las mejores prácticas de uso del agua y al control de las aguas residuales de los sistemas (agua que sale del sistema). La administración en sí de los servicios es objeto de otros regímenes legales y no compete a la autoridad del agua resolverlos. Lo que le compete es asegurar sus derechos de abasto y vigilar se cumplan las obligaciones de conservación de parte de prestadores y operadores.

FORO CONSULTIVO

8. Contaminación

La contaminación del agua en las distintas cuencas del país se debe a fuentes puntuales (aguas residuales domésticas, industriales y agroindustriales) y no puntuales (erosión del suelo con agroquímicos durante los eventos de precipitación escorrentía). En el Cuadro 3 se muestra que los usos actuales generan 1,540 millones m3 de aguas residuales a nivel nacional, que al ser vertidas en corrientes de agua superficial o cuerpos de agua, automáticamente limitan o dificultan usos ulteriores de todo el recurso natural receptor. Solamente que por falta de tratamiento de las aguas residuales, ya que sólo el 5% son tratadas y aun por el efecto de dilución, automáticamente todas las aguas que reciben dichas descargas resultan contaminadas.

El volumen de agua contaminada que se descarga a las cuencas proviene en un 40% de los municipios, otro 40% de las actividades agropecuarias, un 13% de las industrias y el restante 7% de las agroindustrias. Sin embargo, la carga de contaminación (toneladas de DBO o DQO al año) no guarda las mismas proporciones, como se muestra en uno de los estudios de caso, donde las agroindustrias ubicadas en dos cuencas de la vertiente del Pacífico contribuyen con mayor carga que la generada por la población. Aun cuando no se cuenta con información ni controles sistemáticos, un estudio de caso realizado como parte de la estrategia para la gestión integrada de los recursos hídricos indica que la carga de contaminación por demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y por demanda química de oxígeno

(DQO) generada por la agroindustria e industria es mayor a la generada por las comunidades expresada en población equivalente.[6]

Actualmente, la contaminación limita usos productivos aguas abajo y su control es factor decisivo para las políticas de reducción de la pobreza, especialmente para la reducción de índices de mortandad infantil y materna, y no contribuye a mejorar las condiciones de competitividad del país.

Con la implantación del Reglamento de Descargas y Reuso de Aguas Residuales y Disposición de Lodos, aprobado en mayo del 2006, se espera un proceso gradual de descontaminación a ser completada en 18 años. El mayor reto lo constituye, ahora, el establecimiento del sistema de vigilancia y la coordinación institucional necesaria para aplicarlo y vigilar el cumplimiento operativo de estas disposiciones.

9. Agua en las áreas urbanas

Como se indicó en la Sección 6, el 89.4% de la población de las áreas urbanas del país tienen cobertura del servicio de abastecimiento de agua; la población urbana representa el 46.1% del total. Sin embargo, aún alrededor de 625,000 personas no tienen todavía acceso a la misma a través de conexión domiciliar (116,395 hogares).

En relación a la calidad del servicio, evidencia empírica señala que aun cuando la cobertura del servicio de agua ha mejorado notablemente, la calidad del mismo no necesariamente es buena, pues del total de servicios existentes sólo el 15% sirve agua previamente tratada para fines domésticos y la prestación de los mismos no es continua ni se caracteriza porque el agua se sirva con presión adecuada (la mayor proporción de este porcentaje es el área urbana). A nivel urbano, la cobertura apropiada alcanza 76.7% de los hogares, en tanto que a nivel rural es sólo del 16.8%.

6 Población equivalente: la manera de relacionar la carga de contaminación generada por la agroindustria e industria con la carga de contaminación generada por las Municipalidades, es mediante un factor denominado población equivalente. La manera de hacerlo es dividiendo la carga de contaminación generada por la agroindustria e industria, calculada al multiplicar la descarga de agua por la concentración de DBO y DQO, entre la carga de contaminación generada por una persona, calculada al multiplicar 200 l/d por 250 mm DBO/l (0.01825 toneladas/año).

Los porcentajes de pérdidas en los sistemas de servicio de agua en las áreas urbanas llegan hasta el 50%, mientras que en las áreas rurales la eficiencia de distribución del agua por tubería es del 90% (10% de pérdidas) y 80% en otras formas de abastecimiento.

En relación a los precios del agua en el área urbana y rural, las tarifas por los servicios en general no cubren ni siquiera los gastos de operación y mantenimiento, lo que ha dado como resultado el deterioro de la infraestructura existente, el subsidio para las áreas urbanas y la ampliación del servicio por medio de sistemas alternos —camiones cisternas, por ejemplo—, también de dudosa calidad y de costo notablemente superior a los de un sistema tradicional, en perjuicio de las necesidades de la población rural y de las áreas marginales de las ciudades. Las tarifas por el consumo de agua no son muy efectivas, salvo el cobro en ciertos sectores por la empresa municipal de agua de la ciudad de Guatemala (EMPAGUA), Agua Mariscal y otras empresas municipales de agua como Quetzaltenango y Santa Elena y San Benito.

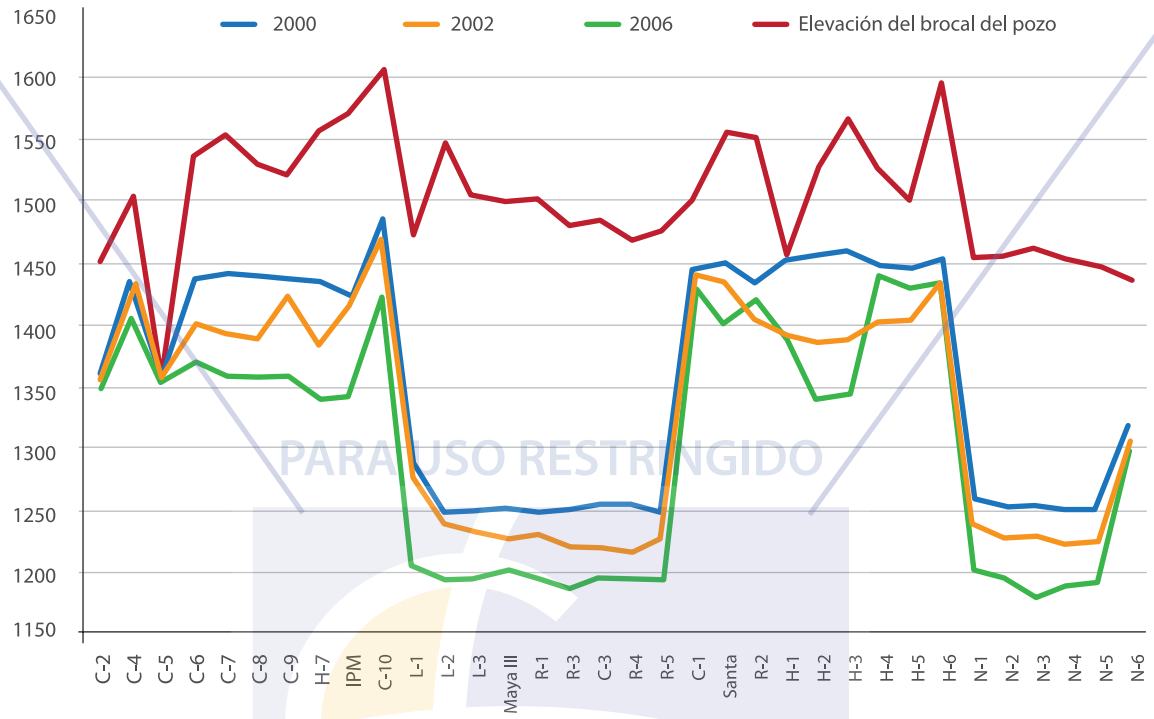
La tarifa promedio mensual para el servicio de abastecimiento de agua potable a nivel nacional es de Q. 4.5, cuando se requiere que fuese Q. 30, por lo que las Municipalidades tienen que subsidiarlo; Villa Nueva subsidia mensualmente el abastecimiento de agua en Q. 1 millón (US$ 1 = Q. 7.5). El precio promedio del metro cúbico que cobra EMPAGUA es de Q. 1.80, cuando su costo de producción es de Q. 3.50. Los sistemas de riego no pagan cuota por el uso del agua que motive su uso eficiente, aunque por la escasez en algunas zonas han cambiado hacia un método de menores pérdidas.

El abastecimiento de agua para la AMG y otras áreas urbanas presenta, entre otras cosas, dos grandes retos: la sobreexplotación de los acuíferos, con los consecuentes incrementos en los costos de bombeo y el acceso a nuevas fuentes que se encuentran fuera de su jurisdicción, lo cual en muchas ocasiones genera conflictos. En el primer caso, la solución al problema depende fundamentalmente de ordenar el aprovechamiento actual de los acuíferos, a través de distintos instrumentos de gestión, cuya aplicación resulte del consenso entre las partes. En el segundo caso, sería necesario considerar mecanismos de asignación y compensación.

Un estudio de caso realizado como parte de la Estrategia para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos fue la sobreexplotación de los acuíferos del Área Metropolitana de Guatemala. En la Figura 4 se muestra los cambios entre

USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 4. Descensos en los niveles de agua subterránea en el área metropolitana de Guatemala



Fuente: EMPAGUA , 2006 (Como referencia Proyecto Emergencia I)

Cuadro 15. Hogares según tipo de servicio sanitario, según año censal

Tipo de servicio	Censo 1981	%	Censo 1994	%	Censo 2002	%
Total	**1,151,872**	**100.0**	**1,591,823**	**100.0**	**2,200,608**	**100.0**
Inodoro	246,646	21.4	469,206	29.5	921,515	41.9
Excusado lavable	39,550	3.4	91,154	5.7	110,434	5.0
Letrina o pozo ciego	368,086	32.0	823,913	51.8	849,542	38.6
No tiene	497,590	43.2	207,550	13.0	319,117	14.5

Fuente: Censos de población y Habitación 2002, INE

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

el 2002 y el 2006 en el nivel del agua subterránea en los pozos del Programa Emergencia I de EMPAGUA, los cuales evidencian la tendencia a profundizar el nivel freático.

10. Agua y saneamiento

En materia de saneamiento también se han notado mejoras en las tasas de cobertura. El Cuadro 15 indica que se ha mejorado de una cobertura con disposición apropiada (inodoro y excusado lavable) de 24.8% de hogares en 1981 a una de 46.9% en el 2002; pero aún es muy baja para garantizar una adecuada calidad de vida para la población, pues casi 6 millones personas no tienen acceso a este servicio básico. A nivel urbano, la cobertura apropiada alcanza 76.7% de los hogares, en tanto que a nivel rural es sólo del 16.8%. Las aguas de desecho son tratadas en muy pocos sitios (sólo el 5% a nivel nacional), de manera que los alcantarillados fluyen hacia ríos y cuerpos de agua superficial propiciando la contaminación de los demás recursos hídricos.

11. Agua y salud pública

El informe del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) del año 2004 muestra que fueron atendidos a nivel nacional 779,152 personas con problemas gastrointestinales, especialmente con enfermedades diarreicas, y en el informe estadístico del Instituto Guatemalteco de

Cuadro 16. Departamentos en orden de mayor proporción entre el total de casos de enfermedades gastrointestinales reportadas con respecto al total de la población

	Departamento	%
1.	Izabal	33
2.	San Marcos	21
3.	Alta Verapaz	21
4.	Retalhuleu	19
5.	Jutiapa	15
6.	Chiquimula	15
7.	Huehuetenango	15
8.	Quetzaltenango	14
9.	Sololá	12
10.	Zacapa	12
	Nivel Nacional	12

Fuente: MSPAS 2004, citado por SEGEPLAN, 2007

Seguridad Social (IGSS) para el mismo año se indica que el total de atenciones superó las 650,000 consultas. En otras palabras, se atendieron más de 1.400,000 eventos, lo que significa que afectó al 12% del total de la población nacional. El costo promedio por consulta, más análisis, diagnósticos y medicina por persona reportado por el IGSS en dicho año respecto a los tratamientos asociados con enfermedades diarreicas es de Q. 287.68 por evento. El sector publico anualmente gasta una cantidad superior a los Q. 400.000,000 (alrededor de US 50 millones dólares) por causa de enfermedades gastrointestinales transmitidas por el agua.

Al realizar una correlación con los indicadores desarrollados por la OMS respecto al impacto de las inversiones en agua potable y saneamiento en la salud, resulta que por cada US dólar invertido en éstos, se logra una reducción al menos del 10% en las enfermedades diarreicas. Se puede concluir que por cada US dólar que se invierta en estos rubros se lograría una reducción de US 5 de los presupuestos del MSPAS e IGSS y con ello liberar al menos US 5 millones dólares de sus presupuestos.

En el Cuadro 16 se muestran los departamentos ordenados de mayor a menor proporción de morbilidad reportada para las enfermedades gastrointestinales asociadas al agua.

El II Informe de Avance del Cumplimiento de las Metas del Milenio de Guatemala (2006) literalmente expresa: "Lograr que las familias cuenten ininterrumpidamente con agua potable y servicios de saneamiento adecuados, constituye una meta fundamental. En efecto, la familia que goce de estas condiciones tendrán mejor salud,...mejor educación... y contribuye en particular a mejorar la situación de las mujeres... favorece un mejor cuidado del medio ambiente...".."De manera invariable, carecer de estos servicios básicos está altamente asociado con altos niveles de pobreza y pobreza extrema", y asegura este II Informe que si hubiera un incremento del 10% en la proporción de hogares urbanos con servicios adecuados de agua potable, la probabilidad de que existe desnutrición infantil global disminuiría en 8.2%; y si el porcentaje de familiares que no pueden acceder a servicios adecuados se redujera de 13.68% a 3.68%, la mortalidad materna disminuiría de 153 a 116.33 por cada 100,000 niños nacidos vivos (p. 219).

PARA USO RESTRINGIDO

12. Agua y economía

Aun cuando no se ha cuantificado los valores de participación de los recursos naturales en la economía nacional, entre ellos el agua, fácil es suponer que más de la mitad del producto interno bruto de la nación proviene del uso y aprovechamiento de los recursos naturales que le son propios, pues la sociedad guatemalteca depende económicamente de la explotación de sus recursos naturales.

El Producto Interno Bruto (PIB) del país es de Q. 225,000 millones y el 71% del mismo depende de cuatro grandes ramas de la economía, a saber: a) sector agropecuario, b) industria, c) comercio y d) transporte, almacenaje y comunicaciones. El sector agropecuario (23% del PIB) depende totalmente del agua. La producción agrícola es cíclica, se siembra al inicio de las lluvias y se cosecha al final de las mismas. Realizar actividades agropecuarias fuera de temporada significa agregar de manera "artificial" agua al suelo. Se estima que el país riega un poco más de 310,000 hectáreas, esto ha demandado inversiones, cuyo valor financiero es tomado en cuenta, mas no siempre la contribución directa del agua al incremento en los rendimientos de los cultivos agrícolas, como variable importante para cuidar sosteniblemente el capital hídrico nacional.

FORO CONSULTIVO

Resalta también la importancia del agua en la economía nacional al considerar que las principales exportaciones del país están relacionadas con el aprovechamiento de su riqueza natural, incluida el agua, dado que los productos más relevantes son bienes primarios y de extracción, tales como café, banano, azúcar, cardamomo, chicle y petróleo, se convierten en agua virtual y en su conjunto representan un ingreso de divisas para el país cercano a los US 1,000 millones dólares.

Buena parte del sector industrial y agroindustrial también demandan, consumen y disponen al ambiente cantidades importantes de agua; esto incluye una variada producción artesanal. La industria de la construcción es inviable sin agua. Persiste un buen margen de producción eléctrica con base en energía hidráulica; actualmente se genera alrededor de 500 MW, que equivalen al 35% de la producción total de energía, teniendo el país un potencial de 4,000 MW y que con el alza del precio del petróleo lo hace más factible.

Luego, la gran importancia que para el país tiene el turismo receptivo, que busca no sólo el entorno cultural sino también el entorno natural, donde resalta el agua como elemento central de belleza escénica e indispensable para la puesta en valor de este servicio; este sector también se convierte en un serio demandante de agua, en cantidad y calidad. Por otra parte, la política minera gubernamental favorece estas explotaciones, las cuales representan un incremento sustancial, local y focal en la demanda, consumo y disposición de agua aún sin valorar, con el agregado que algunas de estas explotaciones se sitúan en las cabeceras de las cuencas en donde existe naturalmente menos disponibilidad de agua y desde donde se pueden contaminar las fuentes superficiales y subterráneas.

La importancia del recurso agua a nivel económico, cobra mayor relevancia si se considera que solamente el sector agropecuario ocupa cerca del 50% de la PEA (se refiere a la PEA total y no la que labora en las áreas bajo riego); la actividad agroindustrial y la artesanía contribuyen con el 8% de la PEA, si a ello se añade otros sectores económicos importantes como turismo, hidroelectricidad y minería, se puede aseverar que alrededor del 70% de la PEA de Guatemala depende directamente del uso y aprovechamiento de sus recursos hídricos.

13. Agua y energía

El país tiene alto potencial para generar energía hidroeléctrica (4,000 MW; actualmente se genera alrededor de 500 MW, que equivalen al 35% de la producción total de energía). En la vertiente del Pacífico los ríos permiten el manejo del diferencial de altura, en tanto que en las vertientes del Golfo de México y el Mar Caribe los ríos son de recorridos largos y caudalosos. Con base a los registros de la hidroeléctrica del Chixoy, el único embalse de regulación anual, se ha procedido a estimar la demanda de agua del complejo hidroeléctrico nacional, que aunque no es directamente consuntiva, si afecta o restringe los usos aguas abajo. En ese sentido se ha estimado que la demanda actual de agua para este sector es de 4,453 millones m^3. Como se indicó, actualmente, el 35% del total de la energía del país es abastecida por hidroeléctricas, pero con el incremento en el precio del petróleo, el Estado, a través del Instituto Nacional de Electrificación, ha reactivado el interés por este tipo de energías, teniendo en cartera varios proyectos grandes, medianos y pequeños para que inversionistas privados participen en su construcción y operación.

Al igual que las actividades mineras, la construcción de hidroeléctricas ha sido cuestionada por organizaciones no gubernamentales ambientalistas y grupos comunitarios. Los cuestionamientos son variados, desde impactos al ambiente hasta requerimientos de energía y de obras de interés comunitario. En el país, sólo una hidroeléctrica en operación (Chixoy) tiene un embalse de regulación anual. Esta hidroeléctrica, construida al inicio de los años 80 ocasionó reasentamientos de familias que aún hoy en día están requiriendo indemnización y compensación. Posterior a Chixoy, la mayoría de proyectos hidroeléctricos que se han construido tiene obras de regulación diarias y embalses pequeños. Sin embargo, en uno de estos proyectos, por falta de previsión en la construcción de un embalse de regulación aguas debajo de la descarga de la casa de máquinas, provocó protestas de regantes. Por lo que debe desarrollarse un proceso durante la formulación de proyectos hidroeléctricos, por medio del cual las comunidades participen, a manera de minimizar conflictos.

14. Inundaciones y sequías

Guatemala, como el resto de los países del istmo centroamericano, es afectada frecuentemente por eventos de origen hidrometeorológico capaces de ocasionar desastres de gran magnitud, manifiestos especialmente en exceso y escasez de agua que pueden alterar la vida y dañar la infraestructura y bienes en forma muy severa. Por lo tanto, es indispensable conocer cómo estos fenómenos afectan y evaluar para conocer su importancia en términos de su efecto sobre el desarrollo.

De acuerdo a las tendencias actuales del clima, se puede esperar que la ocurrencia de desastres sea más frecuente e intensa. En este entorno, y ante la falta de implementación de las políticas de ordenamiento territorial, la población que crece a un ritmo acelerado se asienta cada vez en mayor número en sitios con alto riesgo.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

La dinámica de los eventos hidrometeorológicos que producen desastres es poco estudiada y conocida en el país y, por lo tanto, las medidas de su gestión no necesariamente son las más adecuadas. Por otro lado, la construcción de obras de infraestructura no ha sido sistemáticamente diseñada incorporando medidas relativas a cómo lidiar en casos de eventos extremos y por ello generalmente son severamente dañadas cuando éstos ocurren. Así mismo, no existe un sistema nacional de obras de protección para prevenir inundaciones o proteger a personas y bienes, y las habidas no se diseñan considerando la variable de fenómeno extremo y a veces inclusive se convierten en un peligro para las personas y obras situadas aguas abajo en sitios originalmente sin riesgo.

El Huracán Mitch afectó la región a finales de octubre y principios de noviembre de 1998, provocó la muerte de 268 personas en el país, 54,705 personas fueron evacuadas y alrededor de 105,000 fueron damnificados; el número de sistemas de agua dañadas fue de 237; los daños totales en el país fueron de US 948.79 millones dólares. Tormenta Stan de octubre del 2005 causó que 669 personas fallecieran en el país, 12,445 viviendas dañadas y 5,515 destruidas; sólo en el departamento de San Marcos se dañaron 331 sistemas de abastecimiento de agua; pérdidas y daños valorados en alrededor de US 1,000 millones dólares. La Figura 5 muestra la ocurrencia de inundaciones según su probabilidad de ocurrencia, dividida en categorías.

En relación a las sequías, en el país se ha generado información sobre las áreas más amenazadas, identificadas como extremadamente altas a muy bajas. En la Figura 6 se muestran las áreas del país con una extremadamente alta amenaza de sequía hasta aquéllas con probabilidad muy baja.

A pesar que se ha avanzado en la organización local, aún se debe trabajar mucho en el desarrollo de la planificación y preparación para enfrentar desastres. Los temas en los que se debe hacer énfasis son el conocimiento de los fenómenos, desarrollo de sistemas de alerta temprana, organización local e incorporar los elementos de desastre al diseño de obras de infraestructura.

La garantía a la vida, a la integridad física de las personas y a la seguridad de sus bienes también compete hacerla efectiva al Estado para lo cual ha organizado el sistema de la Coordinación Nacional para la Reducción de Desastres, para coordinar las acciones públicas y privadas de gestión de riesgos y tiene, entre sus responsabilidades, definir de forma singular y particular para todos y cada uno de los municipios del país, las áreas de riesgo.

Figura 5. Mapa de amenaza por inundación

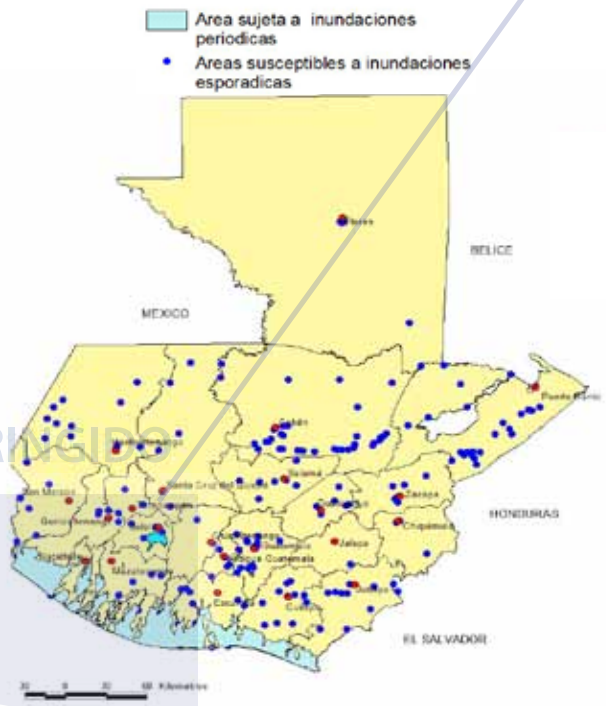
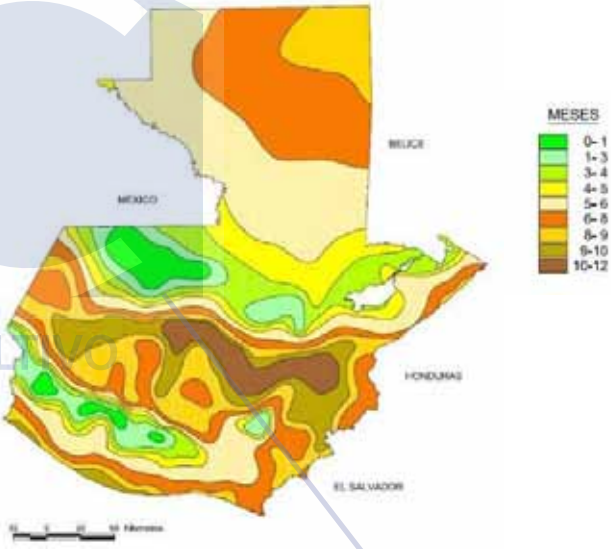


Figura 6. Grado de amenaza debido a la sequía



La política de desarrollo social y población contempla seis objetivos y 31 acciones para reducir los riesgos a desastres, que incluye el fortalecimiento de la administración pública y de las organizaciones sociales, planificar integralmente el ordenamiento territorial, fortalecer el manejo integral de los recursos naturales, fortalecer la capacidad de respuesta de la población vulnerable, mejorar la información acerca de las amenazas y promover una cultura de reducción del riesgo a desastres.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Finalmente, es importante resaltar la respuesta institucional del Estado en el tema de gestión del riesgo, ante los efectos de eventos hidrometeorológicos extraordinarios. Si bien leyes y políticas de gobierno favorecen la adopción de un sistema nacional de gestión del riesgo, en la práctica este sistema no ha sido integrado. La Coordinadora Nacional de Reducción de Desastres (CONRED), cuya naturaleza es eminentemente de Coordinación con atribuciones para declarar zonas de riesgo, es la encargada de aglutinar estos esfuerzos en todas sus etapas: prevención, atención, gestión y reconstrucción. En la realidad, su campo de acción se ha reducido únicamente a participar en los procesos de emergencia una vez han ocurrido los desastres, y como no tiene facultades para ejecutar, sus programas dependen de las demás entidades de gobierno y de la sociedad. Su capacidad de influencia es muy limitada, sus recursos financieros escasos o coyunturales, como la asignación post Stan, y por lo tanto no le ha sido posible desarrollar el conjunto de estudios para determinar a nivel local riesgos y amenazas y para recomendar las respectivas medidas de prevención, gestión y mitigación de desastres.

15. Legislación

A lo largo de la historia jurídica del país, la respuesta del Estado frente al tema jurídico y legal del agua ha evolucionado en respuesta a las necesidades específicas del país (leyes e instituciones sectoriales), pero ahora las realidades del país han cambiado, por lo que la legislación vigente resulta inadecuada. Es decir, ha regulado ciertos aspectos relativos a la propiedad, las servidumbres, el uso, aprovechamiento y protección de las aguas, sin incorporar al sistema jurídico nacional una ley especial, como lo dispone la Constitución (1985). La técnica legislativa ha sido la de incluir disposiciones en diversos textos legales. Entre las de jerarquía ordinaria más relevantes están las leyes descritas en el Cuadro 17.

La propiedad de las aguas en la legislación guatemalteca transita del sistema legal mixto, el cual reconoce propiedad pública y privada, hacia el sistema de propiedad pública de todas las aguas, según lo dispone el Artículo 127 de la Constitución (1985) . Este sistema ha sido adoptado desde mediados del Siglo XX por la mayoría de países occidentales, Inglaterra, Francia, Alemania, España, Italia, Sudáfrica, Chile, Argentina, Costa Rica, México, y casi la totalidad de estados de los Estados Unidos de América, entre otros. Históricamente, las constituciones fueron incorporando al dominio público diversas categorías de agua.

Paralelo al debate respecto a la propiedad de las aguas, surge el debate sobre los derechos adquiridos conforme la legislación civil y agraria, y cómo se deben regularizar los provenientes del derecho indígena, a todo lo cual el Estado no ha dado respuesta, así como al compromiso contenido en el Acuerdo para el Reasentamiento de las Comunidades Desarraigadas por el Conflicto Armado, de regularizar derechos de agua de esta población.

Los derechos de uso para fines de pesca, energía, minería e hidrocarburos son considerados por las leyes sectoriales como accesorios a un derecho principal —la minería, la pesca—, y el procedimiento para otorgarlos forma parte del derecho principal y, en todo caso, no se dan sin la existencia y coordinación entre unas y otras entidades públicas.

Otro tema legal relevante es la inoperancia de las servidumbres administrativas del agua contempladas en la legislación civil a favor de aprovechamientos domésticos y de riego, las cuales implican una gestión oficiosa del Estado, conforme la ley, totalmente abandonada, como antes se mencionó, a favor de un "mercado" de derechos de agua y servidumbres de paso sin observar regulación alguna y con no pocas prácticas eminentemente especulativas e inseguras. Sin un sistema efectivo de servidumbres será imposible transportar agua de lugares con superávit hacia aquéllos con déficit, y la demanda podrá ser satisfecha a costos por arriba del mercado si es que se pueden explotar aguas subterráneas, de lo contrario la oferta se irá restringiendo.

Por constituir el agua un elemento natural, móvil, con un comportamiento espacial y temporal, vulnerable ante fenómenos climáticos extremos, el ejercicio de los derechos de propiedad o de los derechos de aprovechamiento adquiridos y la previsión de satisfacer requerimientos futuros, se vincula más a la gestión integral de los usos respecto a una misma a fuente de agua, que al ejercicio en sí de un derecho de propiedad.

Por ello, adoptar medidas para regularizar derechos de agua conlleva paralelamente levantar censos de uso y organizar catastros e inventarios del agua. Como un balance contable, entrada y salida de agua en tiempos ordinarios y en situaciones extraordinarias. Tema complejo que requiere decisiones proporcionales a la magnitud de los beneficios que se esperan, si se quiere continúe el agua aportando a la economía y a mejorar las condiciones de calidad de vida, así como a reducir las causas de los conflictos de agua.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

La normativa civil de 1933 expresa el tema del aforo de caudales; el régimen de aguas y regadíos de la Ley de Transformación Agraria (1962) aborda el tema del censo de las aguas para fines agrarios; la anterior Ley del Organismo Ejecutivo (1945), en su reforma de 1970, facultaba al MAGA el inventariar los recursos hídricos vinculados con actividades agrícolas. Ninguna de estas instituciones cuenta hoy con actividad o programa alguno ni heredó a la administración pública sistema de gestión alguno. Es decir, aún no se ha implementado un programa sistemático nacional, regional o local de aforo de caudales de fuentes y censo de aprovechamientos y problemas, y ninguna actividad gubernamental vincula los derechos de propiedad o de aprovechamiento de aguas públicas y los aprovechamientos privados del agua con la real disponibilidad del recurso, y como resultado la administración pública no cuenta con herramientas para una gestión apropiada del agua. Lo indicado anteriormente, ciertamente pone en riesgo las inversiones, inhibe la transacción de derechos de aprovechamiento y ocasiona conflictos entre usos competitivos del agua.

El régimen penal introduce una serie de figuras delictivas para proteger la integridad del patrimonio hídrico, así como para proteger servicios y obras de interés público; e igualmente, el régimen civil, procesos para proteger usos existentes de obras nuevas o peligrosas.

Finalmente, es importante indicar que el estado de Guatemala aprueba y ratifica un conjunto de convenios relativos al Derecho del Mar, entre éstos los que regulan las normas de rumbo y gobierno en aguas navegables, así como las responsabilidades ambientales de las instalaciones portuarias; y otros relacionados con temas ambientales, entre los cuales resalta el Convenio de Cartagena relativo al Desarrollo del Mar Caribe, el cual, entre otros, obliga a los estados a disponer normas y acciones para prevenir la contaminación de las aguas por fuente terrestre.

Finalmente, es importante resaltar que el Estado se preocupa de manera muy especial por introducir normas para administrar las minas, el petróleo, el bosque (1870) y las áreas protegidas, considerando estos dos últimos regímenes clave para regular las funciones del ciclo hidrológico, y las políticas derivadas de éstos efectivamente incluyen programas para organizar el pago por servicios ambientales, pero hasta la fecha no ha sido capaz de ordenar legalmente la administración de las aguas en detrimento tanto del interés público como del ejercicio de los derechos individuales.

El tema central de la legislación del agua es contar con un sistema capaz de garantizar y balancear, por un lado, el acceso y el aprovechamiento del agua para fines sociales y productivos, y por el otro, disponer medidas a favor de la protección del recurso y, con ello, lograr abasto seguro e indefinido del mayor número de demandas.

El régimen legal de las aguas se caracteriza por estar compuesto por un conjunto de normas contenidas en un buen número de leyes, que a diferentes niveles jerárquicos, abordan algunos temas de la gestión del agua, y por un conjunto de prácticas y costumbres que la sociedad guatemalteca ha ido construyendo. El régimen legal se fundamenta en valores y principios del Siglo XIX, y el institucional avanza de la centralización a la descentralización y participación ciudadana, junto con las políticas nacionales en esa materia, sin constituir realmente un sistema de gestión del agua.

El país no cuenta con ley de aguas ni con una autoridad en la materia, como sí sucede con el manejo de otros recursos naturales tales como el bosque, las áreas protegidas, las minas y los hidrocarburos, y la aplicación de la normativa relacionada existente es muy pobre. Por ejemplo, se cuenta con un régimen general para asignar derechos y definir prioridades, que no se aplica; en el registro de derechos de aprovechamiento existente no se encuentran inscritos ni

Cuadro 17. Legislación relacionada con el agua

Tema	Leyes
Propiedad y servidumbres	Constitución; Ley de expropiación, Ley de reservas territoriales del Estado, Código civil de 1963, y Código penal.
Uso común	Código civil de 1963.
Aprovechamiento	Constitución; Código civil de 1933*; Código municipal; Código de salud; Ley de transformación agraria; Ley de minería; Ley de hidrocarburos; Ley de pesca; Ley general de energía, y Ley orgánica del INGUAT.
Conservación	Constitución; Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente; Ley forestal, y Ley de áreas protegidas.

Fuente: MSPAS 2004, citado por SEGEPLAN, 2007
* Conforme el Artículo 124 transitorio del Código Civil de 1963, se dispone que mientras se promulga la nueva Ley de Agua de Dominio Público, quedan en vigor los capítulos II, III, IV y V del Título II y los capítulos II y III del Título VI del Código Civil, Decreto Legislativo 1932, de 1933.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

un 10% de los mismos, lo cual significa un alto grado de inseguridad en su ejercicio; y normas previstas en leyes de 1962 relativas al censo de usuarios y el catastro de aguas, hasta la fecha no han sido aplicadas.

La administración del recurso se expresa también en una diversidad de unidades administrativas o como parte de programas y proyectos específicos. Unas atribuciones están asignadas a los Ministerios de Estado y otras, a entes descentralizados y autónomos, cuya actividad principal es otra (agricultura, minería, servicios públicos, recursos naturales). Otras leyes organizan instituciones para el manejo de cuencas, con énfasis en la conservación de los recursos naturales, pero ninguna de estas unidades está legalmente facultada para ejercer las atribuciones básicas de la gestión integrada del agua (dirección, administración, regulación, otorgamiento de derechos, conservación).

Se han identificado al conjunto de actores relacionados con la gestión del agua, los cuales no cuentan con un espacio de diálogo estructurado para comunicar sus intereses, expectativas y preocupaciones debido a que sus objetivos son de distinta naturaleza. Este hecho, que no es ajeno en otros lugares del mundo, hace que la gestión del agua sea un sistema sumamente complejo y fragmentado, en donde los roles necesitan ser claramente definidos y diferenciados y la intervención del Estado debidamente delimitada.

Más de 50 propuestas para modernizar el régimen legal e institucional del agua han sido presentadas durante los últimos 20 años pero ninguna ha logrado impactos institucionales significativos. Por lo tanto, para aprovechar las oportunidades y abordar los retos planteados por el agua es necesario transitar de la administración sectorial hacia la integral, a un nivel de administración caracterizado inicial y principalmente por mecanismos de coordinación de planificación y presupuesto que permitan potenciar los esfuerzos actuales, para luego avanzar en la implementación de acciones propias de la gestión integrada del agua.

16. Conflictos

La administración actual del recurso hídrico refleja crisis institucional tanto dentro del sector gubernamental, dispersión de acciones, vacíos, permanente creación de instancias temporales, descoordinación programática y presupuestaria, así como por hechos concretos en contra o a favor de medidas gubernamentales relacionadas con los usos del agua (Hidroeléctrica Río Hondo, Mina Marlín, Riego en Ocosito, y varios conflictos por acceso a fuentes de agua para abastecimiento humano en todo el país, entre otros). La realidad de la participación de los distintos actores en la gestión del recurso hídrico es variada, tanto desde la perspectiva legal como funcional; la institucionalidad ha pasado desde cuando el estado lo hacía todo, a la que hacía menos, y ahora se están revalorizando algunas de las funciones que fueron debilitadas.

En todo el continente, los conflictos mineros frecuentemente han tenido como epicentro una fuente de agua. La minería en Guatemala es un tema de conflicto social que cada vez va tomando más auge. Según García, ex viceministro de Energía y Minas de Guatemala, en el 2005 ya se tenían entre exploradas y explotadas casi 400 minas, actividad que viene funcionando desde el año 1630.

A pesar de que los resultados de los estudios ambientales aseguren que la explotación de minas ocasionan un mínimo impacto al ambiente y socioeconómico, la realidad es que algunas comunidades se oponen por la contaminación (uso de químicos, como el ácido sulfúrico y cianuro que se emplean para separar los minerales, cuya presencia en el agua no es posible de tratar aún en los embalses de cola) y por el consumo de agua en zonas de escasez (puesto que el agua que debería de regresar se evapora debido a las altas temperaturas a las que se encuentra después del proceso). De los tipos de explotación que existen, la de cielo abierto es la que podría generar mayores impactos potenciales al ambiente y es la más común en el país. La iglesia católica se opone a estas actividades, ya que trata de defender a las comunidades que han sido afectadas o corren el riesgo de estarlo.

En los alrededores del Lago de Izabal se realizaron operaciones mineras en el pasado (años 70). Actualmente esta actividad se ha reactivado y la Asociación Estoreña para el Desarrollo Integral (AEPDI) teme por el contrato 2009-2012 de extracción de níquel y oro, que además permite a la compañía usar cierta cantidad de agua del lago, hechos que han desatado conflictos desde su conocimiento y presentados recientemente en el Foro Social de Las Américas.
Debido a la escasez del recurso hídrico en algunos lugares del país, comunidades han acordado no vender nacimientos de agua a otras comunidades, medida interna no respetada por algunas de las autoridades, creando conflicto por su manejo. El abastecimiento de agua potable de algunos de los principales centros urbanos motiva conflictos de uso con el riego en las regiones del altiplano (caso del

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

acueducto Xayá Pixcayá), y en las áreas costeras entre los grandes y pequeños usuarios del riego que utilizan una misma fuente.

El estudio de caso de la cuenca del Río Naranjo en la vertiente del Pacífico del país reportó un hallazgo relevante pues permitió determinar que en la parte alta de la cuenca ya se entró a una fase de estrés hídrico, ya que hay una disponibilidad menor de 1,000 m^3/persona/año, y ya ha provocado como consecuencia conflictos en el acceso al recurso entre comunidades y entre particulares. Además, en la cuenca del río Naranjo se presentan problemas de contaminación, ya que la mayor parte de la población se encuentra en la parte alta, y por lo tanto la calidad del agua se deteriora desde su nacimiento, y luego en la parte media y baja se agregan descargas agroindustriales. En la parte baja, las inundaciones que ocurren todos los años a finales de la época de lluvias afectan la seguridad y los bienes de las personas ubicadas en las planicies.

Según la FAO, casi el 50% de nuestras aguas superficiales tributan hacia México, con quien se tiene tratados limítrofes de recursos hídricos y comisiones de límites y aguas, mas no de aprovechamiento de aguas compartidas. Por lo que las cancillerías de ambos países se comprometieron a establecer un acuerdo internacional de aguas para el 2009, a raíz de un problema fronterizo entre San Marcos y Unión Juárez en el 2007.

17. Gobernabilidad

Evidencia empírica señala posiciones encontradas y firmes de grupos de interés importantes en relación a quién es el propietario de las aguas, cómo se asignan los derechos de aprovechamiento y quién y cómo asume las externalidades, posiciones que no siempre son coherentes con las normas constitucionales y legales vigentes.

De igual forma, la institucionalidad pública se ve afectada por la visión sectorial de los usos únicos, la ausencia de coordinación a nivel central y por posiciones municipales y sociales contrarias a las decisiones del gobierno en cuanto al destino del uso de las aguas, tal el caso de las hidroeléctricas con participación privada.

Por lo tanto, para avanzar hacia la gobernabilidad eficaz del agua, la propuesta de política recomienda construir pactos sociales mediante los cuales se distribuyan los beneficios y costos de su aprovechamiento que luego puedan traducirse en herramientas de política pública y en nuevos arreglos legales e institucionales, así como rescatar prácticas sociales exitosas de diversas características.

Varias de las políticas públicas vigentes consideran el agua con enfoque sectorial o de conservación del bosque y del ambiente. En el primer caso se refieren a ciertos usos y en el segundo a la recarga de agua. La Política Ambiental se refiere a un conjunto de medidas de protección de la calidad del agua, asociadas con el inventario de las aguas y otras acciones a favor de la GIRH. Entre otros, los compromisos de los Acuerdos de Paz definen la necesidad de regularizar los derechos de aprovechamiento del agua de las poblaciones desarraigadas. La Política Forestal expresamente comprende acciones para la recarga de mantos acuíferos y protección de cabeceras de cuenca, y la de áreas protegidas, el pago por servicios ambientales. La Política de Desarrollo Social y Población se refiere a los sistemas de gestión de riesgo por amenazas hídricas, y la de desarrollo rural considera importante introducir o mejorar los servicios de agua y saneamiento, y propone la figura del pago por servicios ambientales por regulación del ciclo hidrológico.

Si bien estas políticas se refieren de manera secundaria a algunos de los temas de la gestión integral del agua, no expresan medida estratégica alguna para asegurar la participación del agua en el cumplimiento de sus objetivos y metas temáticos, sectoriales o territoriales, y carecen de mecanismos de coordinación entre sí. Estas políticas sencillamente asumen que habrá agua para satisfacer las necesidades por ellas planteadas.

Por lo tanto, la propuesta de Política Pública pretende construir puentes para armonizar las acciones temáticas y sectoriales planteadas y darle identidad propia al agua dentro del proceso del desarrollo nacional, a través de la institucionalización de mecanismos de coordinación de la gestión integrada del agua, dentro del marco de la Política y la Estrategia.

18. Escenarios debidos a cambios globales

El calentamiento global y el incremento de la temperatura de los océanos generan las condiciones necesarias para que el fenómeno de El Niño sea más frecuente y,

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

como consecuencia, se produce en el país una alteración del patrón normal de lluvias, acompañado por una disminución de la lluvia capaz de producir importantes sequías, especialmente después de haber desaparecido.

Conforme información disponible, la tendencia actual del clima es hacia el calentamiento, lo cual tiene efectos directos sobre el comportamiento de los eventos hídricos capaces de causar desastres. Debido a una mayor temperatura, las condiciones térmicas del agua de mar, necesarias para el desarrollo de ciclones tropicales, se alcanza con mayor frecuencia, por lo que se estima que el número, magnitud e intensidad de los ciclones tropicales será mayor, como de hecho se ha experimentado durante los últimos años, con una elevada actividad ciclónica, siendo la temporada del 2005 la más activa de que se tiene información.

19. Agua, cultura y religión

La cultura maya, a lo largo de los siglos, ha defendido la naturaleza desde el punto de vista sagrado. La relación que tienen con el medio en que viven es armónica y le atribuyen vida a todo, incluyendo al agua. En su cosmovisión, la esfera del centro (Ukux) es el corazón del cielo, de la tierra, donde se concentra y genera la energía vital, y el elemento agua, dirigida al sur (de los cuatro puntos cardinales), representa al cuerpo emocional. Uno de los cuatro seres elementales que interactúan en las ceremonias (deidades y fuerzas, Kaculjas) son las ondinas o energías del agua (Cips Kaculjas). Dentro de los 20 nawales (glifos que componen el Chol Q´ij, calendario sagrado, base de su espiritualidad y guía para el desarrollo de la vida), se encuentra Imox, representado por el lagarto, que es principio del origen del agua; es el lado izquierdo, la capacidad de romper con las estructuras rígidas y los patrones establecidos. El lagarto, como símbolo dentro del universo maya, sostiene el mundo en su espalda y de él depende que la lluvia llegue a tiempo.

La concepción del mundo para los mayas, consiste en el mantenimiento del equilibrio total, lo que implica una permanente preocupación por el entorno, las circunstancias y la naturaleza de cada ente del todo. El agua, considerada espíritu divino, es respetada como uno de los elementos formantes del hombre, por lo tanto merecedor también de benevolencia e identificación. Donde antes de nacer se dialoga con los ríos y lagos; con frecuencia, se conoce el canto del riachuelo, el murmullo de arroyo, el silencio de los pozos, la bravura de la lluvia torrencial.

Víctor Chaicoj (sacerdote maya) cuenta que cada año los ancianos se organizan para ir a pedir la lluvia en los cerros, van de noche y llevan regalos, comida y bebidas. Es el mejor lugar para dialogar con el espíritu del cerro, del aire, del fuego y del agua, para que posibiliten la lluvia, con el fin de pedir por la vida de todos los seres que dependen del agua.

La religión maya es politeísta: sus dioses son los elementos (como el del agua), fenómenos atmosféricos y los cuerpos celestes; además es dualista, parten del principio de que el bien y el mal son igualmente divinos, se mantienen en constante lucha (lo que afecta el destino de la humanidad) y son inseparables.

PARA USO RESTRINGIDO

Los dioses benévolos producen, por ejemplo, la lluvia (cuyo dios es Chaac, el de mayor ascendencia popular al ser, por extensión, dios de la fertilidad y de la agricultura), mientras que a los malévolos, se les atribuye el hambre y la miseria causadas por los huracanes y sequías (Ixchel, diosa de las inundaciones y otros desastres).

En el Popol Vuh (libro sagrado de los mayas) se dice que al principio de los tiempos solo existía silencio y quietud, de donde sólo emergían el cielo y el agua (considerado el origen de la vida). Un día, los dioses creadores, Gukumatz y Huracán, hicieron aparecer la Tierra y la revistieron de ríos, selvas y praderas, que llenaron con multitud de animales. Luego crearon criaturas poco inteligentes, sin sentimientos, que los ignoraban; éstos, molestos, los ahogaron bajo diluvios de agua. También, dentro de su concepción del mundo, creen que, antes de existir el mundo, había otros, todos destruidos por el diluvio.

FORO CONSULTIVO

Según su religión, después de la muerte el alma emprende un camino a Xibalbá (mundo subterráneo o inframundo), donde debe atravesar un río ayudado de un perro, el xoloitzcuintle, lo cual se puede entender como representaciones del viaje espectral.

Los mayas tienen un calendario para festejos y ceremonias. Entre ellas se practica al Ch'a Chaak, encabezada por el H-men (especie de chamán) para invocar a los chaques (ayudantes del dios de la lluvia) cuando la temporada de lluvias se retrasa.

Entre las purificaciones a las que se someten los oficiantes y participantes de las ceremonias están los baños de vapor de agua (también usados por los jugadores de pelota, ya que influía en su capacidad física; para limpiar enfermedades y dolores musculares; muy usado donde hay esca-

sez de agua; así como por mujeres embarazadas cercanas al momento del parto), lo que les permite alcanzar el estado corporal y anímico conveniente para afrontar los actos del ritual.

El agua es sagrada en la religión maya, porque el cuerpo del ser humano, al igual que en el de los animales y plantas, se tiene un mayor porcentaje de agua que materia, si es contaminada, es una muerte lenta. El agua es elemental para elaborar bebidas utilizadas en las ceremonias, como el balché, bebida alcohólica fermentada, hecha con la corteza del árbol balché, agua y miel; el sakab, de maíz y miel (otras variantes son el pozole, atole y pinole).

Históricamente, los pueblos indígenas han sido objeto de despojo de todo tipo, incluyendo de su patrimonio cultural y natural. Ven el mundo occidental como una amenaza, dado las sobreexplotaciones que hacen de los recursos y el mal desarrollo que se está llevando a cabo. Persistentemente tienen un clima de corrupción, impunidad y falta de una verdadera democracia, tanto al nivel nacional como mundial. Los mayas consideran que si la filantropía internacional se diera, los productores de nuestros alimentos tendrían más vida, estabilidad y desarrollo, tomando en cuenta la importancia del agua.

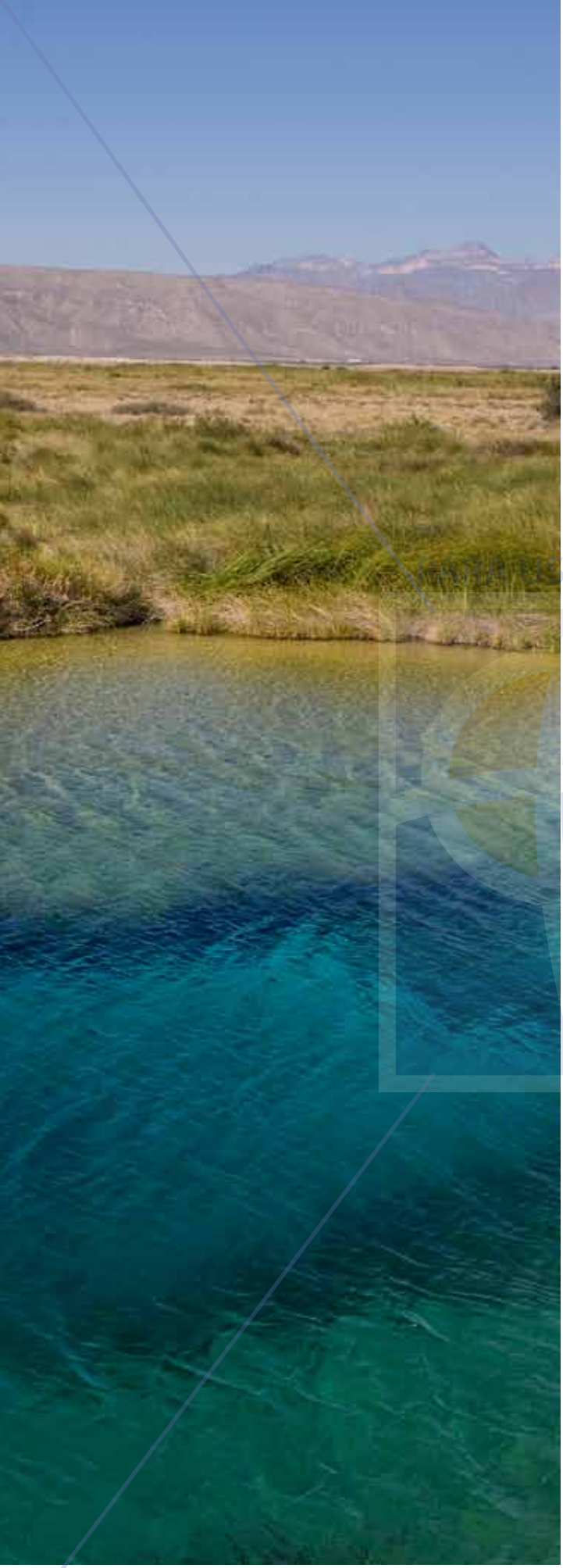
Generalmente las comunidades se benefician de manera directa de los recursos hídricos; sin embargo, no existe ninguna política oficial o central que regule este uso. Lo que existe es el manejo de estos recursos, entre otros, por los indígenas de manera milenaria, de acuerdo con códigos propios. La legislación vigente, así como la mayoría de la población ladina, no reconoce sus prácticas de protección, uso y administración del agua como normas legales.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

20. Referencias

1. Aqua Vitae (2008): "Agua desde la cosmovisión maya". www.aquavitae.com
2. Centro de Acción para el Desarrollo y el Derecho (2006): "Exigimos el cierre de la mina Marlin en San Marcos, Guatemala". Comunicados de organizaciones sobre minería.
3. Chaicoj, V. (2008): "El ser humano en la cosmovisión maya". Comunidad de comunidades nuestra señora de Guadalupe.
4. CONRED (2001): "Mapa de amenaza por inundación para la República de Guatemala". www.atlas.snet.gob.sv
5. Cultura solar (2007): "Cosmovisión maya". www.culturasolar.org
6. De la Garza, M. y Nájera C., M. (2002): Religión maya. Madrid, Editorial Trotta.
7. MAGA, UPIE, Laboratorio de SIG (2001): "Mapa de cuencas hidrográficas de la República de Guatemala".
8. Oilwatch Mesoamérica (2008): "La cosmovisión maya, como nueva estrategia para la conquista Q'eqchi'". www.deguate.com
9. Melgar, E. (2001): "El mar entre los mayas prehispánicos: cualidad de las aguas y su simbolismo". Derroteros de la Mar del Sur. Año 9, No. 9. www.derroteros.perucultural.org.pe
10. Nabsas, N. (2005): "Conocer a los mayas". www.nocturnabsas.com.ar
11. Piñeyro, N. (2005): "Agua y semiótica". Revista POLIS 11.
12. Rivera D., M. (1991): "La religión maya en un solo lugar". Universidad Complutense de Madrid. Revista Española de Antropología Americana, No. 21, pp. 53-76. Editorial Universidad Complutense, Madrid.
13. San Cristóbal Verapaz (2005): "Cultura e historia del municipio de San Cristóbal Verapaz y la gente pokomchi". www.sancrisav.net
14. Sandoval, M. A. (2001): "Las aguas de Totonicapán". Estudio de Caso. Manejo integrado de los recursos hídricos. CATAC.
15. SEGEPLAN (2007): "Diagnóstico y Estrategia para la gestión integrada de los recursos hídricos de Guatemala". Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia con apoyo del Banco Internacional de Desarrollo.
16. Sendero, P. (2008): "La religión maya".
17. Servicio de Información Municipal (2008): "Cultura del municipio Santo Tomás Chichicastenango, Quiché". www.inforpressca.com/municipal

Área de Protección de la Flora y Fauna Cuatro Ciénegas, Coahuila, México



Los recursos hídricos en México

Situación y perspectivas

Ma. Luisa Torregrosa[1]
Coordinadora

Ramón Domínguez Mora[2], Blanca Jiménez Cisneros[2], Edith Kauffer Michel[3], Polioptro Martínez Austria[4], José Luis Montesillo Cedillo[5], Jacinta Palerm Viqueira[6], Adolfo Román Calleros[7], Laura C. Ruelas Monjardín[8], Emma Zapata Martelo[9]

[1]Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales sede México.
[2]Instituto de Ingeniería, UNAM.
[3]Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, CIESAS-Sureste.
[4]Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
[5]Instituto de Estudios sobre la Universidad, UAEM.
[6]Colegio de Postgraduados.
[7]Instituto de Investigaciones Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California.
[8]El Colegio de Veracruz.
[9]Colegio de Posgraduados, Programa de Desarrollo Rural.

UNAM. NO RESTRINGIDO
CONSULTIVO

1. Introducción

El objetivo del texto es presentar en forma sucinta el estado de los recursos hídricos de México, los principales retos y las limitaciones y posibilidades para su buen aprovechamiento.

2. Datos generales del país

México es el décimo país más poblado del mundo con casi 107 millones de personas. La tasa anual de crecimiento poblacional es de 1.4%; 75% de su población habita en zonas urbanas, y el resto se asienta en zonas rurales en 184,748 localidades con menos de 2,500 habitantes (Cuadro 1). Por su extensión de 1,972.5 millones de km^2, México ocupa el lugar 15 en el mundo. Su organización política es de República Federal y está conformado por 2,438 municipios, 31 estados y un Distrito Federal.

3. Antecedentes históricos

La administración actual de los recursos hídricos de México es producto de su evolución histórica. Las altas culturas prehispánicas tuvieron como base económica la agricultura de riego. En la Nueva España las aguas eran públicas, es decir, para su uso se requería de merced o concesión. La administración del agua era, sin embargo, asunto local. En el siglo XIX, con la Ley Lerdo, se genera un fuerte despojo de las tierras y aguas de las comunidades, así como su concentración en manos de unos cuantos propietarios. La ley agraria de 1915, base del reparto agrario, regresa y dota de tierras, aguas y montes a las comunidades.

Hacia fines del siglo XIX e incluso al inicio del período posrevolucionario, el gobierno inicia un proceso para centralizar el manejo del agua, para lo cual primero tiene que conocer la situación del recurso y construir instituciones. Entre los años 1950 a 1990, junto con el desarrollo del país, se inicia un intenso aprovechamiento del agua basado en la ley de irrigación de 1926. Lo anterior produce la construcción de numerosas obras hidráulicas de gran envergadura para regular los ríos y perforar pozos profundos que conducen ambos, en muchos casos, a la sobreexplotación de ríos y acuíferos y al desecamiento de lagos, en particular en el centro y norte del país donde a la par florecen la agricultura, la industria y las ciudades. En 1983 se realiza una reforma del gobierno para propiciar la descentralización del manejo de los recursos hídricos, y la federación devuelve a los municipios la responsabilidad de prestar los servicios de agua y saneamiento. Sin embargo, la reforma no considera que las comunidades ya administraban sus aguas, lo que propicia el enfrentamiento entre cabeceras municipales y comunidades. En 1989, con la creación de la Comisión Nacional del Agua, CONAGUA, la política de descentralización se extiende a los Distritos de Riego. Se emite una nueva ley de aguas nacionales en 1992, y la CONAGUA inicia los mercados de agua y promueve la inversión privada en los servicios de agua e incluso para la construcción de infraestructura como las presas hidroeléctricas (Aboites *et al.*, 2010). En este proceso descentralizador, sin embargo, se olvidan que cerca de la mitad de las aguas para riego ya eran administradas por los propios usuarios. En 2004 hubo una reforma a la Ley de Aguas Nacionales (LAN), que si bien no cambió muchos principios, sí modificó la forma de operar del gobierno.

4. Disponibilidad

4.1 Distribución pluvial

La precipitación promedio anual es de 775 mm (Figura 1), equivalente a 47,980 m^3/s (CONAGUA, 2008). De esta cantidad, 72% se evapotranspira, 26% escurre superficialmente y sólo 2% se emplea. Además, México recibe de Estados Unidos y Guatemala 1,586 m^3/s, y envía a Estados Unidos cerca de 14 m^3/s con base en el Tratado Internacional de Aguas de 1944. La recarga de los acuíferos en el país asciende a 2,471 m^3/s, y de ellos se extrae para su uso 889 m^3/s. El 77% del agua se utiliza para la agricultura, 14% para abastecimiento público, 5% para generación de energía en plantas termoeléctricas y 4% para la industria autoabastecida. Sin embargo, existen tres características que limitan este aprovechamiento (Arreguín *et al.*, 2010):

a. La distribución temporal, pues la lluvia ocurre casi siempre durante el verano (de junio a septiembre), mientras que el resto del año es relativamente seco.
a. La distribución espacial de la precipitación, ya que en el estado de Tabasco, por ejemplo, cae una cantidad trece veces mayor que la que ocurre en Baja California Sur (2,095 mm vs. 160 mm).

Tabla 1. Localidades en México y su población

Número de habitantes	Localidades	% localidades	% población
< 2500	184,748	98.30%	23.5%
2500 - 15,000	2,640	1.40%	13.7%
15,000 - 100,000	427	0.23%	13.9%
100,000 - 1'000,000	112	0.05%	34.6%
> 1'000,000	11	0.01%	14.3%
Total	**187,938**		

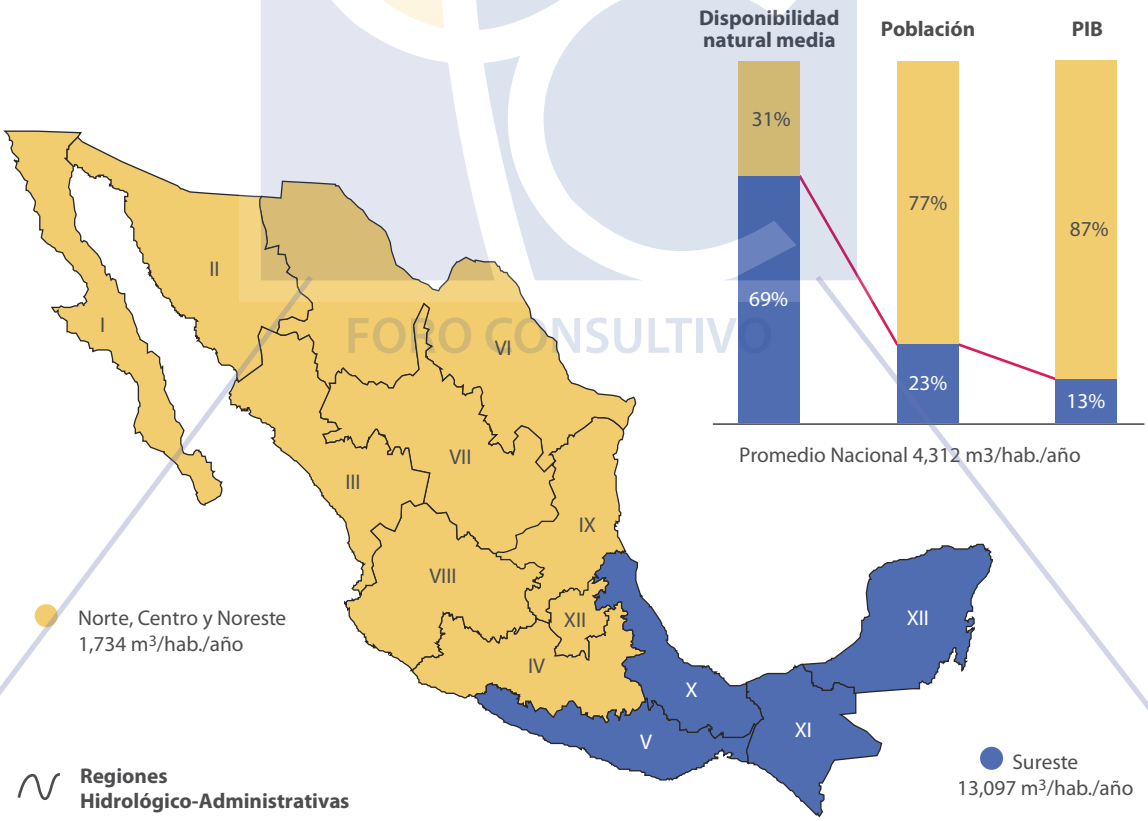
Nota: "Urbano", conforme a INEGI, se refiere a los poblados mayores de 2,500 habitantes.
Fuente: INEGI, 2005

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 1. Distribución de la precipitación pluvial

Fuente: CONAGUA, 2008

Figura 2. Escenario de la calidad del agua en México 2007



Fuente: CONAGUA, 2008

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

a. La distribución de la población sobre el territorio nacional, pues mientras en las zonas norte, centro y noroeste del país se concentra 77% de la población y se genera 87% del Producto Interno Bruto, apenas se tiene 31% de la disponibilidad natural de agua del país (Figura 2).

4.2 Agua subterránea

El agua subterránea se usa para el riego de 2 millones de hectáreas (un tercio de la superficie total bajo riego) y cubre 50% de la demanda de la industria, el suministro de 70% de las ciudades y el de casi toda la población rural. A pesar de su importancia, de 32 acuíferos sobreexplotados en 1975 se pasó a 104 en 2006. La relevancia de este centenar de acuíferos, que representa menos de 20% del total del país, es que suministran cerca de 80% del volumen total de agua extraída del subsuelo. Los casos críticos se presentan en estados del centro y norte de la República Mexicana, en particular en la cuenca del río Lerma (Guanajuato y Querétaro); en la región de La Laguna (Coahuila-Durango); en la península de Baja California; en Aguascalientes, Chihuahua, Sonora y el Valle de México. Se estima que varios de estos acuíferos han perdido entre 20 y 25% de su reserva original, y que el valor de minado es de 171 m^3/s que equivalen a casi 50% del volumen de agua empleado para abastecimiento público en el país (Sandoval, 2010).

La Figura 3a muestra la intensidad con la cual se usa el agua subterránea por estado y en la Figura 3b se indica dónde están los acuíferos sobreexplotados. Se estima que cerca de 40 millones de habitantes dependen de acuíferos sobreexplotados que están distribuidos como sigue: 35.3 millones asentados en localidades urbanas y 4.7 millones en localidades rurales.

Entre los problemas que destacan en el inadecuado manejo de los acuíferos están (Moreno *et al.*, 2010):

- La falta de información pública, la escasa medición de la extracción y que aun cuando haya medición en una tercera parte de los pozos la extracción sea, con frecuencia, mayor a la permitida.
- La falta de programas prácticos para el control de su sobreexplotación.
- El que 20 acuíferos sobreexplotados estén en zonas de "libre alumbramiento" o que no tengan ninguna categoría de veda. Muchos de ellos están en las zonas críticas de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango y San Luis Potosí (Figura 4).

El abatimiento de los niveles del agua subterránea trae como consecuencia la desaparición de manantiales, vegetación nativa, humedales, ríos, lagos y ecosistemas locales, además de que disminuye el gasto y rendimiento de los ríos, lagos y pozos que alimenta. Por otra parte, incrementa el costo de extracción; deteriora la calidad; promueve la intrusión del agua de mar en acuíferos costeros y la salación en acuíferos internos, y provoca el asentamiento diferencial y agrietamiento del suelo (Moreno *et al.*, 2010). Asimismo afecta, sin que exista compensación alguna, a concesionarios de aguas superficiales.

5. Usos

PARA USO RESTRINGIDO

El uso consuntivo del agua en México se clasifica en:

- Agrícola, el cual incluye además el pecuario y el acuícola.
- Abastecimiento público para uso doméstico y público urbano.
- Industrial bajo la modalidad de industria autoabastecida y que incluye a parte de la industria, los usos agroindustrial, servicios y comercio.
- Termoeléctrico para plantas generadoras de electricidad que no son hidroeléctricas.

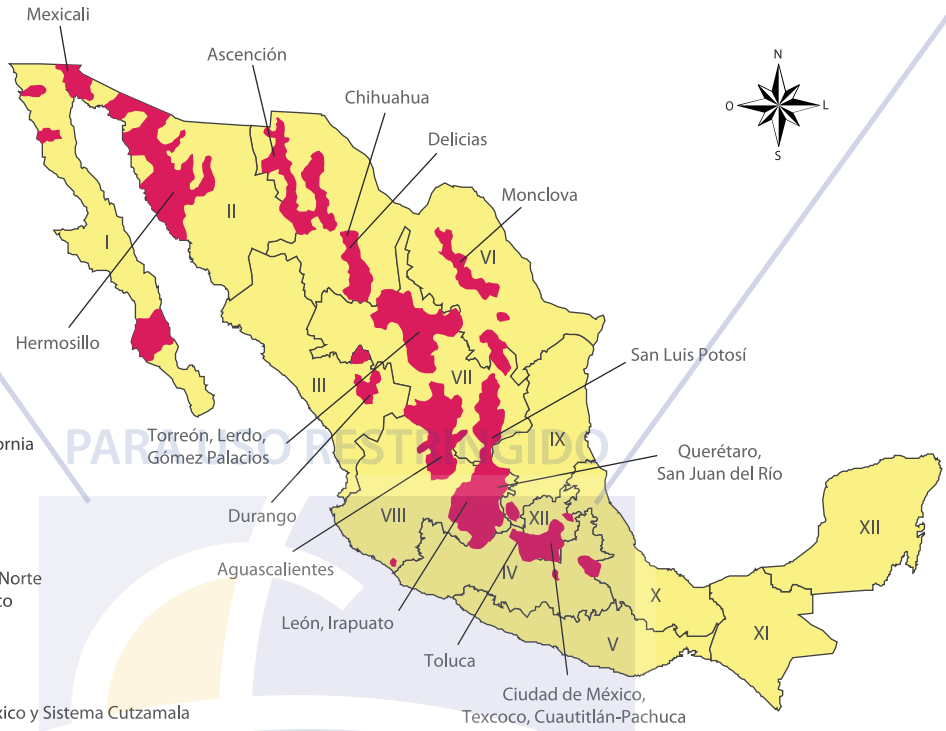
5.1 Uso urbano

5.1.1 Situación general

En México existen 3,190 localidades urbanas, es decir, con más de 2,500 habitantes, en donde vive 76.5% de la población (Figura 5). Resalta la existencia de 11 ciudades con más de un millón de habitantes: se trata de ciudades que alojan a uno de cada siete mexicanos (Sandoval, 2010). En general, estas urbes tienen más posibilidades de obtener ingresos económicos por el agua, ya sea porque cuentan con sistemas tarifarios estables –como la zona metropolitana de Monterrey o las ciudades de Tijuana, Querétaro o León–, o bien porque su influencia política les permite acceder a subsidios cuantiosos y en condiciones excepcionales para financiar la ejecución de obras de infraestructura de grandes dimensiones, como es el caso de la Ciudad de México. Ejemplo de estas obras son las que actualmente se realizan para ampliar el abastecimiento y sanear las aguas en las áreas metropolitanas de México y Guadalajara, cuyos esquemas tarifarios son deficitarios (Sandoval, 2010). Además hay 112 ciudades que van de 100,000 mil a un millón de habitantes que alojan a la tercera parte de la población del país y presentan niveles de desempeño técnico y financiero muy variables, aunque en general deficientes.

FORO CONSULTIVO

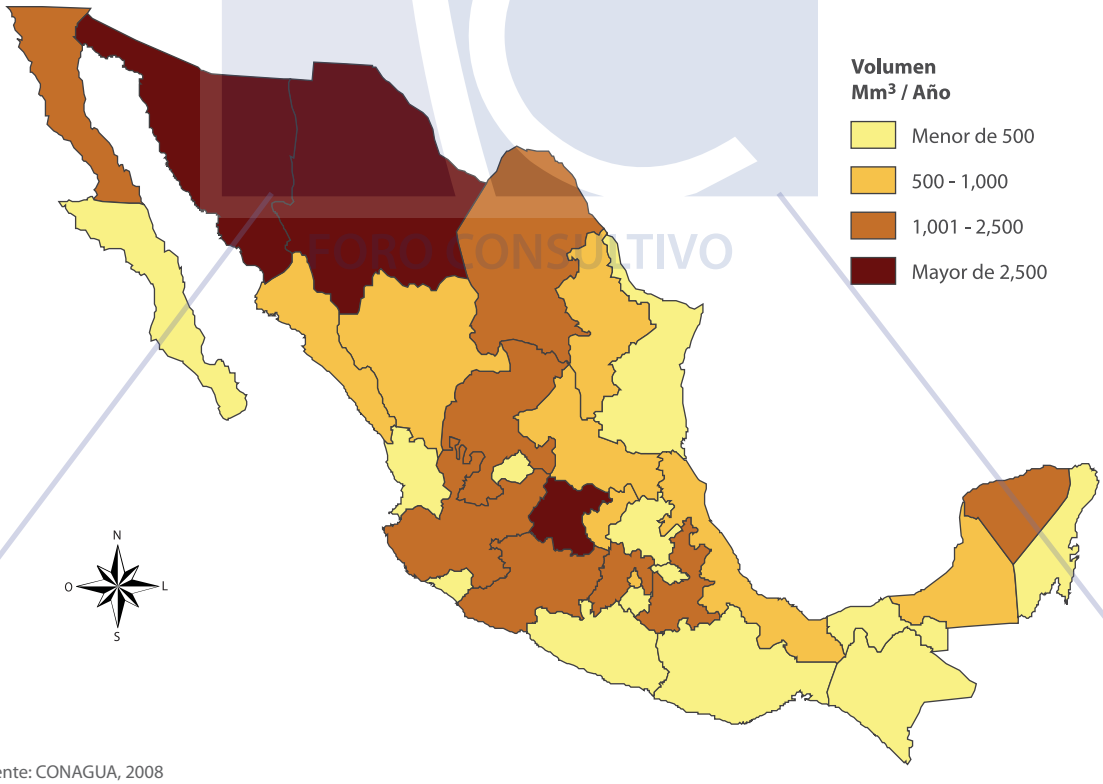
Figura 3a. Intensidad del uso del agua subterránea, acuíferos sobreexplotados



I. Península de Baja California
II. Noroeste
III. Pacífico Norte
IV. Balsas
V. Pacífico Sur
VI. Río Bravo
VII. Cuencas Centrales del Norte
VIII. Lerma-Santiago-Pacífico
IX. Golfo Norte
X. Golfo centro
XI. Frontera Sur
XII. Península de Yucatán
XIII. Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala

Fuente: CONAGUA, 2008

Figura 3b. Intensidad del uso del agua subterránea por estado



Fuente: CONAGUA, 2008

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Finalmente, las 3,067 localidades que tienen entre 2,501 y 99,999 habitantes constituyen 27.6% de la población y en su gran mayoría sufren numerosas limitaciones administrativas y técnicas (Sandoval, 2010).

La cobertura nacional de agua potable en 2005 era de 89.2%, la urbana de 94.3% y la rural de 76.8% (CONAGUA, 2005). Pero, en muchos casos, la distribución es por tandeo y la calidad del agua, es decir, la cloración, es problemática. Se recauda en promedio 76% de los volúmenes facturados y la tarifa media por m^3 no rebasa los 30 centavos de dólar, cantidad que está por debajo del promedio de los costos de operación (Sandoval, 2010). Por otra parte, menos de 40% de las aguas residuales generadas reciben tratamiento, lo que ocasiona que más de 75% de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) producida llegue a los cuerpos de agua y afecte su calidad como fuente de suministro. El abastecimiento de agua potable descansa de manera creciente en la extracción de agua subterránea, la cual representa ya 70% del abastecimiento urbano y 62% del industrial. El número de acuíferos sobreexplotados se ha triplicado en los últimos 30 años, y se estima que la extracción total rebasa en 20% su rendimiento promedio. Esta circunstancia amenaza claramente la sustentabilidad de un país cuya economía descansa, de manera creciente, en las actividades urbano-industriales (Sandoval, 2010).

5.1.2 Marco institucional

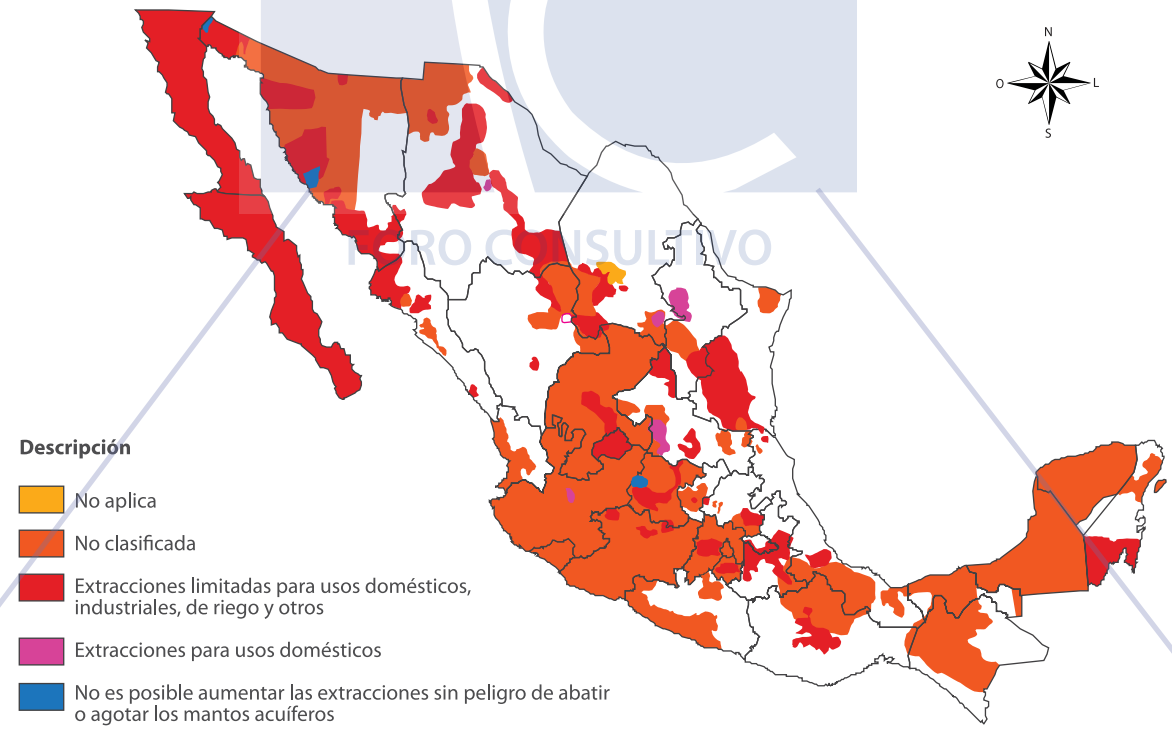
El marco institucional para la gestión del agua para las ciudades ha sido, en el curso del siglo XX, el siguiente (Sandoval, 2010):

- De mediados del siglo XIX hasta 1948, la prestación de los servicios estuvo a cargo de los ayuntamientos, en ocasiones apoyada en empresas privadas mediante una concesión.
- Entre 1948 y 1983 se realiza la centralización de los servicios para su control por parte del gobierno federal asentado en la Ciudad de México.
- De 1983 a 1989 de nuevo se transfiere la responsabilidad sobre los servicios de agua y saneamiento a los municipios.
- A partir de 1989, con la creación de la CONAGUA, se inicia una etapa denominada de modernización.

En 1989, la CONAGUA diagnosticó que los organismos operadores carecían de suficiente capacidad técnica y financiera para suministrar el servicio en forma adecuada (Pineda *et al.*, 2010). Para subsanar esta situación, propu-

PARA USO RESTRINGIDO
TEXTO CONSULTIVO

Figura 4. Zonas de veda de agua subterránea



Fuente: CONAGUA-SEMARNAT, 2008

so, por medio del Programa Nacional de Agua Potable y Alcantarillado, que los organismos:

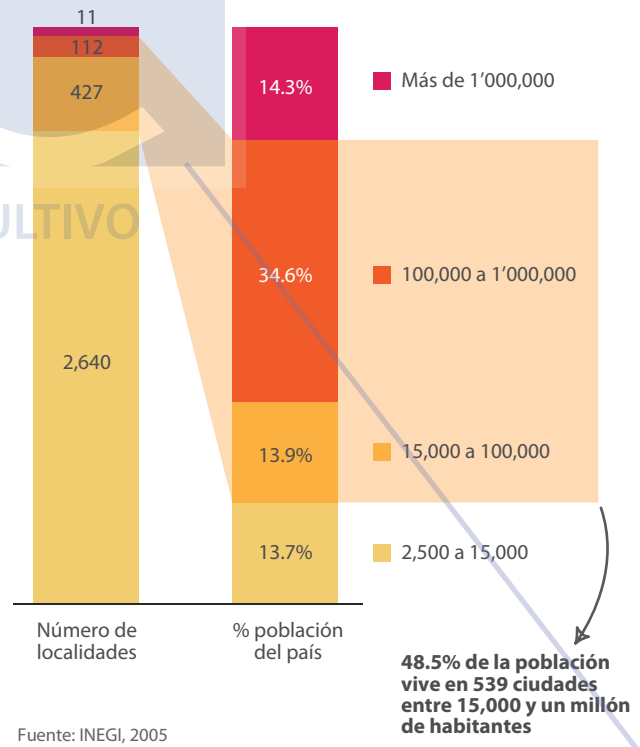
- Operaran como empresas descentralizadas.
- Contaran con consejos administrativos que entre otras cosas fijaran las tarifas.
- Usaran los recursos financieros captados exclusivamente para la provisión del servicio.
- Tuvieran autosuficiencia financiera así como una mayor capacidad técnica y administrativa.
- Usaran la participación ciudadana como palanca para mejorar los servicios.

Como resultado de estas propuestas, la mayoría de los gobiernos estatales promulgaron sus propias leyes de agua potable y alcantarillado, y para mediados de la década de los 90, los servicios de agua potable y de alcantarillado de 22 estados eran manejados por los municipios, aunque en los nueve restantes (Baja California, Durango, Jalisco, Nuevo León, Querétaro, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán) el manejo permaneció como responsabilidad estatal debido a que se consideró que la capacidad municipal no era la apropiada para suministrar el servicio (Pineda *et al.*, 2002).

Los organismos operadores del país poseen esquemas muy diversos. En algunas entidades federativas son descentralizados y los administran los municipios; en otros, son organismos intermunicipales de carácter estatal, y en otros más, son juntas o comisiones estatales que controlan la operación y el servicio domiciliarios en todo o casi todo el estado (Sandoval, 2010). La mayoría de los organismos optaron por seguir siendo públicos, y sólo en algunos casos excepcionales —como Aguascalientes y Cancún, los contratos de prestación de servicios en la Ciudad de México y Puebla y la empresa mixta de Saltillo— el servicio ha sido concesionado a empresas privadas (CONAGUA, 2003). No se ha logrado establecer el principio de que las tarifas sean aprobadas por consejos administrativos debido a que resoluciones judiciales establecen que el cobro del servicio del agua se tipifica fiscalmente como derecho y, por tanto, deben ser aprobadas por las legislaturas (Pineda, 2008). La designación de los directores de los organismos se hace cada tres años y con criterios políticos, por lo que existe una alta rotación del personal y éste no siempre cuenta con la preparación técnica apropiada.

La CONAGUA ha establecido varios programas para mejorar los servicios urbanos de agua como son el de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas (APAZU), el Programa de Devolución de Derechos (PRODDER) y el Programa de Modernización de Organismos Operadores de Agua (PROMAGUA). El APAZU sirve para construir y ampliar servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en localidades con más de 2,500 habitantes. Entre 2001 y 2005 se invirtieron en este programa 2,526 millones de pesos, con lo que se dio acceso a 426,000 personas al agua potable y a 348,000 al alcantarillado, y además se mejoraron los servicios de agua potable de 2.5 millones de habitantes y de alcantarillado de 3.2 millones de habitantes (CONAGUA, 2009). En promedio, esto representó una inversión de 390 pesos por persona. Por su parte, el PRODDER busca contribuir para mejorar la eficiencia y la infraestructura mediante la devolución a los organismos operadores del pago de derechos por el uso de aguas nacionales. En 2006 se devolvieron 1,495.8 millones de pesos; en 2007, 1,685 millones, y en 2008, un total de 1,941 millones de pesos (CONAGUA, 2009). El PROMAGUA busca apoyar a los organismos operadores de localidades con más de 50,000 habitantes para mejorar los servicios a través de la promoción de la participación de capital privado. Los proyectos susceptibles de recibir apoyo son: (a) los de mejora integral de la gestión con acciones encaminadas al incremento de eficiencias físicas y comerciales; (b) los de abastecimiento de agua; (c) los de saneamiento, y (d) los macroproyectos como acueductos y proyectos de saneamiento de gran envergadura. Se prevén tres modalidades

Figura 5. Distribución de la población urbana en México por tamaño de localidad



Fuente: INEGI, 2005

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 2. Inversión por programa y origen de los recursos, 2006 (millones de pesos)

Concepto/Fuente	Federal	Estatal	Municipal	Crédito/ Iniciativa privada/Otros	Total
APAZU	2,208.3	2,016.1	1,002.3	498.9	5,725.6
PRODDER	1,495.8	0.0	1,495.8	0.0	2,991.6
PROMAGUA	178.7	0.0	25.5	417.5	621.7

CONAGUA, 2009

de participación del sector privado: a través de un contrato de servicios parcial o integral, con la constitución de una empresa mixta, o bien mediante el otorgamiento de un título de concesión. La aportación máxima no recuperable que puede otorgar el PROMAGUA es de 49% en los macroproyectos y de 40% en los otros tres tipos de proyectos (CONAGUA y SEMARNAT, 2009).

Un aspecto que también limitó el desarrollo de los organismos operadores es el financiero. Para financiar los servicios de agua, la CONAGUA creó en 1992 la llamada "mezcla de recursos" con la cual el gobierno federal aporta parte del financiamiento, situación que aprovecha para orientar las prioridades de inversión y conservar cierto control sobre los aspectos técnicos. Ello ha dado lugar a un mecanismo de regulación virtual por vía inductiva de la programación de las acciones, de su diseño y construcción, así como, hasta cierto punto, de su desempeño operativo al existir la posibilidad de ligar el apoyo presupuestal al cumplimiento de especificaciones y condiciones determinadas por la autoridad federal. Cabe señalar que esta tendencia es nuevamente usada por el PRODDER, programa mediante el cual el gobierno federal restituye a los operadores los montos pagados por derechos de aprovechamiento de aguas nacionales condicionados a que ellos inviertan una cantidad adicional en una cartera de proyectos aprobada por la CONAGUA. Los avances de los tres programas se muestran en el Cuadro 2.

En lo que se refiere a los resultados de estos programas, la cobertura nacional de agua potable era de 89.6% en 2006 y pasó a 89.8% en 2007; para el alcantarillado, el avance respectivo fue de 86% a 86.1% y, por último, el tratamiento pasó de 36.1% a 38%. El avance ha sido en términos numéricos escaso y, además, no es claro si hay avances en la eficiencia del servicio ni tampoco en la participación privada en el sector (Pineda *et al.*, 2010), y menos aún en las bondades y beneficios de ello. Respecto del primer punto, sólo hay algunos datos para las 21 ciudades que se muestran en el Cuadro 3.

La situación de los pequeños poblados rurales es distinta, como ejidos o comunidades agrarias o simples pueblos que han administrado sus propias aguas. La centralización de las concesiones y de la administración del agua en las cabeceras municipales ha sido fuente de conflicto en todo el país, más aún cuando los municipios han favorecido a nuevos fraccionamientos.

Las comunidades han sido capaces de administrar su agua bajo esquemas de autogestión mediante la conformación de comités con participación honorífica. En comparación con la administración municipal y de organismo operador, funcionan en números negros, pagan la factura del consumo de energía eléctrica y mantienen bajas las cuotas. En contraposición, la administración municipal y de organismo operador mantiene nóminas abultadas, funciona en números rojos y subsidia el pago de la factura del consumo eléctrico con otros ingresos, además de que sus cuotas son más altas.

5.2 Uso agrícola

En los albores del siglo XX, los poderes Ejecutivo y Legislativo Federales optaron por refundar la nación con base en un modelo de desarrollo hidroagrícola (Palerm *et al.*, 2010). Al paso del tiempo, México dejó de ser un país predominantemente agrícola para iniciar un desarrollo industrial. Ese modelo de desarrollo hidroagrícola, vigente hasta la década de los 80, produjo 86 distritos de riego. La llamada "grande irrigación" cuenta con 561,368 usuarios que pueden regar un máximo de 3'265,589 hectáreas. Para ello, cuentan con aproximadamente 300,000 estructuras, 50,000 km de canales, 30,000 km de drenes y 70,000 km de caminos (Palerm *et al.*, 2010). Aun con estas cifras, en realidad no todos los distritos de riego son de "grande irrigación", ya que 36% de ellos tienen una superficie menor a 5,000 hectáreas ha y 32% de 5 a 20,000 hectáreas (Palerm *et al.*, 2009).

Paralelo a lo anterior, existen alrededor 2'956,032 hectáreas de riego denominadas de "pequeña irrigación" o, a partir de 1972, "unidades de riego" o "unidades de riego

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

Cuadro 3. Características de ciudades de más de 500,000 habitantes

Ciudad	Población con agua potable	Dotación l/hab./día	Eficiencia física	Consumo neto l/hab./día	Eficiencia comercial	Año de reporte
Acapulco	593,078	366	38%	139	87%	2005
Aguascalientes	659,701	340	56%	191	91%	2005
Cancún	567,963	283	79%	224	66%	2005
Ciudad de México	8'277,960	334	59%	197	78%	2006
Chihuahua	716,781	460	53%	244	89%	2006
Ciudad Juárez	1'310,302	413	59%	244	79%	2005
Culiacán	613,144	288	67%	194	88%	2007
Guadalajara*	3'408,488	231	68%	157	n. d.	2005
Hermosillo	688,112	400	47%	187	74%	2007
León	1'086,298	205	57%	117	70%	2005
Mérida	795,146	346	36%	125	92%	2007
Mexicali	718,516	325	83%	270	61%	2007
Monterrey*	3'459,121	275	70%	193	99%	2006
Morelia	587,823	452	40%	181	56%	2006
Puebla	1'733,393	183	68%	124	70%	2007
Querétaro	612,156	310	51%	158	100%	2007
Reynosa	536,587	294	64%	189	65%	2007
Saltillo	597,584	221	55%	221	n. d.	2004
San Luis Potosí	921,958	291	51%	150	88%	2007
Tijuana	1'486,800	191	81%	155	70%	2007
Torreón	557,203	307	51%	158	86%	2007
Máximo	**8'277,960**	**460**	**83%**	**270**	**100%**	
Mínimo	**536,587**	**183**	**36%**	**117**	**56%**	
Promedio	**1'425,148**	**310**	**59%**	**182**	**79%**	
Mediana	**716,781**	**307**	**57%**	**187**	**79%**	

*Zona metropolitana
Fuente: Pineda *et al.*, 2010

PARA USO RESTRINGIDO

para el desarrollo rural (URDERAL)". El gobierno ha dado poco seguimiento a estos espacios de riego, y mucho del seguimiento se perdió al desechar las instituciones que supervisaban el pequeño riego: las juntas de aguas por la Dirección General de Aprovechamientos Hidráulicos la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH); las URDERALES por los Centros de Apoyo al Desarrollo Rural (CADER) de los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) de la SARH, y las aguas de los ejidos y comunidades agrarias por la Secretaría de la Reforma Agraria. Por lo tanto, actualmente se tiene poca información oficial disponible acerca del número de usuarios, de superficies irrigadas, de patrones de cultivo y de las más elementales estadísticas de producción agrícola y volúmenes de agua utilizados. Aun así, se sabe que las "unidades de riego" producen más y con mayor rendimiento y productividad del agua que los distritos de riego (Cuadro 4). El último año de esta información es 2006, para el cual se tienen estadísticas de unidades de riego. Al igual que en el caso anterior, la denominación de "pequeño riego" no significa que realmente todo sea pequeño, ya que hay sistemas reportados de 10,000 hectáreas (Palerm *et al.*, 2009).

FUTRO CONSULTIVO

La producción de los distritos de riego se ha incrementado de 1990 a 2008 de 32 millones a 35 millones, sin que por ello aumente el área o el uso del agua. Para las unidades de riego se carece de este dato. Paralelo a este crecimiento, el volumen bruto del agua para riego —es decir, la extracción de agua que se hace con fines de riego desde la fuente de abastecimiento pero que incluye el volumen que se infiltra y evapora durante su conducción y distribución— ha permanecido relativamente constante e igual a 30,000 Mm^3. Esta mejor eficiencia se debe (Palerm *et al.*, 2010): a) a la conservación mejorada de las obras hidroagrícolas; b) al incremento en la eficiencia de las redes de conducción y distribución del agua, y c) al mejoramiento de las técnicas

de riego parcelario. A pesar de estos buenos resultados, los distritos y las unidades de riego adolecen de los siguientes problemas (Palerm *et al.*, 2010):

Cuadro 4. Comparación entre distritos y unidades de riego en 2006

Concepto	Distritos de riego	Unidades de riego
Número	85	39,492
Usuarios	427,985	N/D
Gravedad presas	271,061	N/D
Gravedad derivación	116,385	N/D
Bombeo corrientes	5,786	N/D
Bombeo pozos	34,753	N/D
Superficie física (ha)	3'496,902.00	2'956,032.00
Superficie sembrada	2'783,468.32	3'314,242.74
Superficie cosechada	2'757,488.26	3'202,646.44
Superficie irrigada (ha)	2'481,807.83	2'846,296.00
Gravedad presas	1'739,105.56	1'368,682.00
Gravedad derivación	432,817.07	
Bombeo corrientes	34,480.17	1'477,614.00
Bombeo pozos	275,405.03	
Volumen extraído (Mm^3)	30,401.30	35,060.36
Gravedad presas	19,614.96	N/D
Gravedad derivación	6,821.98	N/D
Bombeo corrientes	383.34	N/D
Bombeo pozos	3,581.02	N/D
Volumen concesionado (Mm^3)	27,762.87	7,183.24
Aguas superficiales	25,836.26	1,431.70
Aguas subterráneas	1,926.61	5,751.54
Producción (ton)	42'966,081.58	8'703,736.56
Valor de la producción (M$)	55,936.29	7,624.29
Rendimiento (ton/ha)	15.58	21.51
Precio medio rural ($/ton)	1,301.87	1,239.48
Productividad del agua ($/$m^3$)	1.84	2.50
Productividad del agua (kg/m^3)	1.41	1.96

N/D: No disponible
Fuentes: Palerm *et al.*, 2010, elaborado con datos de CONAGUA, 2007, 2008, 2009

Cuadro 5. Uso consuntivo de agua en la industria, según origen de la fuente de extracción (m^3/s)

Uso	Origen		Volumen total
	Superficial	Subterráneo	
Industria autoabastecida (sin termoeléctricas)	53.9	44.4	98.3
Termoeléctricas	114.2	15.9	130.0
Total	**168.1**	**60.3**	**228.3**

Fuente: CONAGUA, 2007

- Insuficiente capacidad institucional. Las organizaciones en el pequeño riego han sufrido cambios abruptos por cambios en la legislación durante el siglo XX y, además, la legislación más reciente promueve organizaciones más pequeñas en lugar de reconocer lo existente. En los distritos, los módulos siguen siendo excesivamente controlados por la CONAGUA.
- Sobreconcesión de aguas superficiales y deficiente registro y control del uso del agua por medio del Registro Público de Derechos de Agua (REPDA). El registro, en lugar de dar continuidad a las concesiones realizadas, ha pretendido un nuevo registro de todas las aguas, tarea difícil con 6 millones de hectáreas de riego y los otros usos del agua en el país.
- Acuíferos sobreexplotados.
- Concentración excesiva del agua en algunos distritos de riego.
- Ausencia de manejo conjunto de aguas superficiales y subterráneas.

5.3 Industria

La información oficial en materia de agua e industria es confusa; no se publica en forma actualizada, y es imprecisa y poco sistemática. Como gremio, la industria tampoco cuenta con su propia información (Aboites *et al.*, 2008). Por ello, se conoce poco de la situación real de este sector.

5.3.1 Uso y eficiencia

La industria emplea alrededor de 20% del agua que se usa en el país, cantidad que equivale a un consumo de 130 m^3 por persona al año. Los consumos de agua en la industria en el 2007 alcanzaron los 7.2 miles de millones de m^3 distribuidos como se observa en el Cuadro 5. De esta cantidad, más de la mitad se utiliza para enfriamiento en centrales eléctricas. Entre los mayores consumidores de agua están las plantas petroleras, la industria metálica, las papeleras, las madereras, las de procesamiento de alimentos, la producción de azúcar y la industria manufacturera (CONAGUA, 2009). La principal actividad industrial que consume agua es la de producción de azúcar (López y Flores, 2010).

Los volúmenes concesionados por entidad federativa en 2007 se muestran en el Cuadro 6. El estado de Veracruz es el que presenta el mayor consumo con 1,150.6 Mm^3. Por otro lado, el estado de Guerrero es el de mayor volumen concesionado para uso en termoeléctricas con 3,122.1 Mm^3 por la presencia de la planta carboeléctrica de Petacalco (CONAGUA, 2009). Por región hidrológica, la de Golfo Centro es la que más usa agua, mientras que la de Pacífico Sur es la que cuenta con el menor volumen concesionado. En

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 6. Volúmenes concesionados para uso industrial por entidad federativa, 2007 (Mm^3)

	Entidad federativa	Industria autoabastecida	Termo-eléctricas
1	Aguascalientes	11.4	0.0
2	Baja California	79.9	195.1
3	Baja California Sur	8.2	3.9
4	Campeche	16.8	0.0
5	Coahuila	73.5	74.9
6	Colima	24.4	3.8
7	Chiapas	29.4	0.0
8	Chihuahua	51.7	27.6
9	Distrito Federal	31.5	0.0
10	Durango	18.8	11.5
11	Guanajuato	56.0	20.5
12	Guerrero	12.5	3,122.1
13	Hidalgo	66.4	82.6
14	Jalisco	130.7	0.1
15	Estado de México	156.4	6.9
16	Michoacán	142.2	48.2
17	Morelos	59.0	0.0
18	Nayarit	55.7	0.0
19	Nuevo León	79.9	4.4
20	Oaxaca	39.1	0.0
21	Puebla	113.6	6.5
22	Querétaro	61.3	6.5
23	Quintana Roo	275.6	0.0
24	San Luis Potosí	29.2	41.0
25	Sinaloa	46.4	0.0
26	Sonora	78.0	0.0
27	Tabasco	58.9	0.0
28	Tamaulipas	103.7	54.0
29	Tlaxcala	19.4	0.0
30	Veracruz	1,150.6	367.9
31	Yucatán	33.6	9.5
32	Zacatecas	19.5	0.0
	Total	**3,133.4**	**4,086.2**

lo que se refiere al uso en termoeléctricas, la región del Río Balsas es la que posee el mayor volumen concesionado, mientras que en 2007 regiones como la Noroeste, la Pacífico Norte, la Pacífico Sur y la Frontera Sur no disponían de concesiones para dicho uso (CONAGUA, 2009).

Casi 80% del consumo del agua del sector industrial lo realizan sólo seis ramas industriales: azucarera, química, petróleo, celulosa y papel, textil y bebidas (Figura 6). Del total del consumo industrial se utilizan 50% para enfriamiento, 35% en procesos, 5% en calderas y 10% en servicios. Se estima que estos volúmenes abastecen a alrededor de 1,400 empresas, las cuales están consideradas como las más importantes por el uso y por la descarga de agua (Castelan, 2000).

Con base en el mismo valor publicado por el World Economic Forum (WEF) en 2009 para tratamiento de aguas municipales (660 kWh por un millón de litros), el consumo de electricidad es de alrededor de 0.62 TWh. De acuerdo con Scheinbaum *et al*. (2010) en el caso de las termoeléctricas, el consumo de energía para los usos del agua es sumamente vasto y puede incluir el propio proceso de producción de electricidad dado que está sustentado en vapor, así como la energía necesaria para el tratamiento de aguas negras municipales que se usa en el proceso en diversas plantas. Desafortunadamente, no existe información desagregada de la Comisión Federal de Electri cidad (CFE) para conocer a cuánto asciende este consumo. El Cuadro 7 presenta un resumen de las estimaciones del consumo de energía eléctrica para los diferentes usos del agua.

De acuerdo con los Censos de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua realizados por el INEGI a los organismos operadores del país, se determinó que, en 2003, 18% del agua suministrada por las redes de agua potable fue para uso industrial y de servicios (CONAGUA, 2009).

5.3.2 Principales retos

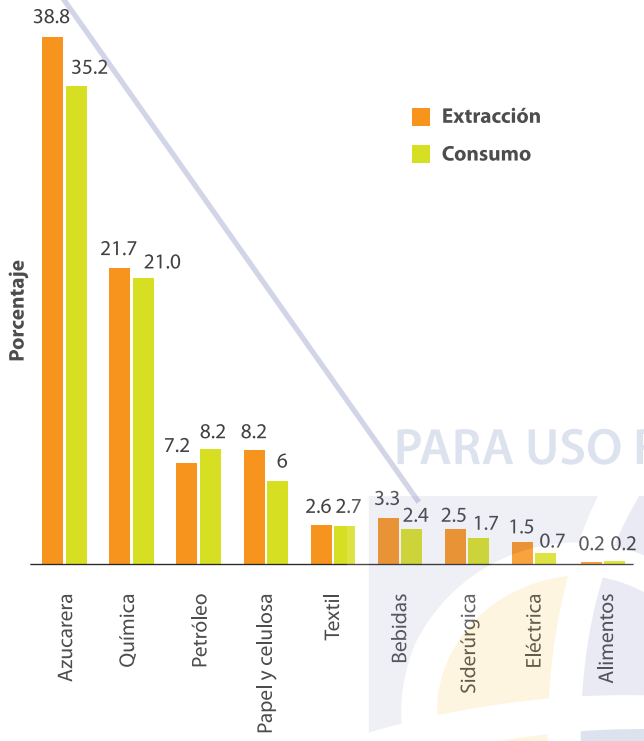
Entre los problemas más importantes que enfrentan las autoridades para la aplicación de leyes, reglamentos y nor-

Tabla 7. Estimación del consumo de energía para suministro, tratamiento y bombeo de aguas negras

Usos	Consumo de agua km^3	Estimado nacional TWh
Riego	60.6	
Riego por gravedad	n.a.	
Riego con bombeo (tarifa 9)	n.a.	8.05
Autoabastecimiento público	11.1	
Subterránea	6.9	
Superficial	4.2	
Tarifa 6		1.51
Cutzamala		0.89
Potabilización	2.7	0.71
Tratamiento	2.5	1.65
Tratamiento en la industria	0.94	0.62
Total		13.43
% del consumo nacional		**7.1%**

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 6. Consumo de agua de los principales giros industriales

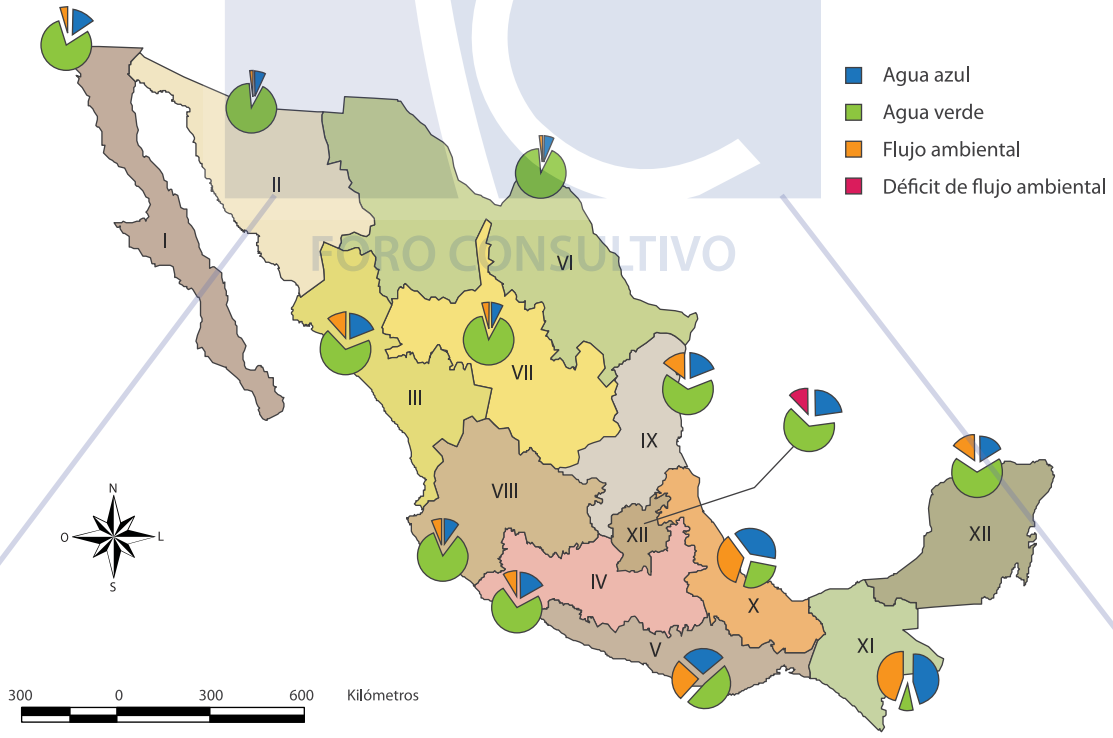


Fuente: CASTELAN, 2000

mas para mejorar el uso, reúso y tratamiento del agua en la industria se pueden mencionar éstas (parte de información de López *et al.*, 2010):

- Las autoridades no tienen un diagnóstico detallado y preciso de cuántas empresas cuentan con un sistema bien establecido para el manejo del agua y de las aguas residuales ni de la situación que guardan dichos sistemas.
- La mayor parte de las industrias, aunque no las más grandes, carecen de infraestructura y recursos humanos para el manejo apropiado del agua.
- Las deficiencias en las leyes y la normatividad actuales que no promueven el pago y las sanciones por contaminar. Además de que los montos de las multas son tan bajos que los infractores prefieren pagarlas incluso de forma recurrente.
- No existe un sistema estratégico para incentivar a las industrias que promuevan y apliquen programas, acciones y proyectos para la producción más limpia, el uso eficiente del agua, el reúso y reciclado.
- Falta de responsabilidad social por un buen número de industrias.
- Corrupción y tráfico de influencias en la aplicación de leyes y normatividad.

Figura 7. Distribución espacial del balance de agua azul, verde y flujo ambiental por región hidrológica administrativa



Fuente: Ruelas *et al.*, 2010

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 8. Distribución del agua en México de acuerdo con el modelo de Falkenmark

Región hidrológica administrativa	Agua azul (Mm^3)	Agua verde (Mm^3)	Agua azul-verde (Mm^3)	Flujo ambiental (Mm^3)
I Península de Baja California	4,616	18,034.64	2,889	1,113
II Noroeste	8,204	76,085.09	6,517	631
III Pacífico Norte	25,627	79,972.22	9,674	15,251
IV Balsas	21,651	84,651.32	6,324	10,874
V Pacífico Sur	32,794	53,649.91	991	31,450
VI Río Bravo	12,024	139,374.3	7,690	2,834
VII Cuencas Centrales del Norte	7,780	71,616.8	3,368	3,946
VIII Lerma Santiago Pacífico	34,037	254,422.1	11,444	20,165
IX Golfo Norte	25,500	82,063.78	3,631	20,817
X Golfo Centro	95,455	61,103.87	2,873	90,588
XI Frontera Sur	157,754	26,415.36	1,588	155,625
XII Península de Yucatán	29,645	125,639.47	1,343	27,512
XIII Aguas del Valle de México	3,008	6,379.44	2,240	-1,659

Fuente: Ruelas *et al.*, 2010

PARA USO RESTRINGIDO

5.4 Uso ecológico

Se estima que el país cuenta con aproximadamente 14,523 m^3/s de agua azul[1] o agua dulce renovable disponible al año, y con un total de 32,215 m^3/s al año de agua verde[2] adjudicada a la evapotranspiración (CONAGUA, 2008). La disponibilidad de agua azul está integrada en cerca de 83% de agua superficial y en 17% de agua subterránea. Dado que el agua verde, además de la liberada a través de la evapotranspiración, incluye el agua azul que se transforma en verde, el volumen de agua total que entra en el territorio nacional, 1'920,725 m^3/s (3.93%), se convierten en agua verde a través del uso consuntivo. Si no se considera el volumen de los otros usos consuntivos (1.19%), los datos sugieren que se cuenta con alrededor de 12,018 m^3/s (24.65%) de lo que se denomina "flujo de agua ambiental" o volumen de agua para alimentar naturalmente ríos y lagos. Estos porcentajes están todavía por arriba de otros países como la India y Kenia, los cuales registran 11% y 1.7%, respectivamente, en este rubro (Ruelas *et al.*, 2010). La Figura 7 y el Cuadro 8 muestran el flujo ambiental por región hidrológica y varía de 155,625 Mm^3/año (4,935 m^3/s) en la región Frontera Sur a menos 1,659 Mm^3/año (menos 59 m^3/s) en la del Valle de México.

1 Agua azul = El agua de los ríos y acuíferos.

2 Agua verde = El agua que se utiliza en la producción de biomasa verde, la cual entra por las raíces y es liberada a la atmósfera por el follaje (Lundqvist y Steen, 1999).

En la LAN de 2004, en sus artículos 14 bis y 15, se establece que la política hídrica nacional se debe sustentar en la gestión integrada de los recursos hídricos por cuenca hidrológica y el reconocimiento de la interrelación de este recurso con el aire, el suelo, flora, fauna, otros recursos naturales, la biodiversidad y los ecosistemas que son vitales para la misma. Las políticas de desarrollo económico y social deben reconocer el carácter finito del recurso agua, así como la importancia del uso ecológico, además del social y económico. Se debe considerar su interrelación con los otros recursos que se encuentran en la cuenca. En la práctica, estos otros usos tienen menor o nula prioridad en cuanto a distribución presupuestal se refiere.

FORO CONSULTIVO

El presupuesto de la CONAGUA para 2008 asignó 65% para agua potable, alcantarillado y saneamiento, mientras que 20% fue para infraestructura hidroagrícola y 15% para administración y preservación (CONAGUA, 2008). En el 2009, esta tendencia en general se mantuvo, aunque hubo una disminución en la inversión para agua potable, alcantarillado y saneamiento a favor de la administración y preservación. Quedó de la siguiente manera: 53%, 23% y 21%, respectivamente. Si bien los Consejos de Cuenca son una estrategia de la CONAGUA para fomentar la descentralización y la participación de usuarios en la toma de decisiones, la representación del uso ecológico a través de la voz de los vocales usuarios y de la sociedad es prácticamente nula.

6. Agua y energía

6.1 Uso

La energía y el agua son recursos que están vinculados y son esenciales para el bienestar humano. El agua es necesaria para la producción, transformación y consumo de la energía, y el bombeo, potabilización y tratamiento de agua requieren energía. En México, en el año 2007, la generación eléctrica por plantas termoeléctricas representó 5% del consumo del agua; en contraste, en Estados Unidos representó 39% en el año 2000, similar al del sector agrícola (Sheinbaum *et al.*, 2010). Los datos referentes al consumo de energía para las diversas actividades relacionadas con el agua y el drenaje no son suficientes debido a que no hay información pública de ello, en especial para las grandes ciudades y municipios con tarifas de alta y media tensión. Ello se debe a que en nuestro país la política y administración del agua y la energía se ubican en diversas instituciones y, con excepción de la hidroelectricidad, su vinculación es escasa (Sheinbaum *et al.*, 2010).

El agua se utiliza en diversas actividades del sector energético, y el mayor consumo de agua se produce en la extracción y procesamiento de combustibles. El consumo final de energía implica mínimos requerimientos de agua (Sheinbaum *et al.*, 2010). Las principales fuentes de aprovechamiento para extracción y procesamiento de la energía se producen a partir de los ríos Coatzacoalcos, Huazuntlán, Ramos y Tamesí, así como los mantos acuíferos de Salamanca, Cadereyta y Tula, entre otros. Para 2008, el insumo total de agua de Pemex alcanzó 7,540 m^3/s. Pemex Exploración y Producción (PEP) representa 3% del consumo de agua, seguida de Pemex Gas y Petroquímica Básica (PGPB) que representa 18%, Pemex Petroquímica (PPQ), 24%, y Pemex Refinación (PR), 55%. Cerca de 52% del consumo de agua para refinación proviene de fuentes subterráneas y 42% de aguas superficiales, mientras que en el caso del gas, petroquímica básica y secundaria, la mayor parte proviene de fuentes superficiales (Figura 8) (Sheinbaum *et al.*, 2010).

En general, el insumo de agua para las distintas actividades de la industria petrolera ha venido disminuyendo; sin embargo, el agua para refinación tuvo un incremento entre 2005 y 2008 (Figura 9), aunque se mantuvo por debajo del uso en 2000 e igual a 120 m^3/m^3 de producto. Los ahorros se han logrado mediante reciclado, y los aumentos de alguna forma representan un menor uso eficiente. En la comparación entre el uso de agua por producto entre 2001 y 2008 se observa claramente una disminución en PEP y en PPQ, pero no así en PR, donde el insumo de agua tuvo una gran variación en los últimos años (Cuadro 9).

Las carboeléctricas emplean el agua para enfriamiento, lubricación de equipos y procesamiento del combustible, en tanto que las termoeléctricas la usan para turbinas generadoras y enfriamiento. Puesto que las plantas termoeléctricas son las que más consumen agua, las más antiguas fueron construidas cerca de cuerpos superficiales de agua y usan ciclos abiertos de enfriamiento. Las más recientes emplean ciclos cerrados y descargan 5% del agua. Los 130 m^3/s de consumo para 2007 de las plantas termoeléctricas provienen en su mayoría de cuerpos superficiales (88%). Cabe destacar que 76% del agua concesionada para este fin es para la carboeléctrica de Petacalco, ubicada en las costas de Guerrero, muy cerca de la desembocadura del río Balsas (CONAGUA, 2008). De esta forma, solamente la carboeléctrica de Petacalco consumió 3.1 km^3 (98 m^3/s) de agua para generar 13.4 TWh. Mientras que el resto de las plantas que generaron 185.5 TWh sólo consumieron 1 km^3 de agua (31 m^3/s).

En el futuro, se estima que la capacidad instalada del sector eléctrico nacional aumentará en 17,942 MW para 2018, de los cuales se tiene programado que 2,078 MW serán de carboeléctricas. Esto no sólo tiene implicaciones muy graves para el consumo de agua, sino para otros impactos ambientales, así como por la importación del propio carbón (CFE, 2009).

En 2007 se utilizaron en el país 122.8 km^3 para centrales hidroeléctricas que representaron 12% de la energía eléctrica generada en el país.

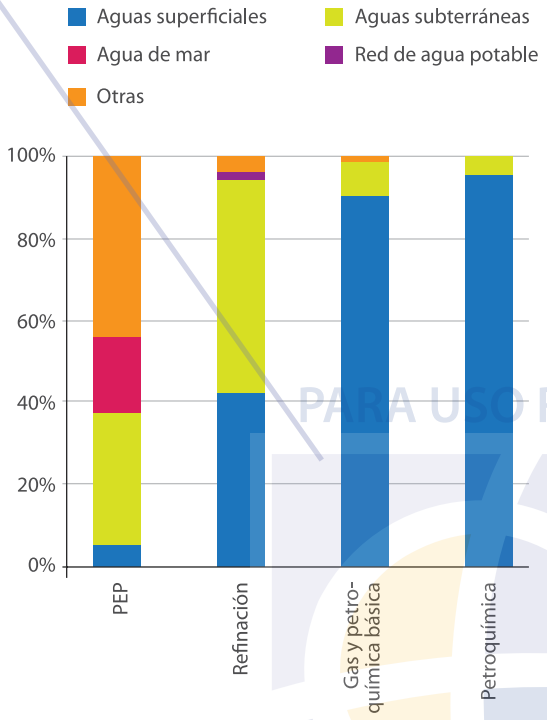
Cuadro 9. Consumo de agua por unidad de producción (insumo menos descargas) en m^3 de agua por m^3 de producto en 2001 y 2008

	2001	2008	Diferencia
PEP	0.13	0.01	92
Refinación	0.86	1.03	-20
Gas y Petroquímica básica	0.8	0.61	24
Petroquímica	6.39	4.66	27

Elaborada con datos de Sheinbaum *et al.*, 2010

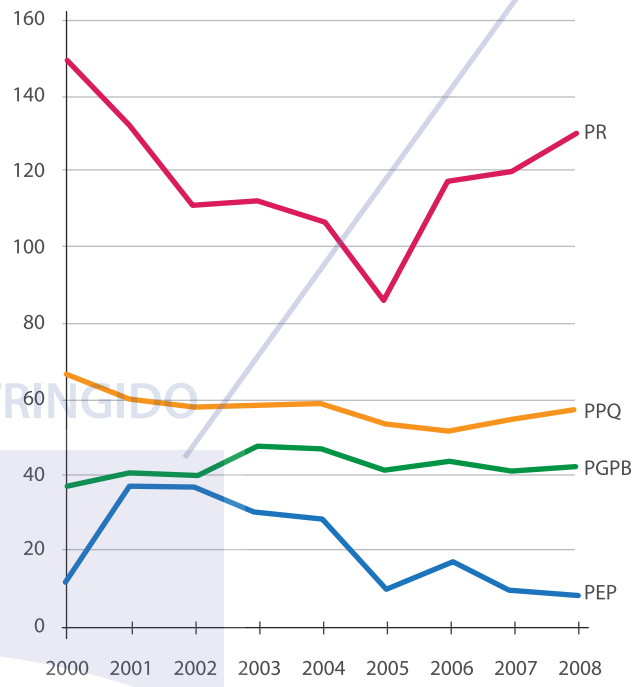
NO PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 8. Consumo de agua por fuente y por actividad petrolera



Fuente: Sheinbaum *et al.*, 2010

Figura 9. Tendencias del insumo de agua por actividad en Pemex (Mm^3)



Fuente: Pemex, 2001-2009

6.2 Fuentes de agua

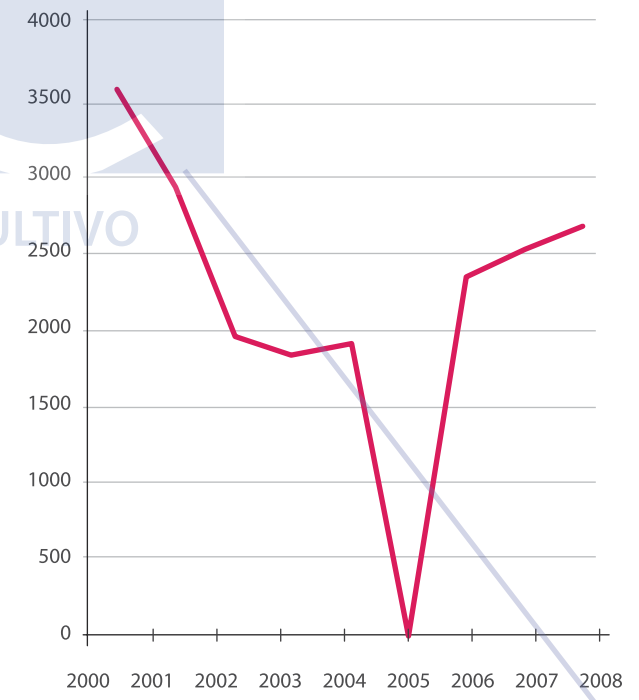
El consumo de agua en plantas termoeléctricas convencionales y de ciclo combinado de la CFE se muestra en el Cuadro 10. Como se aprecia, además del agua superficial y subterránea, la CFE utiliza agua de mar y aguas negras.

De acuerdo con los informes de Pemex, el agua tratada para reúso se ha ido incrementando. En 2008 llegó a 951 m^3/s, por ello las descargas de agua residual decrecieron aunque a partir de 2006 fueron en aumento (Figura 10).

6.3 Contaminación y control

Durante la extracción de hidrocarburos se libera agua que se encuentra en las formaciones subterráneas junto con el petróleo y el gas; a esta agua se le denomina congénita. La calidad varía según el yacimiento, pero en la mayoría de los casos tiene diversos contaminantes, entre los que destaca el alto grado de salinidad. Esta agua es por lo general eliminada, ya sea por inyección profunda en la tierra o por su descarga posterior al medio ambiente, previo tratamiento. Ambas actividades tienen un alto costo. Casi

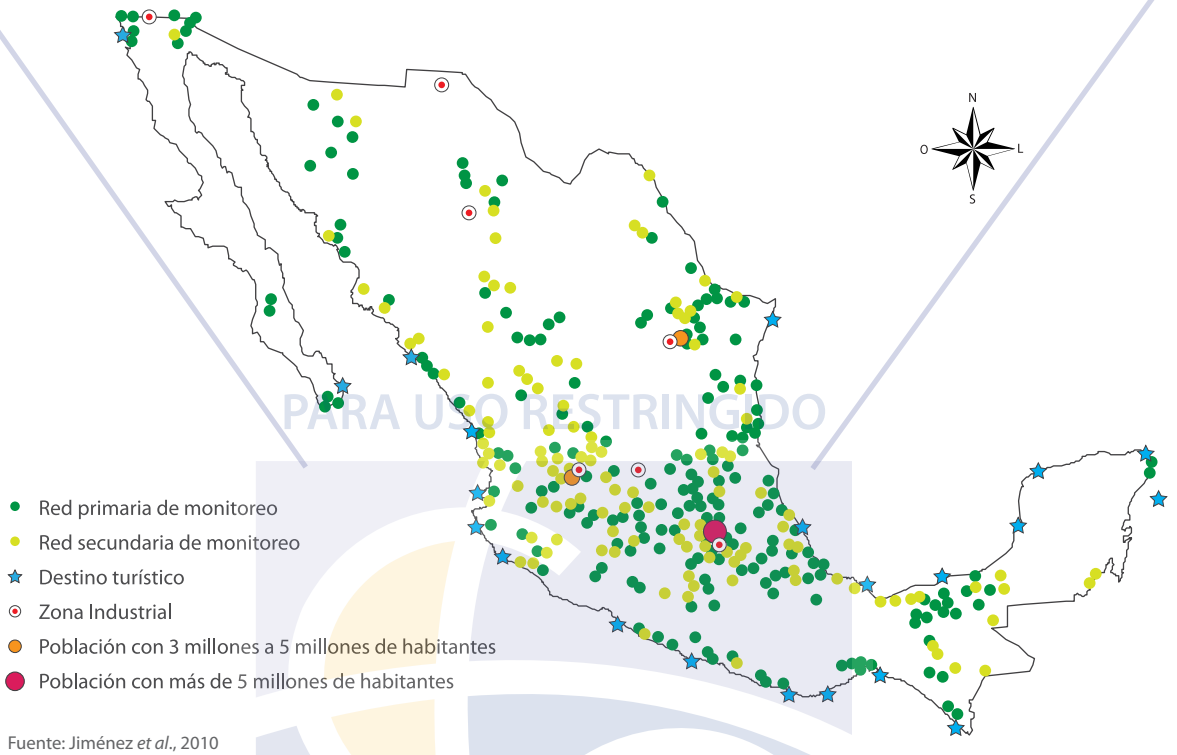
Figura 10. Descarga de agua total de Pemex en m^3/s



Fuente: Sheinbaum *et al.*, 2010. No hay dato para 2005.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 11. Sitios de muestreo de la Red Nacional de Monitoreo y ubicación de los principales destinos turísticos, centros poblacionales y zonas industriales



Fuente: Jiménez *et al.*, 2010

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

toda el agua congénita que se produce (88.9%)[3] en México es reinyectada. En 2003 se emitió la norma oficial mexicana que establece las especificaciones ambientales para el manejo de agua congénita asociada a hidrocarburos, la cual determina los límites máximos permisibles de diversos contaminantes para la descarga de agua congénita, así como las características que deben tener los pozos para la reinyección de la misma (SEMARNAT, 2003).

En relación con la descarga de contaminantes, éstas han ido disminuyendo gracias a la instalación de plantas de tratamiento de aguas. En el año 2000, las descargas totales fueron de 5,541 toneladas, de las cuales 23% correspondieron a grasas y aceites, 61% a sólidos suspendido totales, 14% a nitrógeno total y el resto a otros orgánicos. Para 2008, las descargas totales alcanzaron 2,486 toneladas, de las cuales 15% correspondieron a grasas y aceites, 69% a sólidos suspendidos, 14% a nitrógeno total y el resto a otros orgánicos (Cuadro 11). A partir de 2006 se publican los resultados de DBO y metales pesados, que en 2008 se reportaron en 1,306 y 28 toneladas, respectivamente. La actividad que genera más contaminantes de agua es la refinación. Llama la atención que, a pesar de que sean los más riesgosos incluso en concentraciones muy bajas, no se proporcione información con mayor detalle sobre los compuestos orgánicos. Durante 2008 se realizó el tratamiento de aguas servidas por más de 228,000 m^3 (7.2 m^3/s), de los cuales 25,850 m^3 (0.8 m^3/s) se emplearon para el riego de áreas verdes y el resto fueron destinados para otros usos (CFE, 2008).

3 El último Informe de Desarrollo Sustentable que especifica el porcentaje de reinyección.

7. Calidad del agua

7.1 Monitoreo

Los datos sobre la calidad del agua se obtienen a través de la Red Nacional de Monitoreo, la cual en 2008 constaba de 389 estaciones permanentes (207 localizadas en cuerpos de agua superficial, 52 en costas y 130 en acuíferos) y 285 móviles (241 localizadas en cuerpos de agua superficial, 19 en costas y 25 en acuíferos) (CONAGUA, 2008). La mayoría de las estaciones están localizadas en las zonas pobladas y algunas zonas industrializadas (Figura 11), por lo que se

Cuadro 10. Consumo de agua en plantas termoeléctricas de la CFE (l/s)

Origen del agua	Enfriamiento y repuesto a la torre de enfriamiento		Repuesto al ciclo		Ciclo abierto	
Termoeléctrica convencional	**150 MW**	**350 MW**	**150 MW**	**350 MW**		
Agua de mar	321	749	20	47		
Pozo	144	336	6.5	15		
Río	159	371	7	16		
Negra	175	408	7	16		
Ciclo combinado	**250 MW**	**450 MW**	**250 MW**	**450 MW**	**250 MW**	**450 MW**
Agua de mar	214	321	4.5	6.5	13.5	20
Pozo	96	144			4	6.5
Río	106	159	4.5	6.4	4.5	7
Negra	117	176			4.5	7

Fuente: Sheinbaum *et al.*, 2010

PARA USO RESTRINGIDO

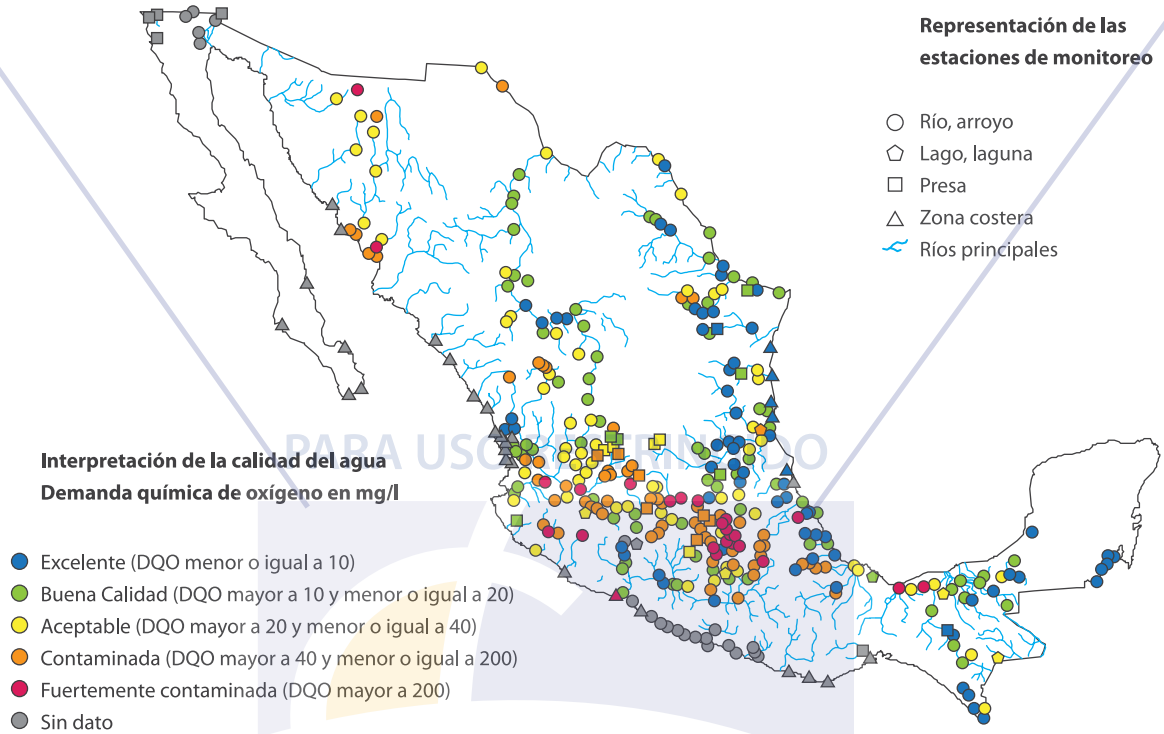
Cuadro 11. Contaminantes de agua de la actividad de Pemex (toneladas)

Contaminantes	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
PEP									
Grasas y aceites	84	53	55	38	41	81	101	60	41
Sólidos suspendidos totales	297	260	228	224	229	320	306	329	222
Nitrógeno total	33.0	5.0	1.0	1.0	0.0	0.5	0.7	0.1	0.0
Otros	71.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.0
Descargas totales	485	318	284	263	271	401	407	390	263
DBO						320	333	543	114
Metales pesados							3.8	0.8	2.0
PR									
Grasas y aceites	946	651	228	156	153	147	147	214	166
Sólidos suspendidos totales	1,233	1,274	951	600	646	669	687	885	813
Nitrógeno total	513	689	450	386	283	233	227	286	263
Otros	18	44	34	30	43	34	32	31	35
Descargas totales	2,710	2,658	1,663	1,171	1,125	1,083	1,091	1414	1277
DBO						586	565	749	526
Metales pesados							10	14	12
PGPB									
Grasas y aceites	50	53	55	50	44	133	49	96	80
Sólidos suspendidos totales	322	220	233	198	200	741	175	214	229
Nitrógeno total	82	112	87	74	76	32	72	58	54
Otros	5	7	6	5	5	13	6	8	4
Descargas totales	459	393	381	327	325	920	303	376	368
DBO							269	261	333
Metales pesados								4	1
PPQ									
Grasas y aceites	140	156	85	59	104	133	66	76	81
Sólidos suspendidos totales	1,418	691	622	819	359	741	464	414	459
Nitrógeno total	113	7	7	8	9	32	34	28	24
Otros	16	3	2	5	4	13	21	15	14
Descargas totales	1,687	857	715	892	475	920	574	532	578
DBO						489	300	209	333
Metales pesados							25	12	13

Fuente: Sheinbaum *et al.*, 2010

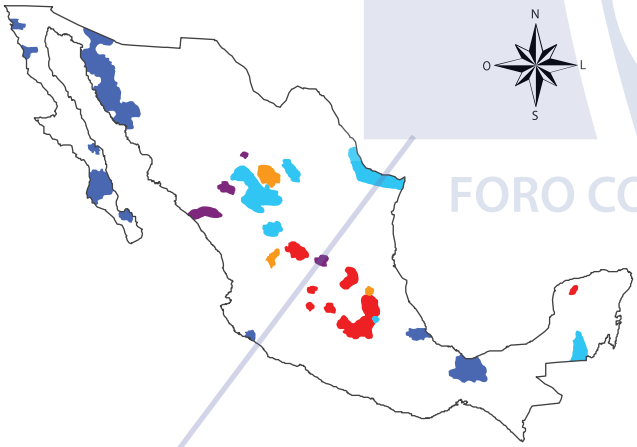
FORO CONSULTIVO

Figura 12. Sitios más contaminados por materia orgánica medidos como DQO



Fuente: CONAGUA, 2008

Figura 13. Ubicación de los acuíferos con problemas de calidad



Filtración de aguas negras
Intrusión salina
Bajo el fenómeno de salinización por lavado de suelos salinos
Presencia de hierro, manganeso o flúor
Presencia de arsénico

Fuente: Adaptado de CONAGUA, 2007

carece de información en muchas partes del país como son la península de Baja California, Yucatán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas (Jimenez *et al.*, 2010).

7.2 Calidad de las fuentes

7.2.1 Superficiales

El agua superficial con calidad excelente disminuyó de 28% en 2003 a 24% en 2007. Una tendencia opuesta se observó en el agua considerada como de buena calidad, la cual incrementó alrededor de 4%, en tanto que el volumen de agua clasificada como fuertemente contaminada se mantuvo constante durante este período. El agua de menor calidad se encuentra en las cuencas del Lerma Santiago, Balsas, Golfo Norte, Grijalva y Papaloapan, Bravo, Pacífico Norte y Golfo Centro. En el caso de los lagos y presas, la información es escasa. Sólo se conoce que Chapala y Pátzcuaro tienen problemas por la proliferación de algas y malezas. Además, en el lago de Chapala hay problemas por la presencia de plomo, cadmio y arsénico, así como de dioxinas. En lo que respecta a las presas, en 13 de las 14 contempladas en el plan de monitoreo de la CONAGUA, su calidad está clasificada entre buena y aceptable, en tanto que la presa Endhó, en Hidalgo, está catalogada como fuertemente contaminada debido a que recibe y almacena

PARA USO INTERNO
FORO CONSULTIVO

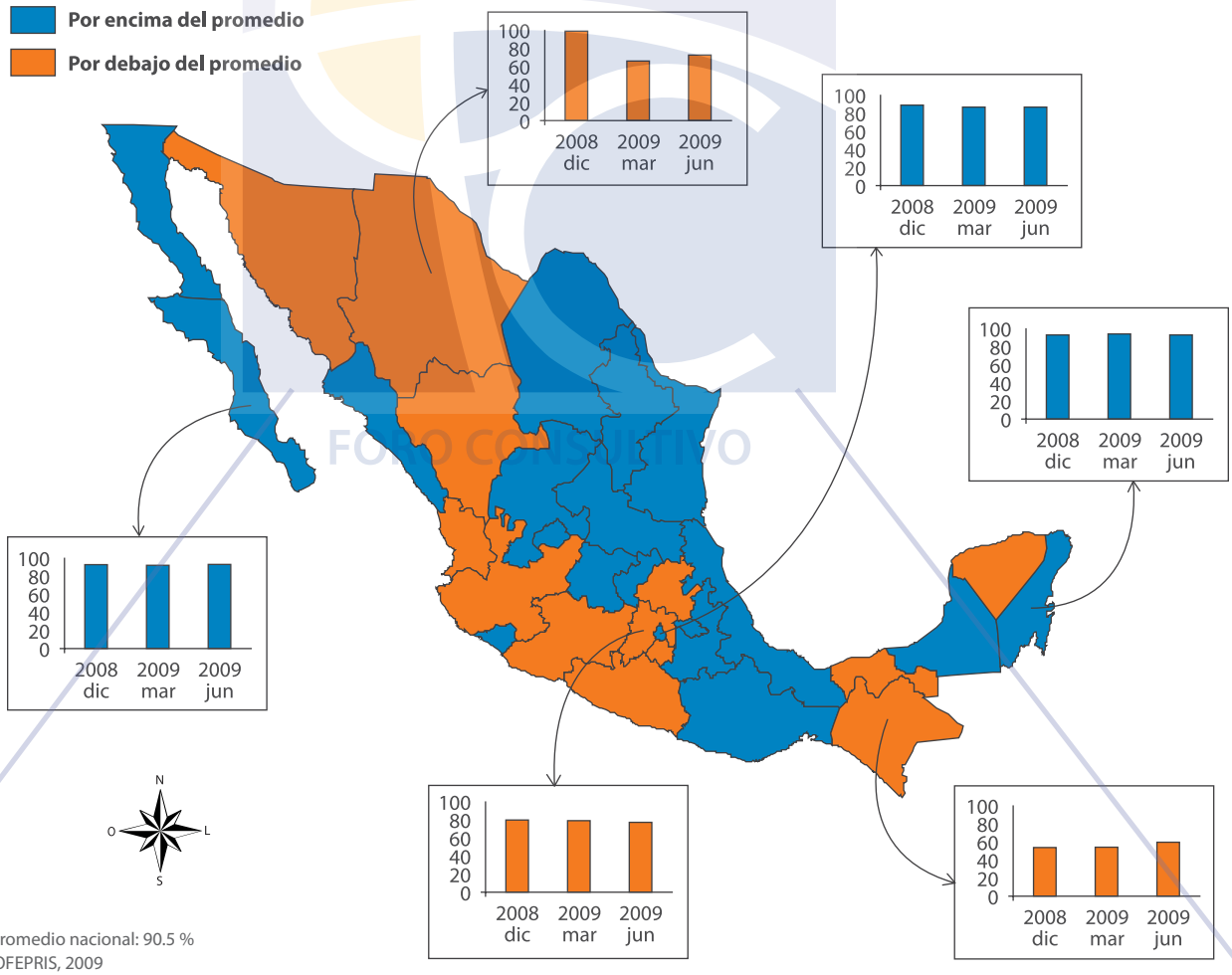
gran parte de las aguas residuales no tratadas de la Ciudad de México (Jiménez *et al.*, 2010).

De acuerdo con el contenido de materia orgánica, medida como DQO o demanda química de oxígeno, las regiones Valle de México, Lerma-Santiago-Pacífico, Balsas y Golfo Centro son las que mayores niveles de contaminación presentan (Figura 12).

7.2.2 Subterráneas

En general, la calidad de varios acuíferos se deteriora por la sobreexplotación y las descargas de contaminantes. Actualmente, existen 17 acuíferos afectados por este problema, en magnitudes crecientes, en los estados de Baja California, Veracruz, Sonora, Baja California Sur y Colima, y 16 más en la zona norte del país (CONAGUA, 2008). Otro problema de calidad que resulta de la sobreexplotación, y que tiene efectos severos en la salud, es la concentración de manera natural o artificial de flúor y arsénico. Además, hay problemas por hierro y manganeso, que si bien no son tóxicos, sí afectan las posibilidades de uso al impartir color al agua. La CONAGUA (2005) reportó concentraciones de hierro y manganeso en dos acuíferos del noroeste del país, así como la presencia de arsénico en la región de la Comarca Lagunera. Desde 1997 existe abundante evidencia de contaminación por arsénico en los acuíferos de Zimapán, en Hidalgo, Valle del Guadiana, en Durango, y 17 municipios de la región de los Altos de Jalisco. También hay elevadas concentraciones de flúor (>1.5 mg/L) en acuíferos de San Luis Potosí, Durango, Aguascalientes y Chihuahua. Por otra parte, en el acuífero de la zona norte de Guanajuato ha sido encontrado cromo hexavalente proveniente tanto de fuentes naturales como antropogénicas. Además de lo anterior, la sobreexplotación de acuíferos en zonas urbanas contribuye a la aspiración del agua residual de las redes de drenaje, aunque de ello hay poca información.

Figura 14. Eficiencia de cloración por entidad federativa en función del promedio nacional y algunos datos históricos, julio de 2009



*Promedio nacional: 90.5 %
COFEPRIS, 2009

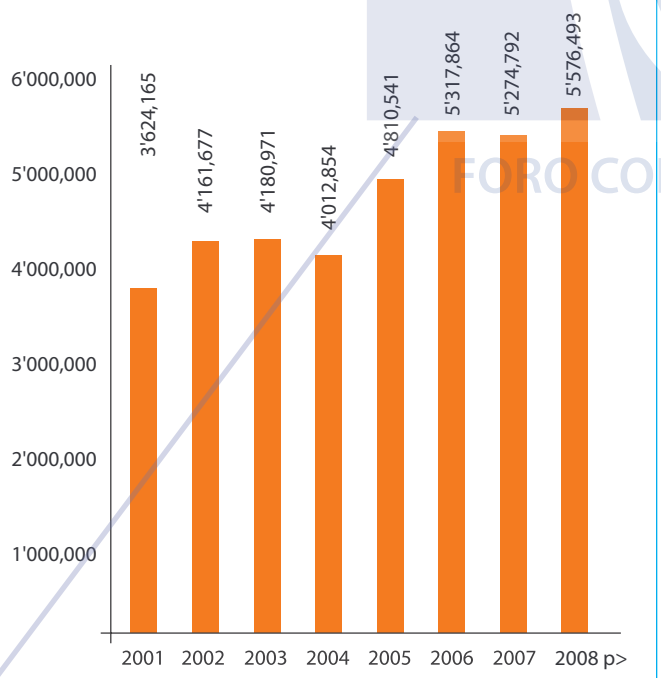
FOLIO CONSULTIVO

Existe infiltración de aguas residuales en ocho acuíferos del centro del país y uno en la península de Yucatán. Lo anterior se ha visto reflejado en un contenido de nitrógeno amoniacal y nitratos que excede el límite máximo permitido por la norma de agua potable en los acuíferos de Mérida, Tlaxcala y el Valle de Tula, en Hidalgo; incluso existe evidencia de contaminación fecal en mantos freáticos de Tula y la zona sur de la Ciudad de México. La Figura 13 muestra la ubicación geográfica de algunos de los acuíferos antes mencionados.

7.2.3 Agua potable

Con datos de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), para julio de 2009 la eficiencia de cloración en el país era, en promedio, de 90.5%. Algunos estados como Chiapas y Michoacán estuvieron por debajo de este valor, en tanto que Baja California Sur, Quintana Roo y Coahuila se ubicaron por encima del mismo (100% de eficiencia). Además, se observó que en este período la eficiencia de cloración en los estados de Durango, Tamaulipas y Chiapas incrementó 17%, 8% y 6%, respectivamente, en contraste con Sonora y Chihuahua, donde decreció 14% y 24%, respectivamente (Figura 14). Por otra parte, hay estudios que indican que si bien el agua llega a los domicilios con una calidad medianamente aceptable, tras su paso por los tinacos y cisternas se deteriora significativamente, en otras palabras, la falta de un servicio continuo es causa también del deterioro de la calidad (Jiménez *et al.*, 2010). Sobre la calidad del agua potable en los domicilios, hay muy pocos estudios publicados, y los escasos datos que hay, sólo abarcan muestreos puntuales y ocasionales para evaluar coliformes fecales y cloro residual y dejan de lado los 38 parámetros fisicoquímicos establecidos por la norma mexicana. No hay en México la obligatoriedad de que los organismos operadores de agua muestren y hagan pública la información de la calidad del agua.

Figura 15. Volumen de ventas de agua embotellada (miles de litros)



Fuente: Mazarí *et al.*, 2010

7.2.4 Agua embotellada

El consumo de agua embotellada es muy importante en el país, ya que México es el segundo consumidor de agua embotellada y el primer país consumidor de refrescos embotellados en el mundo (Figura 15). Cabe destacar que, a pesar del elevado consumo de agua embotellada y la existencia de la NOM-201-SSA1-2002 que se refiere a las especificaciones sanitarias del agua embotellada o envasada, no hay información pública por parte de COFEPRIS sobre su calidad.

La compra de agua embotellada es una de las medidas de protección más costosas que se adoptan. El alto consumo de este tipo de agua puede estar relacionado con diversos aspectos como el crecimiento de ese sector económico en el mundo, pero también existe evidencia de la relación entre compra de agua embotellada y las deficiencias del servicio, particularmente en términos de tandeos, mala calidad del agua o desconfianza en su calidad. Por esta razón, el gasto en agua embotellada es mayor entre los hogares pobres. Los resultados de una encuesta en el Distrito Federal arrojaron que en Iztapalapa, una de las delegaciones con menor nivel de ingreso de la entidad y con problemas severos de tandeos y calidad del líquido, 91% de los hogares consumen agua embotellada frente al 61% en las delegaciones del poniente que registran mayores ingresos y mejores condiciones del servicio (Soto, 2007).

8. Fuentes de contaminación

Las principales fuentes de contaminación del agua en México tienen su origen en la basura que se arroja a los sistemas de alcantarillado y a ríos y lagos; a las descargas de los centros urbanos y de las industrias, y a las áreas agrícolas, principales responsables de la contaminación difusa en el país.

Durante 1985 y 2007, el caudal de aguas residuales municipales incrementó en 34%, lo cual se debe al crecimiento poblacional correspondiente a ese período que fue de 58.2

FORO CONSULTIVO

a 103.5 millones de habitantes. El volumen de aguas residuales de las fuentes industriales se triplicó entre 1992 y 1996, y a partir de este año permanece sin importantes variaciones. Las descargas difusas de origen agrícola, ocasionalmente reportadas, son cerca del triple del volumen descargado por los municipios (Jiménez *et al.*, 2010).

En la Figura 16 se expresa la carga de contaminación orgánica de tipo biodegradable (DBO_5) descargada al ambiente, en el supuesto de que cuando hay infraestructura de tratamiento ésta funcione adecuadamente. Se aprecia que en 23 años la carga contaminante descargada por los municipios ha decrecido 16%, mientras que la correspondiente al sector industrial prácticamente se duplicó durante el mismo período. Como resultado, la descarga total de contaminación orgánica que recibe el país proveniente de municipios e industria ha aumentado 45% entre 1984 y 2007.

8.1 Aguas residuales municipales

Se estima que en la actualidad se generan en México 431.7 m^3/s de aguas residuales municipales y no municipales. Al primer grupo corresponden 243 m^3/s, y de ellos se colectan 207 m^3/s (85%); de esta cantidad se tratan 83.8 m^3/s (40.5%), y 123.2 m^3/s no reciben tratamiento. Cabe señalar que en 2007, para tratar las aguas residuales domésticas, se contaba con 1,712 plantas depuradoras en el país, las cuales operaban oficialmente a 74% de su capacidad instalada.

8.2 Aguas residuales industriales

En 2007, la industria generaba 188.7 m^3/s de aguas residuales, de los cuales se trataban sólo 29.9 m^3/s (15.8%) en 2,021 plantas en operación a nivel nacional (López *et al.*, 2010). Las cuencas más contaminadas del país lo son por la industria y están en los ríos Grijalva y Coatzacoalcos, que reciben descargas de efluentes de la industria azucarera y petroquímica. Siguen a estas cuencas, en grado de contaminación, la del Papaloapan, que recibe efluentes provenientes tanto de las industrias cerveceras y químicas como de destilerías y tenerías, y la del Pánuco, que capta desechos provenientes de la industria del petróleo. Al igual que en casi todos los países de Latinoamérica, la vigilancia y el control de la contaminación industrial es escasa, en especial de las industrias denominadas "secas" que son aquéllas que, aunque tienen un escaso o nulo consumo de agua y por tanto no registran descargas de agua residual, sí vierten a los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, así como al alcantarillado, descargas de desechos sólidos o de líquidos que no son agua (Jiménez Cisneros, 2006).

La mayor parte de las aguas residuales industriales se vierten al ambiente sin tratar. El porcentaje de tratamiento es de 15.8%.

8.3 Infraestructura de control

8.3.1 Potabilizadoras

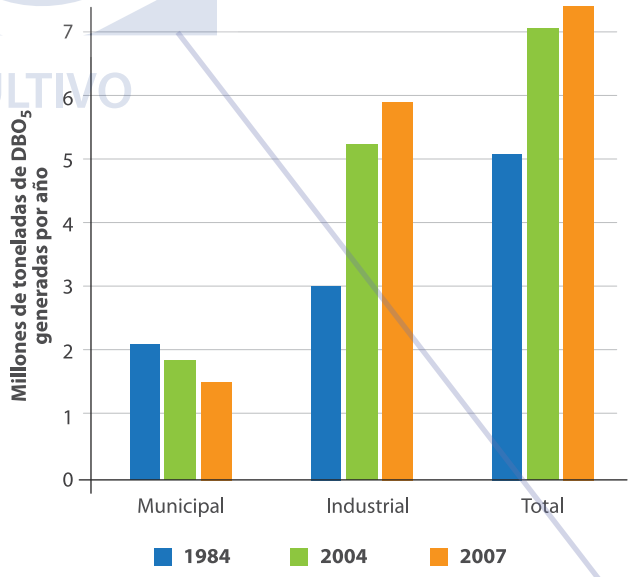
En 2007 existían 541 plantas potabilizadoras en el país, las cuales operaban únicamente a 72% de su capacidad de diseño (CONAGUA, 2008). Estas plantas procesaban cerca de un tercio del agua potable y el resto, por su origen, era sólo desinfectado.

8.3.2 Depuradoras

Municipales

Ante el aumento de las descargas de aguas residuales en el país como resultado del crecimiento poblacional e industrial, la CONAGUA se ha enfocado en promover el saneamiento de las fuentes puntuales de origen municipal; sin embargo, no toda el agua que es tratada cumple con la normatividad correspondiente. Algunos reportes aislados indican que en 1999, cuando el caudal tratado era de 44 m^3/s, tan sólo 5% del agua tratada cumplía con la norma (Aboites *et al.*, 2008); para 2007, como ya se señaló, las 1,712 plantas depuradoras del país lo hacían a 74% de su capacidad instalada.

Figura 16. Carga anual de contaminantes medida como DBO_5 descargada al ambiente entre 1984 y 2007 por los municipios y la industria, con tratamiento



Fuente: Con información de Jiménez *et al.*, 2005, y CONAGUA, 2008

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

8.3.2.2 Industriales

Entre 1999 y 2007, el caudal de agua residual industrial (no municipal) tratada se ha mantenido relativamente constante entre 30 y 40 m^3/s, y el cumplimiento de la normatividad es alcanzado sólo para 13 m^3/s, es decir, 7% del total de agua residual producida por la industria (Jiménez *et al.*, 2010).

Para 2008, 31% de las PTARI (Plantas de tratamiento de aguas residuales industriales) trató sus aguas residuales con un tratamiento primario; 55% llegó incluso a tratarlas hasta un nivel secundario, mientras que sólo 3% aplicó procedimientos avanzados (nivel terciario). De las plantas industriales restantes (11%) no se tuvo información específica (López *et al.*, 2010).

Se considera que, además de la necesidad de incrementar el número de plantas y el volumen de agua tratado conforme a la norma, se requiere complementar la infraestructura con otro tipo de instrumentos para controlar la contaminación. Por ejemplo, es necesario establecer una política de incentivos y sanciones para quienes produzcan, usen o descarguen sustancias tóxicas que son recalcitrantes, es decir, que no pueden ser removidas en plantas de tratamiento o que incluso resulten dañinas para la operación de las mismas. Se necesita también promover el manejo integral de las cuencas a través de un programa encaminado a la preservación y mejoramiento de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas bajo las condiciones actuales y con proyecciones futuras (López *et al.*, 2010).

Cuadro 12. Estimación del consumo de energía para suministro, tratamiento y bombeo de aguas negras

Usos	Consumo de agua (km^3)	Estimado nacional (TWh)
Riego	60.6	
Riego por gravedad	n.a.	
Riego con bombeo (tarifa 9)	n.a.	8.05
Autoabastecimiento público	11.1	
Subterránea	6.9	
Superficial	4.2	
Tarifa 6		1.51
Cutzamala		0.89
Potabilización	2.7	0.71
Tratamiento	2.5	1.65
Tratamiento en la industria	0.94	0.62
Total		**13.43**
% del consumo nacional		**7.1%**

Fuente: Sheinbaum *et al.*, 2010

8.3.2.3 Participación privada

La participación privada en la depuración es mucho más común que para el servicio de agua potable en el país. Las plantas que manejan estos esquemas son los de Puerto Vallarta, Toluca, Chihuahua, Ciudad Juárez, Torreón y Ciudad Obregón. Además, hay 26 casos de participación privada en la construcción de plantas de tratamiento (CONAGUA, 2003); en particular destacan las plantas para la Ciudad de México. No se han reportado las ventajas de estas concesiones, pero tampoco han aumentado en número los casos de participación privada.

8.3.3 Consumo energético de la infraestructura de control

El Cuadro 12 muestra el consumo energético de la infraestructura que se emplea para los servicios de agua potable y alcantarillado. El consumo está subestimado por falta de información de usuarios que pagan tarifas industriales (Scheinbaum *et al.*, 2010).

9. Reúso

Actualmente, en diversas áreas del país existe una dependencia del agua residual tratada o sin tratamiento para actividades productivas como la agricultura; por lo tanto, es indispensable reconocer oficialmente el agua de reúso como una fuente adicional de agua. Por ejemplo, México es el segundo país en el mundo, después de China, que utiliza agua residual cruda para riego en más de 180,000 hectáreas irrigadas y agua residual tratada en aproximadamente 70,000 hectáreas irrigadas (Jiménez, 2006).

De acuerdo con las estadísticas del agua 2008, en el país se reutilizaron casi 150 m^3/s de aguas residuales municipales. Destaca, en este reúso, la transferencia hacia cultivos agrícolas (87.5 m^3/s) y, en menor proporción, a la industria (7.2 m^3/s). El reúso de las aguas industriales de los ingenios se orienta fundamentalmente al cultivo de caña (42.8 m^3/s) y representa la mitad del volumen de aguas residuales destinadas a la agricultura (Ruelas *et al.*, 2010).

10. Efectos en la salud

10.1 Situación general e información

A pesar de que México es un país con ingresos medios, los riesgos de salud que experimenta son mayores que los de países similares. Ello se debe, en gran medida, a que las enfermedades de origen hídrico siguen estando entre los cinco factores principales que afectan la salud (Mazarí *et al.*, 2010).

PARA USO RESTRINGIDO
FOLLETO CONSULTIVO

De acuerdo con Mazarí *et al*. (2010), el análisis en detalle de este problema se dificulta por la calidad de información, en especial debido a que:

- Las enfermedades gastrointestinales de transmisión fecal-oral no sólo están asociadas con el consumo de agua contaminada, sino también con el consumo de alimentos contaminados, en los que se incluyen los que se consumen crudos (por ejemplo, las ensaladas). Por lo tanto, si se utiliza esta información, se supondría que la contaminación de los alimentos es por agua contaminada y no por un manejo insalubre de los mismos.
- Las categorías que se consideran en el Boletín Epidemiológico emitido por la Secretaría de Salud (SS) varían, esto es, no siempre se reportan las mismas categorías, lo cual dificulta el seguimiento de una enfermedad en particular e imposibilita hacer comparaciones a lo largo del tiempo.
- En el caso de las enfermedades gastrointestinales de origen viral, no es posible conocer la situación, ya que el número de casos se agregan a los casos de enfermedades mal definidas (A04, A08-A09). Este punto toma relevancia al notar que el número de casos en esta categoría rebasa los 4 millones anuales.
- México es el segundo consumidor de agua embotellada y el primer país consumidor de refrescos embotellados en el mundo, como ya se señaló. Una proporción importante de la población no consume el agua de los sistemas de distribución, independientemente de contar o no con un buen servicio de abastecimiento.
- Estos hechos son factores de confusión cuando se pretende relacionar la cobertura de abastecimiento de agua desinfectada con la incidencia de enfermedades gastrointestinales.

10.2 Enfermedades hídricas

La clasificación de las enfermedades consideradas en México por las autoridades del agua y de salud relacionadas con el agua se presenta en el Cuadro 13. La disparidad de los datos de las enfermedades de origen hídrico entre la CONAGUA y el Sector Salud lleva a recomendar que la primera debiera ampliar la vigilancia del agua para considerar enfermedades adicionales existentes en el país y, en especial, considerar la detección y cuantificación de los organismos relacionados con esas enfermedades. Las que considera la SS como enfermedades infecciosas intestinales y que la CONAGUA considera de manera concentrada para relacionar la calidad del agua con la incidencia de enfermedades son las siguientes: amebiasis intestinal, shigelosis, fiebre tifoidea, giardiasis, infecciones intestinales debidas a otros organismos y las mal definidas, intoxicación alimentaria bacteriana, paratifoidea y otras salmonelosis, así como otras infecciones intestinales debidas a protozoarios.

10.3 Comparación con otros países

La incidencia de las enfermedades infecciones intestinales que se reportan en México es mayor respecto de países como Argentina y Chile que tienen PIB similares. Lo anterior puede estar relacionado con una mejor cobertura de servicios básicos de agua en los otros países. También

Cuadro 13. Clasificación de las enfermedades relacionadas con el agua

Categoría	Organismo/Infección	Tipo de patógeno	Considerado en México
Origen hídrico (fecal-oral)			
Diarrea/Disenterías	*Escherichia coli*, cólera, *Campylobacter*, salmonelosis, shigelosis	Bacteria	CONAGUA, SS
	Rotavirus, norovirus, adenovirus, hepatitis	Virus	SS
	Giardiasis, amebiasis, *Cryptosporidium*	Protozoario	SS
	Ascaris, trichuris, taenia	Helminto	SS
Fiebres entéricas	Tifoidea, paratifoidea	Bacteria	CONAGUA, SS
	Poliomielitis	Virus	CONAGUA
Contacto con agua	Infecciones de piel y ojos	Bacteria, protozoario, virus	SS
Basado en agua	Schisostomiasis	Helminto	SS
Por medio de Insectos vectores relacionados con el manejo de agua	Malaria/Paludismo, oncocercosis, dengue clásico y hemorrágico, tripanosomiasis	Protozoario, helminto, virus	SS

Fuente: Mazarí *et al*., 2010

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

es necesario tomar en cuenta la diferencia entre países desarrollados y en desarrollo. Por ejemplo, la prevalencia de *Helicobacter pylori* en países en desarrollo se presenta en los primeros años de vida con una prevalencia mayor de 50%, mientras que en países desarrollados la prevalencia de infección en niños es usualmente menor de 10%. Datos específicos de México muestran prevalencia de la infección por *H. pylori* que presenta una seroprevalencia de 20% en niños menores de 1 año y de 50% a los 10 años de edad, así como de más de 80% en los adultos seropositivos a los 25 años de edad (Mazarí *et al.*, 2010).

10.4 Pobreza y salud

Se estima que las mejoras en la infraestructura pública para proveer de agua a los hogares tiene un impacto de alrededor de 30% en reducir las enfermedades diarreicas (SEMARNAT, 2008). A partir de un estudio, Guevara *et al.* (2010) encontraron que la carencia de servicios de agua y sanidad está efectivamente relacionada con la mortalidad infantil. La relación más fuerte se da, en primer lugar, cuando se compara la mortalidad infantil con la ausencia de agua entubada a la red pública; en segundo lugar, al compararla con la ausencia de drenaje, y, por último, al compararla con la falta de excusado en el hogar (aunque es una relación débil, no deja de ser positiva). La provisión de servicios públicos es más amplia para personas que no están en condiciones de pobreza. Se advierte que hay un promedio de 2.5/100,000 habitantes de muertes infantiles en los estados que están por debajo del promedio de pobreza alimentaria nacional, y de 1.7/100,000 habitantes en los que están por arriba de éste (Guevara *et al.*, 2010).

11. Desarrollo económico

11.1 Relación con la disponibilidad del agua

A pesar de que es costumbre pensar que el desarrollo económico y humano se relaciona con la disponibilidad de agua, ello con frecuencia no ocurre (Montesillo *et al.*, 2010). México tiene un PIB per cápita de 14,560 dólares, monto que lo ubica en el lugar 55 de 176 países. A la vez, ocupa el lugar 55 por su nivel de IDH (índice de desarrollo humano). En contraste, ocupa el lugar 95 por su nivel de precipitación pluvial. Montesillo *et al.* (2010) demostraron que la disponibilidad natural de agua en los estados no tiene relación (cuantificada por el coeficiente de correlación de Pearson) con el desarrollo económico y humano, al igual que ocurre con los países. De hecho, a partir de su análisis señalan que:

- las mayores concesiones de uso de agua las ostentan los estados que tienen las más bajas disponibilidades naturales de agua, que a su vez son los menos densamente poblados y registran la más baja productividad del agua tanto en la información agregada como en la de los sectores agrícola e industrial;
- los estados que tienen las menores concesiones tienen las mayores disponibilidades y son los más productivos en los usos del agua;
- los estados que tienen los mayores niveles de disponibilidad natural de agua son los menos desarrollados y registran los más bajos índices de desarrollo humano, y
- los estados que tienen las mayores concesiones reciben la mayor parte del Presupuesto de Egresos de la Federación (PEF) para obras hidráulicas.

Por ello, se puede concluir que los estados donde ha habido mayores inversiones en materia hidráulica hay un mayor desarrollo, aunque no es claro el orden en el cual ello ha ocurrido.

11.2 Productividad del agua en México en los estados

La Figura 17 muestra la relación entre las concesiones de agua (a) y la productividad de la misma (b) en los estados. La productividad es el resultado de dividir el PIB total estatal promedio de 2003-2007 en valores básicos, en pesos de 2003, entre el volumen total concesionado de agua por estado, en pesos de 2003, por m^3 de agua. Así, los casos de Tabasco, Campeche y Quintana Roo, por una parte, donde la precipitación es muy alta, y los de Sonora y Zacatecas, por otra, donde la precipitación pluvial es muy baja, confirman que la disponibilidad natural de agua o su escasez nada tiene que ver con la productividad de ella ni con el volumen concesionado, por supuesto, con base en la Figura 17 (b). Además, es claro en la figura que los estados en los que el agua es menos productiva son los que registran los mayores volúmenes concesionados de agua, como Sinaloa, Sonora y Michoacán, entre otros. Si bien en términos generales, y con base en la información agregada por estado, la productividad del agua es inversa al volumen concesionado, es necesario un análisis de mayor detalle, por sector económico, conforme a los sistemas de contabilidad nacional. Sin embargo, la información disponible acerca de las concesiones de agua no permite realizar este trabajo (Montesillo *et al.*, 2010).

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

A pesar de la falta de detalle de la información, sí se puede hacer un análisis para algunos sectores como el 11, que incluye agricultura, ganadería, aprovechamientos forestales, pesca y caza. A partir de esta información y de datos de Montesillo *et al.*, (2010), concluyen que los estados con mayor volumen concesionado, como son Colima, Sinaloa, Sonora, Hidalgo y Tamaulipas, tienen una baja eficiencia económica relacionada con el agua para la agricultura. En cambio, el Distrito Federal, Tabasco, Oaxaca, Jalisco, Quintana Roo y el Estado de México, que son los estados con los menores volúmenes de concesión para uso agrícola, su productividad por este concepto es mayor.

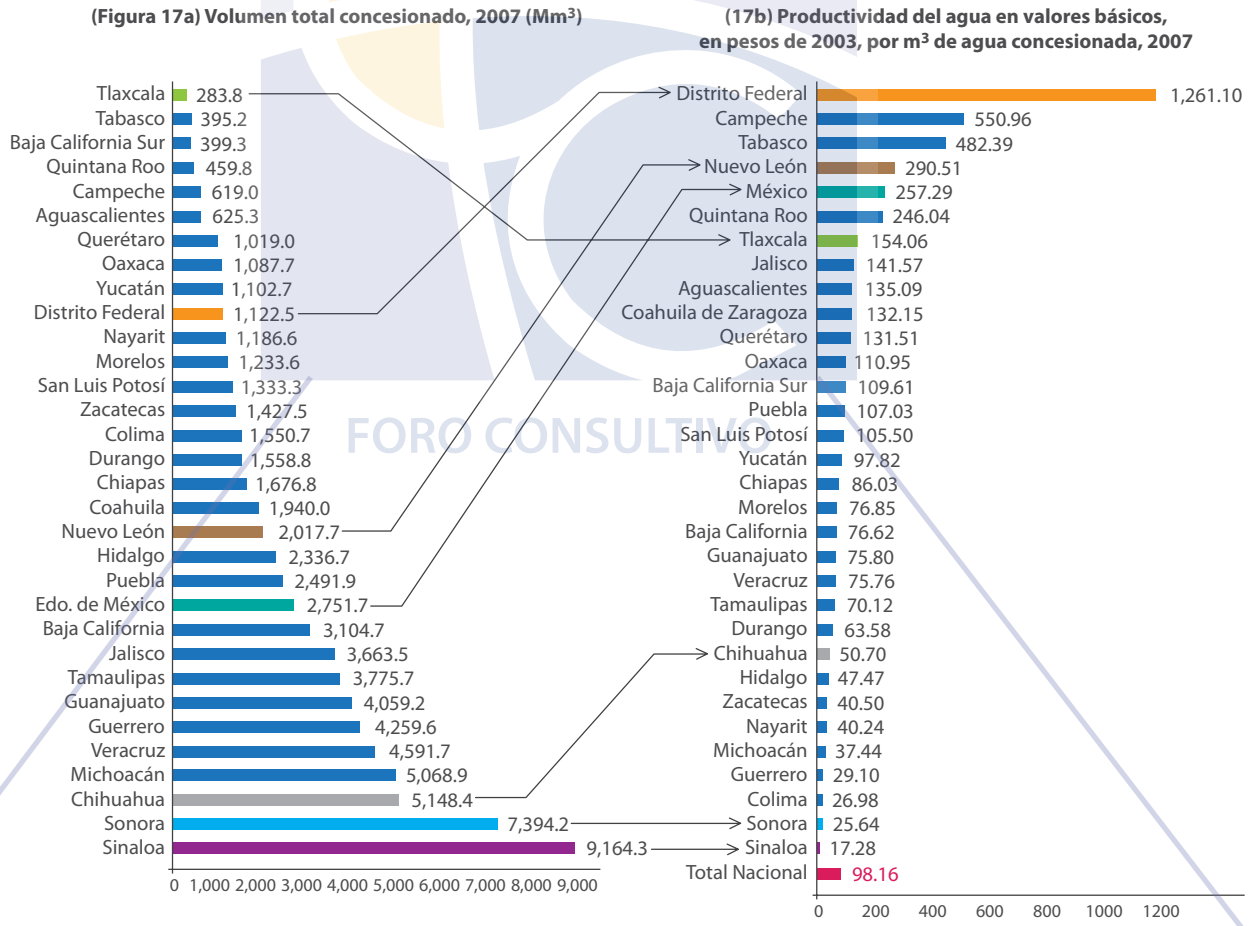
11.3 Precipitación pluvial, volumen concesionado y desarrollo humano

PARA USO RESTRINGIDO

La relación entre IDH y precipitación en los estados es negativa, pues su coeficiente de correlación es -0.141, lo cual es equivalente a decir que a mayor disponibilidad natural de agua, menor IDH (Montesillo *et al.*, 2010). Lo mismo ocurre con la relación entre el IDH y el volumen total concesionado en los estados (donde el coeficiente es de -0.092), aunque por el bajo valor implica más bien que no hay relación. Por lo tanto, se puede concluir que la disponibilidad natural de agua, cuantificada mediante el volumen de precipitación, y el volumen total concesionado no son factores de desarrollo económico ni de desarrollo humano.

De acuerdo con los datos del PEF, los estados con menores volúmenes de agua concesionados y mayor disponibilidad natural de agua reciben menos ingresos para controlar, administrar, sanear y distribuir el agua. Esto es lo que explica el mayor número de habitantes que no tienen servicio de agua entubada en su domicilio, la mayor incidencia de mortandad por factores hídricos y, en consecuencia, un menor IDH. De esta manera, el volumen de agua concesionado y el PEF contribuyen a acentuar la desigualdad, en cuanto al IDH, en los estados. Más aún, al correlacionar los datos de

Figura 17. Volumen total concesionado y Productividad del agua



Fuente: Elaborada a partir de Montesillo *et al.*, 2010

FORO CONSULTIVO

el Cuadro 14 se encuentra que a mayor precipitación, mayor porcentaje de habitantes analfabetos, sin primaria completa, en viviendas sin drenaje ni servicio sanitario, en viviendas sin energía eléctrica y ocupantes en viviendas sin agua entubada, en suma, mayor disponibilidad natural de agua, mayor pobreza y, por tanto, menor IDH. El volumen de concesión no tiene ninguna relación con los índices dado que el coeficiente de correlación en términos estadísticos es cero.

12. Género y agua

México recientemente incorporó en sus políticas elementos para lograr la equidad de género en el acceso y control del agua. Ello como resultado de la influencia de organismos internacionales que desde la década de los años 70 han promovido que las mujeres participen en el manejo del agua, mejora en eficiencia en su uso y conservación como medio para elevar las condiciones de salud y contribuir a la disminución de la pobreza (Nazar *et al.*, 2010). A pesar de

Cuadro 14. Índices de marginación, dotación de agua e IDH

Entidad federativa	% población analfabeta de 15 años o más	% población sin primaria completa de 15 años o más	% ocupantes en viviendas sin drenaje ni servicio sanitario	% ocupantes en viviendas sin energía eléctrica	% ocupantes en viviendas sin agua entubada	Dotación (l/h/d) de agua potable 2007*	Índice de desarrollo humano (IDH) 2004**
Nacional	**8.37**	**23.10**	**5.34**	**2.49**	**10.14**	**278**	**0.8031**
Aguascalientes	4.16	17.82	1.68	0.85	1.79	318	0.8271
Baja California	3.08	15.02	0.56	1.49	4.89	258	0.8391
Baja California Sur	3.62	16.49	1.84	2.88	11.28	440	0.8332
Campeche	10.20	26.96	9.85	4.85	11.15	487	0.8263
Chiapas	21.35	42.76	8.07	5.88	25.90	209	0.7185
Chihuahua	4.42	18.81	3.29	4.28	6.45	455	0.8340
Coahuila	3.29	14.60	1.65	0.77	2.17	325	0.8356
Colima	6.42	21.58	0.80	0.67	1.66	437	0.8097
Distrito Federal	2.59	9.70	0.16	0.15	1.51	367	0.8837
Durango	4.84	22.92	8.51	3.52	8.63	429	0.8045
Guanajuato	10.44	28.80	9.87	1.93	6.14	244	0.7782
Guerrero	19.88	35.98	27.18	6.33	31.34	209	0.7390
Hidalgo	12.80	27.50	8.98	3.90	12.21	153	0.7645
Jalisco	5.56	21.30	2.42	1.12	5.91	271	0.8036
Edo. de México	5.32	16.24	4.76	0.96	6.04	241	0.7871
Michoacán	12.58	33.48	5.66	2.11	9.97	237	0.7575
Morelos	8.13	21.01	3.10	0.81	7.84	527	0.8011
Nayarit	8.02	26.05	6.78	4.38	8.35	256	0.7749
Nuevo León	2.78	12.70	0.54	0.56	3.48	266	0.8513
Oaxaca	19.35	38.49	6.84	7.21	26.29	106	0.7336
Puebla	12.71	29.02	5.45	2.19	14.03	156	0.7674
Querétaro	8.14	20.03	9.95	2.99	5.76	275	0.8087
Quintana Roo	6.58	19.42	5.19	2.59	4.66	169	0.8296
San Luis Potosí	9.92	27.42	5.72	5.58	16.97	186	0.7850
Sinaloa	6.42	23.42	5.14	1.92	6.24	352	0.7959
Sonora	3.73	17.21	1.92	1.87	4.01	488	0.8253
Tabasco	8.57	25.10	3.99	1.95	22.94	220	0.7800
Tamaulipas	4.52	18.61	0.84	2.88	4.26	337	0.8246
Tlaxcala	6.68	18.78	4.84	1.11	2.03	182	0.7746
Veracruz	13.42	32.90	4.18	4.67	23.32	279	0.7573
Yucatán	10.89	29.99	17.96	2.61	3.03	352	0.7831
Zacatecas	7.20	30.83	10.53	1.91	6.72	408	0.7720

Fuente: Montesillo *et al.*, 2010

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

lo anterior, hay ejemplos que demuestran que ello no ha ocurrido. En Chiapas, por ejemplo, una entidad que cuenta con casi dos terceras partes del agua superficial del país, existe una escasez importante de agua en las comunidades rurales, particularmente indígenas, debido a la carencia de servicios, además de que los servicios que hay tienen un costo muy alto para quienes tienen que obtener este recurso en fuentes como las hoyas, las cuales, aparte de estar contaminadas en sumo grado (84.5% de esta agua no es apta para consumo humano debido a la mala calidad bacteriológica), se secan en período de estío. Para las mujeres significa recorrer hasta tres horas a pie para obtener este líquido, a la vez que esta necesidad es utilizada de manera contínua como instrumento de control y presión para que se integren a grupos políticos y religiosos y, con frecuencia, también implica conflictos entre municipios. Situaciones similares se observan en otros estados, donde además las afectaciones se originan por los problemas de contaminación. Otros ejemplos ocurren en las entidades del centro y norte del país, donde se dispone de menos agua y el coste para su disponibilidad es alto, y donde nuevamente son las mujeres y los niños quienes sufren más por tener que acarrear el agua desde otras fuentes con la consiguiente duplicación de sus horas de trabajo (Nazar *et al.*, 2010).

12.1 Género y agua para la producción agrícola

En México, la equidad sobre la propiedad de la tierra quedó establecida, en 1971, con la Ley de Reforma Agraria, en la que se reconoció la igualdad jurídica del hombre y la mujer para ser dotados de tierra. En la práctica, esto no ocurrió. En 1990 había 3.1 millones de ejidatarios en todo el país; de esta cifra, menos de 46,000 (cerca de 1.4%) títulos parcelarios pertenecían a mujeres. No hay datos sobre cuántas de éstas tienen acceso al riego, pero en general las mujeres rara vez participan en la unidades de riego o poseen títulos de concesión (Nazar *et al.*, 2010). En 2002 se creó el Programa de la Mujer en el Sector Agrario (PROMUSAG), en la Secretaría de la Reforma Agraria, con la finalidad de otorgar apoyos para la instrumentación de proyectos productivos para la población femenina con derechos agrarios, integrada por un padrón de 661,000 ejidatarias y comuneras. La cifra de beneficiarias de este programa ese año representa apenas 1.36% de las mujeres con derechos agrarios, además de que no es claro su acceso al agua en cantidad suficiente. Así, la tradicional exclusión que se ha hecho de la mujer en la tenencia de la tierra hace que esta situación se reproduzca en el acceso de los derechos de agua (Nazar *et al.*, 2010).

En La Agenda Azul de las Mujeres (2006) se indica que en los últimos años las políticas de descentralización de la administración del agua en México, plasmadas en la LAN[4] (2008), no han venido acompañadas de la generación de capacidades institucionales, tanto financieras como técnicas y humanas, en las mujeres. Dávila-Poblete (1998, 2000) analiza cómo las mujeres pobres en México están perdiendo los derechos de agua con la transferencia del manejo de los distritos de riego. Con los nuevos listados de las asociaciones de usuarios, el agua se destinará a los que trabajan la tierra y no a las mujeres ni a los hombres propietarios. Muchas mujeres no trabajaban la tierra, sino que dejaban que otros lo hicieran, pero tenían autoridad acerca del uso que se le daba al recurso, lo que bajo las nuevas estructuras está cambiando. Las mujeres enfrentan limitaciones para participar en la toma de decisiones públicas debido al confinamiento al hogar y a las desventajas en las relaciones comunitarias a consecuencia de las reglas patrilocales del matrimonio. Aunque en la LAN se señala que se debe fomentar la participación de los usuarios en los distintos ámbitos organizativos, no incluye a las mujeres porque el acceso de éstas al agua de riego generalmente es informal, ya que no tienen los derechos a su nombre. La LAN no las elimina de hecho, pero quedan fuera por los títulos, por la costumbre y porque ellas mismas se marginan de los órganos decisorios (Nazar *et al.*, 2010).

Para garantizar la participación de las mujeres, se ha sugerido que en el proceso de transferencia del control del Estado a las localidades se garantice su inclusión en las sesiones técnicas y de toma de decisiones, así como en los organismos encargados de la política de agua del país, como la CONAGUA.

13. Pobreza

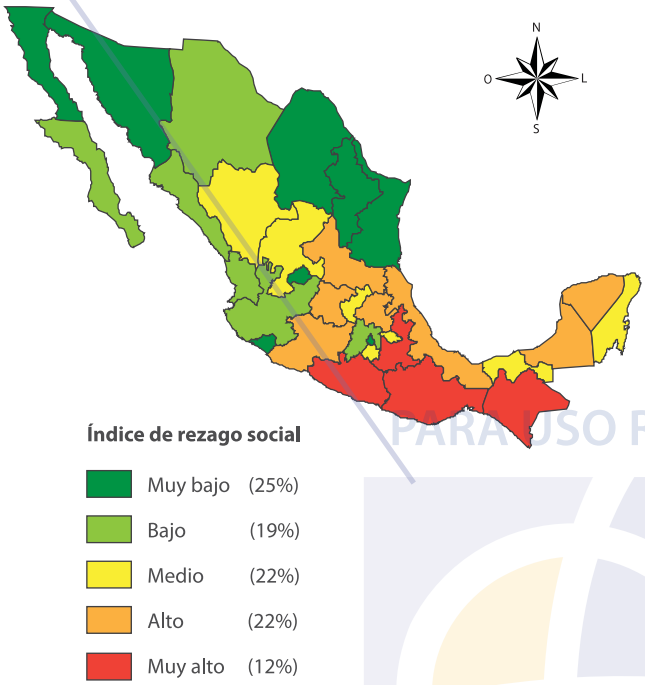
13.1 Situación en el país

En México, todavía 22 millones de personas no tienen acceso a servicios de drenaje y 3 millones carecen de servicio de agua potable; la mayoría de estas personas son de escasos recursos económicos y tienen un alto grado de vulnerabilidad (Guevara *et al.*, 2010). De acuerdo con

4 En el Capítulo I, artículo 5°, incisos II y III, reformados el 29 de abril de 2004, se establece que "Fomentará la participación de los usuarios del agua y de los particulares en la realización y administración de las obras y de los servicios hidráulicos" y "Favorecerá la descentralización de la gestión de los recursos hídricos conforme al marco jurídico vigente", respectivamente.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 18. Índice de rezago social estatal, 2005



Fuente: II Conteo de Población y Vivienda 2005, INEGI. Índice de Rezago Social, CONEVAL

las líneas de pobreza (CONEVAL, 2007),[5] se calcula que, hasta 2006, 14% de la población de México se encontraba en condiciones de pobreza alimentaria, 21% en pobreza de capacidades y 43% en pobreza de patrimonio. La Figura 18 muestra una representación gráfica del rezago social por entidad federativa.

13.2 Agua y pobreza absoluta

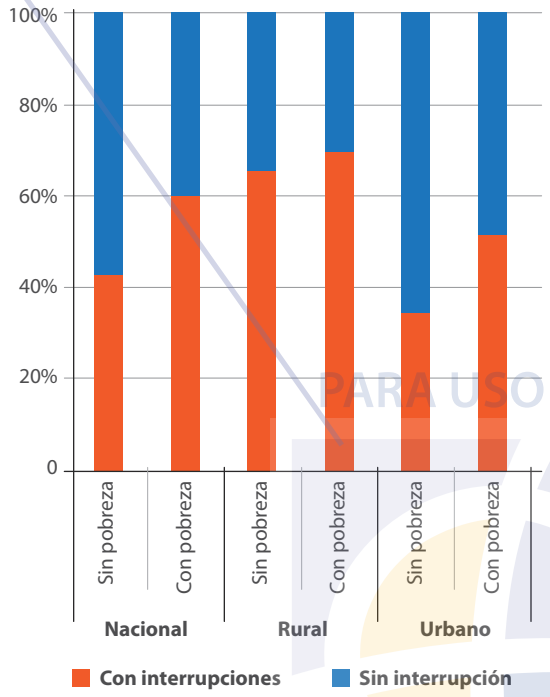
La Figura 19 presenta el nivel de servicio de agua para la población con pobreza alimentaria y sin ella a nivel nacional, así como en el ámbito rural y urbano. Las diferencias son claras y además se observa la discrepancia entre los hogares pobres en zonas rurales y urbanas, ya que mientras en el primer caso el nivel de servicio de agua es de 70%, para el segundo es de 50% (Guevara *et al.*, 2010). La pobreza también está relacionada con el acceso a la infraestructura pública para la provisión de agua. En la Figura 20 se muestra cómo los hogares sin condiciones de pobreza son más propensos a contar con una conexión a la red pública dentro de la vivienda, en tanto que es más probable que un hogar pobre tenga que proveerse del recurso a partir de una conexión a la red pública, pero fuera de la vivienda, o a través de otras fuentes, tales como una pipa, un pozo, un río u otra vivienda. De nuevo, la diferencia más marcada se observa entre hogares rurales en condiciones de pobreza alimentaria y hogares urbanos sin pobreza, ya que sólo uno de cada tres hogares rurales pobres tiene una conexión a la red pública en el interior de la vivienda, mientras que casi 90% de hogares urbanos sin pobreza cuenta con este servicio (Guevara *et al.*, 2010).

Para el drenaje, apenas 30% de los hogares pobres en zonas rurales tiene este tipo de conexión, en tanto que la cobertura para hogares urbanos sin pobreza es mayor a 90% (Figura 21). Es importante mencionar que 38% de los hogares pobres en zonas rurales no dispone siquiera de drenaje, lo cual implica que este tipo de hogares se enfrenta a condiciones adversas que probablemente representan mayores riesgos para la salud y de contaminación de las fuentes de agua. Finalmente, en la Figura 22 se puede observar que el gasto en agua, como proporción del gasto total del hogar, es mayor para los hogares pobres que para los no pobres. Cabe mencionar que la diferencia es más acentuada en zonas urbanas donde un hogar pobre destina en promedio 3.4% del gasto total del hogar, lo cual contrasta con el promedio de 1.8% que destina un hogar no pobre. Lo anterior significa que un hogar pobre paga casi dos veces más (en términos relativos) que lo que paga un hogar no pobre en una zona urbana. A nivel nacional, esta relación es de 1.7 a 1 y de 1.6 a 1 para los hogares rurales. Es decir, para cubrir sus necesidades de agua, los hogares pobres tienen que sacrificar mayor proporción del ingreso que un hogar no pobre. Estos datos sólo hacen referencia a los gastos directos en el servicio; sin embargo, como se mencionó antes, el servicio frecuentemente presenta interrupciones y en ocasiones la calidad del líquido no es confiable. La compra de agua embotellada es una de las medidas de protección más costosas que se adoptan. México es el segundo consumidor de agua embotellada en el mundo, lo cual puede estar relacionado con diversos aspectos como el crecimiento de ese sector económico en el mundo, pero también existe evidencia de la relación entre compra de agua embotellada y las deficiencias del servicio, particularmente en términos de tandeos, mala calidad del agua o desconfianza en su calidad. Por esta razón, el gasto en agua embotellada es mayor entre los hogares pobres, como ya se señaló (Soto, 2007).

5 De acuerdo con CONEVAL (2007), y con base en el ingreso mensual per cápita de agosto de 2006, se distingue para el ámbito rural la pobreza alimentaria (598.7 pesos), la de capacidades (707.84 pesos) y la de Patrimonio (1,086.4) pesos. Estas mismas clasificaciones para el ámbito urbano son de 809.87, 993.31 y 1,624.92 pesos, respectivamente.

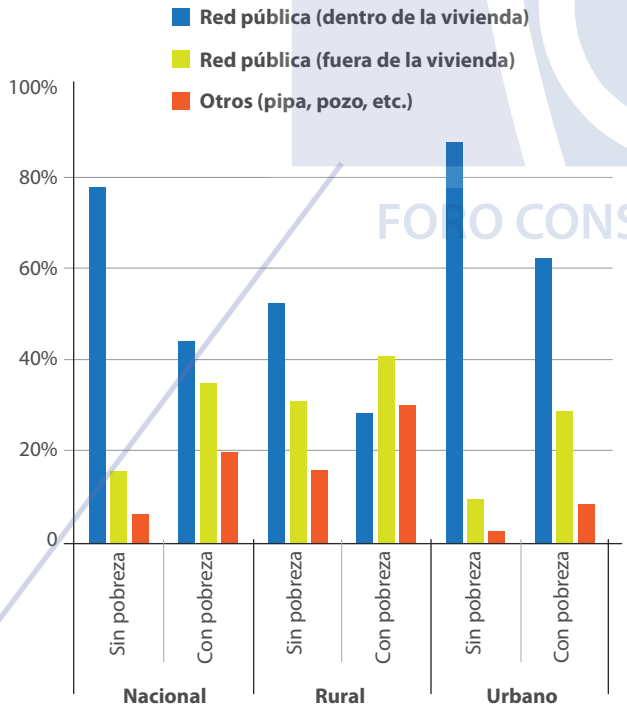
PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 19. Frecuencia del servicio de agua en viviendas particulares habitadas según condición de pobreza alimentaria



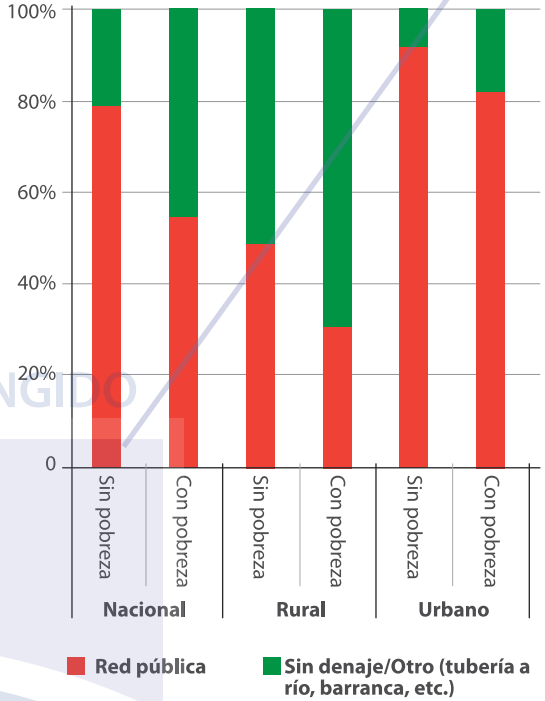
Fuente: Guevara *et al.*, 2010

Figura 20. Fuente del agua en viviendas particulares habitadas según condición de pobreza alimentaria



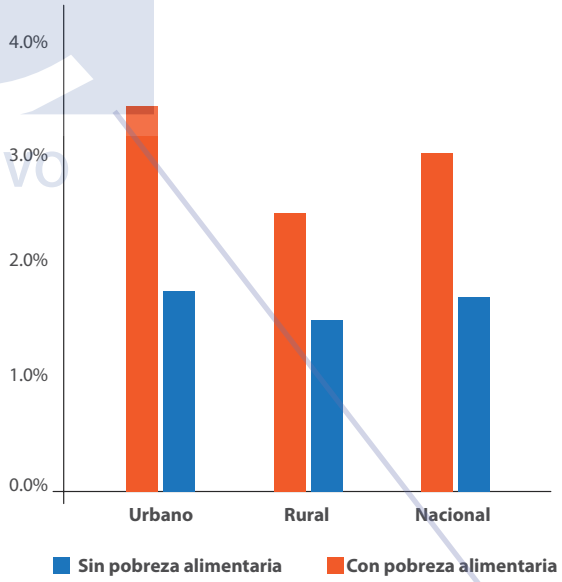
Fuente: Guevara *et al.*, 2010

Figura 21. Disponibilidad de drenaje en viviendas particulares habitadas según condición de pobreza alimentaria



Fuente: Guevara *et al.*, 2010

Figura 22. Gasto en agua como proporción del gasto total en viviendas particulares habitadas según condición de pobreza alimentaria



Fuente: Guevara *et al.*, 2010

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

13.3 Agua y pobreza relativa

Guevara *et al*. (2010) construyeron un índice de rezago de servicios de agua considerando porcentaje de viviendas particulares habitadas (VPH) que no disponen de (a) excusado o sanitario, (b) agua entubada de la red pública y (c) drenaje, a partir del cual se generaron cinco categorías de rezago: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo. En la Figura 23 se puede ver que el rezago en servicios de agua está correlacionado principalmente con los niveles de pobreza alimentaria. Se encontró asimismo que las localidades con estas dos características además tienen bajos índices de educación y salud.

13.4 Servicios de agua y educación

De acuerdo con Guevara *et al.* (2010), recientemente la Secretaría de Educación Pública (SEP) identificó las escuelas con mayores necesidades de atención en infraestructura. Uno de los criterios de identificación se refiere al estado en que están los sanitarios de dichos centros escolares. En la Figura 24 se presenta el grado de marginación y el respectivo estado de los sanitarios de dicho conjunto de escuelas. Como se puede ver, el grado de marginación está correlacionado con el mal estado de las instalaciones sanitarias, lo cual de alguna manera confirma que es la población más marginada (y pobre) la que se enfrenta a esta problemática. Así, la ausencia de infraestructura sanitaria adecuada en las escuelas es un problema que afecta principalmente a los niños que viven en hogares pobres. Como ha sido reconocido por UNICEF (2006), la falta de acceso a agua limpia y las condiciones antihigiénicas tienen un impacto negativo en la salud, en la asistencia escolar y en la capacidad de aprendizaje de los niños en edad escolar. Lo anterior es un claro ejemplo de cómo distintas manifestaciones de la pobreza se entrelazan y generan una trampa que impide elevar la calidad de vida de las personas.

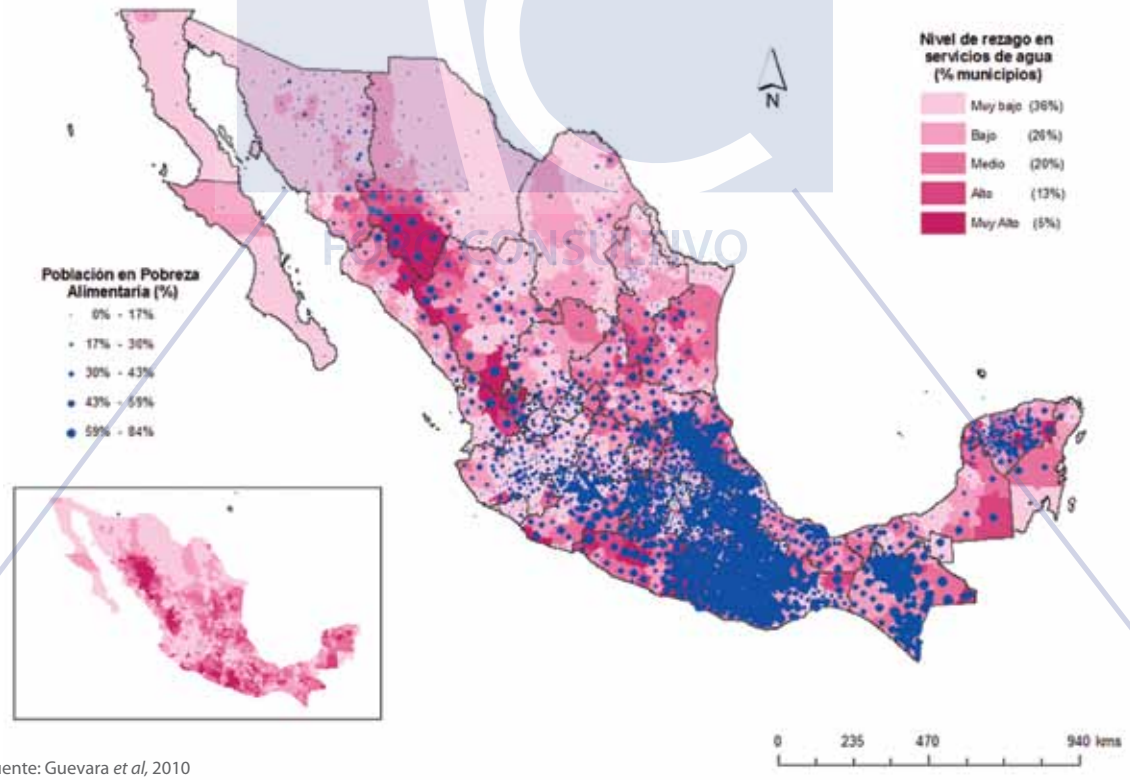
PARA USO RESTRINGIDO

14. Agua y población indígena

México es un país de gran diversidad étnica y lingüística. En 2005 se registró un poco más de 10 millones de indígenas que hablan más de 62 lenguas y viven en todo el país, aunque se concentran principalmente en los estados del centro y del sur (INEGI, 2005). Para evaluar la importancia de los pueblos indígenas en el manejo del agua es necesa-

PARA CONSULTIVO

Figura 23. Pobreza alimentaria y rezago en servicios de agua



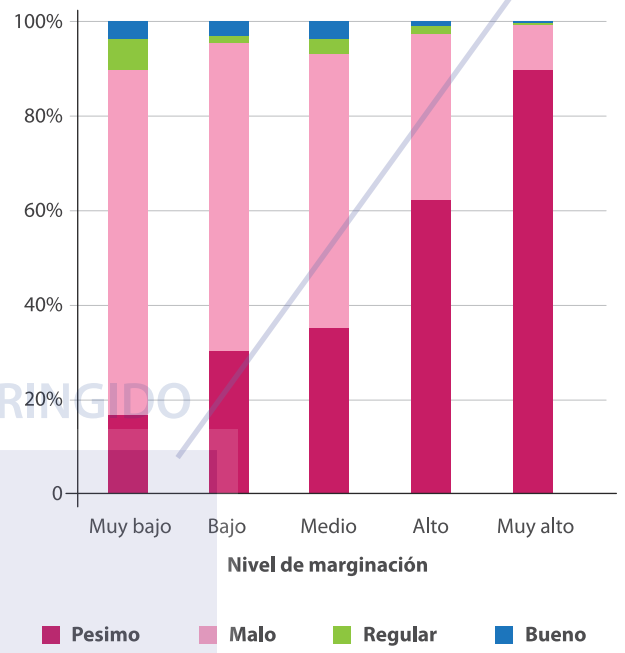
Fuente: Guevara *et al*, 2010

rio considerar sus territorios, que son los lugares en los que habitan, cultivan, trabajan y gobiernan. Este debate sobre el territorio quedó reabierto con la insurrección zapatista de 1994, debate que a la fecha no está resuelto y que se manifiesta en las diferentes percepciones sobre el proceso de construcción política de la autonomía indígena en México (Peña *et al.*, 2010).

Lamentablemente no todos los actores sociales han sido considerados por igual en las políticas federales de gestión del agua. Hasta ahora, en el diseño y ejecución de las mismas, los pueblos y las comunidades indígenas son invisibles, pese a que en sus territorios se precipitan importantes volúmenes de agua superficial que alimentan las corrientes y acuíferos del país, y a que dichas comunidades tienen un papel muy importante en la conservación de la cubierta vegetal en las partes altas de las cuencas (Peña *et al.*, 2010).

El hecho de que sean zonas de precipitación y recarga, así como la vigencia de sus formas de gobierno local, los hace actores clave para la conservación hidrológica, ya que mantienen los suelos y la salud de fuentes y corrientes de agua, actividades que todavía hoy encierran un importante conocimiento nativo del cual esos pueblos son poseedores. Existen ejemplos suficientes de que la población indígena sabe cómo defender sus patrimonios naturales, territoriales y de agua en condiciones de adversidad por la gran inequidad que los enfrenta con actores sociales que movilizan grandes recursos financieros y de influencia política. El principal problema es que este conocimiento no se recupera y tampoco existen políticas que los incentiven y refuercen (Peña *et al.*, 2010).

Figura 24. Nivel de marginación con respecto del estado de los sanitarios en escuelas con deficiencias en infraestructura



Fuente: Guevara *et al.*, 2010

15. Agua transfronteriza

15.1 Situación en el norte

El estado de Baja California se ubica en el extremo noroeste de la República Mexicana dentro de la franja territorial que a nivel nacional es reconocida por las regiones áridas y semiáridas, pero que además, a nivel mundial, es donde se ubican los grandes desiertos del planeta, cuya característica principal es la escasez de agua para consumo humano. No obstante la falta de agua, esto no ha sido factor limitante para propiciar el desarrollo económico y social de una de las regiones económicamente más importantes de México, donde casi 4 millones de habitantes han establecido su forma de vida con gente que, al provenir de todas las entidades del país, conforma un mosaico de culturas, tradiciones y costumbres que da origen a una nueva comunidad en la frontera norte de México (Román *et al.*, 2010). La fuente principal de agua de la región proviene del río Colorado en un volumen que anualmente es entregado por el gobierno estadounidense a México, de acuerdo con el Tratado de Aguas Internacionales del 3 de febrero de 1944 (Cuadro 15). Con esta agua se abastece para el consumo humano y uso productivo a los municipios de Mexicali, Tecate y Tijuana en al estado de Baja California, y al municipio de San Luis Río Colorado en el estado de Sonora. Otra fuente de agua es el acuífero que subyace en el Valle de Mexicali y que se recarga por las infiltraciones del propio río Colorado en su trayecto libre al Golfo de California (Román *et al.*, 2010). En esta región, la relación entre los dos países adquiere una dimensión característica adicional, debido a que el agua que consume la población de ambos es compartida. La presencia frecuente de sequías es causa de diversos conflictos, y también son problemáticas las inundaciones producidas por precipitaciones intensas por la falta de infraestructura de control.

Con base en un análisis de disponibilidad de agua para los cinco municipios de Baja California, se establece que sólo el municipio de Mexicali dispone de manera permanente de un volumen suficiente para cubrir la demanda de la mayor parte de la población durante todo el año.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 15. Tratado de Aguas Internacionales entre México y Estados Unidos de América

El Tratado establece que México entregue agua del río Bravo a Estados Unidos y que reciba agua de este país, del río Colorado. Además especifica que la contabilidad de entrega de agua a los Estados Unidos se lleva por ciclos de cinco años consecutivos y que, "en caso de sequía extraordinaria, los faltantes que hubieren se reponen en el ciclo siguiente". Sin embargo, el término sequía extraordinaria no está definido en forma explícita en el tratado (Martínez *et al.*, 2010). Para definir sequía extraordinaria se dice, primero, que un año es seco si la suma de los escurrimientos vírgenes (sin controlar) es menor que 3,388 millones de metros cúbicos (Mm^3), que es la media de los escurrimientos anuales registrados. También puede definirse como quinquenio seco aquel en el que la suma de los escurrimientos vírgenes sea menor que 16,940 Mm^3 (cinco veces la media). Como la aportación que debe entregarse a Estados Unidos es de 2,158 Mm^3 en un quinquenio y, por otro lado, el volumen de agua previsto para utilizarse en aprovechamientos en México en cinco años es de 9,825 Mm^3, podría considerarse que ocurre una "sequía extraordinaria" cuando el escurrimiento virgen quinquenal es menor que 11,983 (2,158 + 9,825) Mm^3 (lo que representa 71% del escurrimiento quinquenal promedio), condición que implica que la suma de los sobrantes en los seis afluentes sea menor o igual que cero.

Con información de Martínez *et al.*, 2010

PARA USO RESTRINGIDO

A través del río Colorado se entrega anualmente a Baja California un volumen de 1,850.234 Mm^3/año que equivale a 9.1% del escurrimiento base anual del río Colorado, mismo que es controlado en su totalidad por el gobierno estadounidense (CILA, 2000). No toda el agua que se entrega es de la misma calidad, ya que 10% posee un elevado contenido de sales y es inapropiada para uso directo en la agricultura. Para atender este último problema técnico, el gobierno de México ha establecido, en el sitio conocido como La Licuadora, un procedimiento para el mezclado de estas aguas con agua del acuífero con el fin de reducir la concentración total de sal y adecuar el agua para fines productivos. El problema de la cantidad de agua ha sido de alguna manera solventado entre los dos países, pero el de la calidad, al no formar parte del Tratado de una manera clara, se convierte en un problema (Román *et al*, 2010).

La situación en la cuenca transfronteriza con Estados Unidos preocupa aún más frente a los posibles efectos que el cambio climático provoque, en especial porque se espera una mayor sequía en la zona a futuro. Un aumento de la temperatura y una reducción de la precipitación se combinarían en un aumento de la frecuencia y severidad de las sequías hidrológicas, tal y como se manifiesta en las cuencas transfronterizas entre México y Estados Unidos. En buena medida, el problema se ha agudizado debido a los grandes incrementos del consumo urbano e industrial, no tanto así en una disminución del aporte a los cauces (Román, *et al*. 2010).

15.2 Frontera sur

En la frontera que México comparte con Guatemala y Belice, el agua es omnipresente. La mayor parte de la frontera México-Guatemala es fluvial (53%) y corresponde a los ríos Suchiate y Usumacinta, mientras que la casi totalidad de la frontera con Belice (87%) está conformada por el río Hondo. Varios humedales se extienden más allá de la línea de división internacional entre México y Guatemala, y numerosos ríos transfronterizos de distintos tamaños se suman a los tres ríos internacionales anteriormente mencionados. A éstos se añaden algunas lagunas y pequeños lagos divididos artificialmente por la demarcación política, así como aguas subterráneas cuyas conexiones transfronterizas no han sido exploradas a través de estudios detallados. Esta variedad de corrientes y de cuerpos de agua forma seis cuencas transfronterizas de diversos tamaños, de las cuales dos drenan hacia el Océano Pacífico, tres hacia el Golfo de México y una hacia el Mar Caribe (Kauffer *et al.*, 2010). A pesar de la omnipresencia del agua, la frontera sur parece ser poco relevante en materia hídrica para el gobierno mexicano y sus vecinos sureños. Así, la información sobre los usos del agua, contaminación y situación de las extracciones es muy escasa, en particular la referente a los países de Guatemala y Belice. Por otra parte, si bien hay más información en la parte mexicana, ésta está disponible por estados o por región hidrológica y no por cuencas, lo que dificulta su uso (Kauffer *et al.*, 2010).

FORO CONSULTIVO

En general, la disponibilidad del agua en cantidad y calidad no es un problema para la frontera sur, aunque sí se tienen rezagos en la provisión de servicios básicos de agua y saneamiento, en particular en las zonas indígenas (Kauffer *et al.*, 2010). A pesar de que la región se compone de seis cuencas transfronterizas, existe una ausencia casi total de cooperación entre Estados en materia de aguas compartidas, situación que contrasta con la riqueza de los intercambios locales transfronterizos.

Cuadro 16. Características de las cuencas compartidas de la frontera sur

Cuenca	Superficie km²	Número de localidades	Número de habitantes	Habitantes por km²	Bosques y selvas (% del total de superficie de km² de la cuenca)
Suchiate	**1,230**	**749**	**274,347**	**223.04**	**23.73**
Coatán	733	369	103,090	140.64	23.87
Grijalva	56,895	15,144	4´804,794	84.45	42.63
Usumacinta	73,192	9,058	2´353,842	32.15	45.24
Candelaria	20,816	1,547	114,276	5.48	61.66
Hondo	14,859	213	88,145	5.90	66.00
Total-Promedio	168,349	27,198	7´803,727	46.35	47.80

Fuente: Kauffer *et al.*, 2010

15.2.1 Las cuencas transfronterizas entre México, Guatemala y Belice

La Universidad Estatal de Oregón identifica para la frontera sur las cuencas transfronterizas de los ríos Suchiate, Coatán, Grijalva, Candelaria y Hondo. Un análisis de detalle (Kauffer *et al.*, 2010) encuentra que no existe hoy en día una delimitación oficial consensuada en materia de cuencas transfronterizas entre México, Guatemala y Belice, y que en realidad son seis cuencas y no cinco. Entre las seis cuencas compartidas identificadas, cuatro son binacionales (México y Guatemala) y dos son trinacionales (México, Guatemala y Belice). Las cuatro cuencas binacionales corresponden a los ríos Suchiate, Coatán, Grijalva, Candelaria, y las trinacionales se ubican en los ríos Usumacinta y Hondo.[6] Los datos de estas cuencas se muestran en el Cuadro 16.

Las seis cuencas transfronterizas abarcan una extensión total de 167,725 km², es decir, un poco más de 1.5 veces el territorio de Guatemala, alrededor de siete veces el territorio de Belice y más de dos veces el territorio de Chiapas. Para Guatemala, una gestión de cuencas transfronterizas con México y Belice representa comprometerse a ordenar o intervenir más de la mitad de su territorio; para Belice, una quinta parte del mismo, y para México, una mínima parte del total de su territorio (Kauffer *et al.*, 2010). Por ello, México debería ser el más interesado en la gestión de las cuencas compartidas debido a dos razones concretas: en las seis cuencas transfronterizas escurre aproximadamente 40% de toda el agua superficial del país y el territorio mexicano se encuentra en la parte baja de las mismas. A pesar de la continuidad territorial e hidrográfica evidenciada en las seis cuencas transfronterizas anteriormente descritas y de su importancia en volúmenes de escurrimientos, las políticas de los Estados permanecen centradas en los intereses estrictamente nacionales.

El principal mecanismo de coordinación que tiene México para abordar el tema de límites y aguas en la frontera sur es la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA), organismo dependiente de la Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE): se trata de una comisión binacional que tiene sus contrapartes en Guatemala y Belice. La CILA México-Guatemala fue establecida en 1961 y la CILA México-Belice en 1993. En el año 1990, México y Guatemala firmaron el tratado de fortalecimiento de la CILA, que fue ratificado y publicado en 2003. El trabajo de la CILA en los tres países ha consistido básicamente en delimitar la línea divisoria terrestre acordada entre ambas naciones —en los acuerdos de límites de 1882 entre México y Guatemala y de 1893 entre México y Honduras Británica (hoy Belice)—, con monumentos y con una brecha, así como en fijar la frontera fluvial.

La lógica actual de negociación entre México y Belice busca lograr un acuerdo para establecer la línea fronteriza en el arroyo azul (parte alta de la cuenca del río Hondo), en una zona de humedal que desaparece en tiempo de estiaje. La preocupación se relaciona con el hecho de que el límite está convenido, desde 1893, bajo el método europeo thalweg de ríos navegables, es decir, el canal más profundo del río. La disminución de la cantidad de agua del humedal provoca la "evaporación" del thalweg y, por consiguiente, de la línea fronteriza en ese tramo. En el río Suchiate, la preocupación se relaciona con la movilidad del río que genera no solamente inundaciones en las márgenes de su parte baja, sino también la movilidad de la línea de división internacional entre México y Guatemala que sigue también el thalweg. En respuesta a esta problemática, ambos riberanos llevan a cabo, desde hace seis décadas, intentos infructuosos de regresar el agua al cauce del río. En la lógica de defensa de la soberanía nacional centrada en el

6 Cabe subrayar que la cuenca del río Usumacinta solamente posee una porción muy reducida en Belice de 16 km².

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

establecimiento, delimitación y ratificación de la frontera común, un acuerdo binacional o trinacional sobre aguas y gestión de cuencas compartidas no resulta prioritario para los tres gobiernos (Kauffer *et al.*, 2010).

El tema de cuencas transfronterizas no ha sido atendido por las CILAS que no tienen competencias jurídicas en la materia, y México carece de tratados sobre aguas transfronterizas con sus dos vecinos. Es impensable en la actualidad llegar a acuerdos al respecto, dadas las declaraciones oficiales del gobierno guatemalteco. Éste señala que no se firmará ninguna convención internacional ni acuerdo en materia de agua con sus vecinos debido a que no quiere comprometerse ni poner en riesgo la soberanía sobre "sus" recursos naturales. Hace énfasis en que Guatemala es un productor de agua y drena 60% de su recurso a México (principalmente), El Salvador, Belice y Honduras (Colom, 2009), y no está dispuesto a comprometerse con los países vecinos a entregar cierta cantidad o calidad de agua (Kauffer *et al.*, 2010).

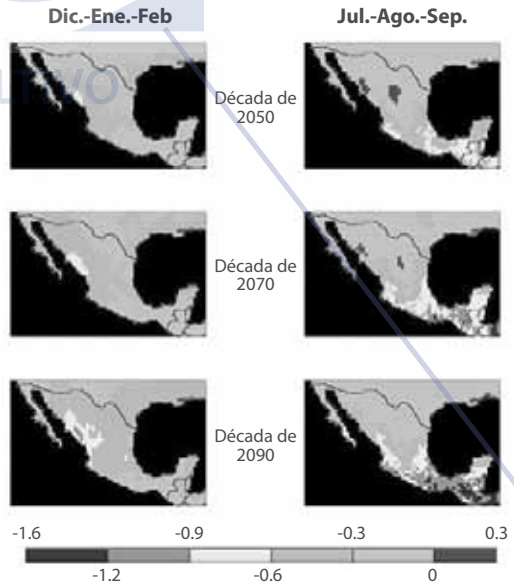
Hoy en día, las altas tasas de deforestación de las cuencas transfronterizas contribuyen a derrumbes y asolvamiento de ríos que provocan inundaciones de gran amplitud en cinco de las seis cuencas (Suchiate, Coatán, Grijalva, Usumacinta y Candelaria). Asimismo, la contaminación del agua por drenajes y desechos sólidos, el uso de agroquímicos, la minería a cielo abierto (Grijalva, Suchiate y Coatán) y la contaminación derivada de la industria petrolera (Grijalva y Usumacinta en la planicie tabasqueña y en el Petén guatemalteco) son problemáticas no estudiadas y no atendidas por los Estados. En el río Hondo, el problema central es la descarga de aguas de drenaje y de aguas agroindustriales usadas de los ingenios cañeros localizados en Quintana Roo, México, y en Corozal y Orange Walk, Belice (Kauffer *et al.*, 2010).

Finalmente, un problema central que hay que visualizar entre los tres países es el cambio climático. Las cuencas transfronterizas se encuentran en una franja continental promedio de 500 km lineales entre el Océano Pacífico, el Golfo de México y el Mar Caribe, es decir, en una ruta de huracanes potencialmente fuertes. En los últimos 20 años, ocho huracanes provocaron cuantiosos daños económicos, agrícolas y en las infraestructuras de las cuencas transfronterizas, e incluso se llegó a la pérdida de vidas humanas (Kauffer *et al.*, 2010). La cooperación en materia de aguas transfronterizas encaminada a estabilizar las cuencas en la cubierta vegetal, el suelo y el agua y centrada en un ordenamiento de actividades productivas y de asentamientos humanos es un imperativo para hacer frente a las distintas vulnerabilidades asociadas al cambio climático en la frontera común.

16. Cambio climático

Un análisis regional, que utiliza sistemas de interpolación a partir de resultados de modelos de circulación general, muestra que México registrará durante el presente siglo incrementos importantes e inéditos de la temperatura promedio. Hacia el final del siglo, de no adoptarse medidas mundiales de mitigación suficientes, el incremento de la temperatura puede alcanzar hasta 4°C, con efectos potencialmente desastrosos en el medio ambiente y actividades productivas. En este escenario, los recursos hídricos de México serán afectados de manera sustancial. En general, es de esperarse una combinación negativa de disminución de disponibilidad hídrica, ocasionada por menores precipitaciones en la mayor parte del país y mayor evaporación de suelo, vegetación natural y suelo, y otros incrementos en la demanda de agua (Martínez *et al.*, 2010). La Figura 25 muestra la anomalía de precipitación promedio (en mm/día) para los meses de invierno y verano en las décadas de 2050, 2070 y 2090. Como se puede observar, se estima en general que la precipitación total irá decreciendo de manera paulatina en las décadas por venir en prácticamente todo

Figura 25. Anomalía de precipitación promedio (mm/día) regionalizada a través de REA para el escenario SRES-A2 en relación al período 1961-1990



Fuente: Martínez *et al.*, 2010

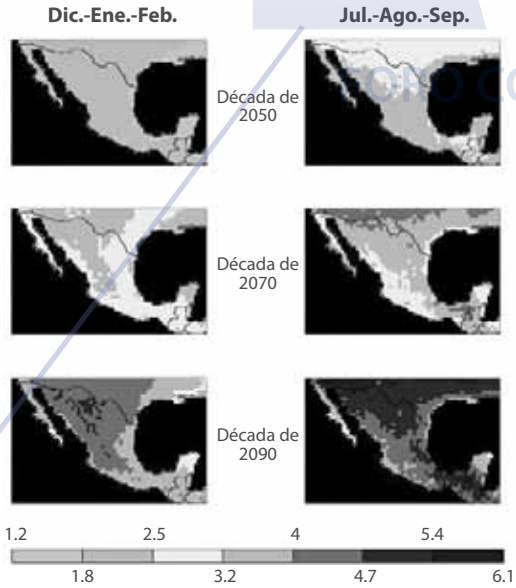
PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

México (en comparación con la climatología de 1961-1990). En invierno, esto se nota especialmente en las zonas norte y occidente del país, y en verano, en el centro y sureste del país. Hay que observar también que a mitad del siglo XXI se esperan anomalías positivas en verano en pequeñas regiones del centro, norte y noroeste del país, aunque no hay que perder de vista como, a medida que avanza el siglo, estas anomalías tienden a cambiar de signo.

Para el caso de la temperatura de superficie, los resultados se muestran en la Figura 26. Como se puede observar, en todos los casos se presentan anomalías positivas para todo el país, lo cual implica temperaturas más altas con respecto del período base 1961-1990. Además se nota un incremento paulatino de las temperaturas conforme se avanza en el tiempo, en especial en los meses de verano en el norte y sureste del país, en donde se estiman anomalías cercanas a los 5°C para la última década del siglo.

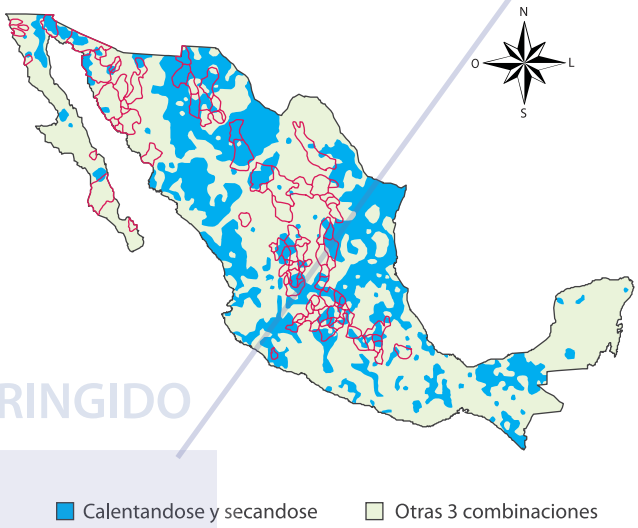
En particular, la demanda de agua para riego se verá incrementada. El riego consume alrededor de 77% de los recursos hídricos en uso en México. De manera previsible, la recarga natural de los acuíferos se verá reducida, lo que incrementará la presión sobre los acuíferos sobreexplotados y los actualmente en equilibrio. La Figura 27 muestra los acuíferos hoy sobreexplotados y que están en las regiones donde habrá menor recarga al subsuelo y mayor evapotranspiración de agua, y la Figura 28, donde los acuíferos experimentarán mayores problemas por intrusión salina. El estrés térmico ocasionado por el calentamiento global disminuirá la productividad de algunos de los cultivos más importantes para México, lo que alterará también su ciclo fenológico. El incremento en la temperatura incrementará asimismo la tendencia a la eutrofización en lagos y embalses. El reto principal consiste en incorporar los efectos del cambio climático en la planeación y gestión de los recursos hídricos. En términos generales, el sector hídrico de México deberá realizar un enorme y costoso esfuerzo de adaptación al cambio climático, para lo cual serán necesarios cambios institucionales y legales profundos que impacten en una más eficiente y sustentable gestión de sus recursos hídricos (Martínez *et al.*, 2010). Por lo anterior se considera que es necesario que el país invierta más en investigación y desarrollo en materia de cambio climático; que se establezcan mecanismos reales de compromiso en los involucrados con este fenómeno, y que se utilicen datos y modelos mexicanos en los procesos de planteamiento de escenarios.

Figura 26. Anomalía de temperatura de superficie (°C) regionalizada a través de REA para el escenario SRES-A2 en relación al período 1961-1990



Fuente: Martínez *et al.*, 2010

Figura 27. Acuíferos sobreexplotados en regiones que incrementarán su temperatura y disminuirán su precipitación



Fuente: Arreguin *et al.*, 2010

17 Eventos extremos

17.1 Situación general

México, por su situación geográfica, orografía e hidrología, está expuesto a la ocurrencia de diversos eventos extremos. Cada año, entre principios de mayo y hasta finalizar

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

octubre, se llegan a presentar más de 10 tormentas tropicales, de las cuales unas cuatro o cinco se convierten en huracanes que llegan a impactar de manera importante las costas tanto del Océano Pacífico como del Atlántico. En los principales ríos se producen crecientes que causan inundaciones de gran magnitud en las planicies y en las poblaciones situadas en las partes bajas. En las cuencas pequeñas, sobre todo en zonas urbanas, las crecientes son muy rápidas y la velocidad del agua puede causar incluso la muerte de personas. Por otro lado, también se tienen períodos de poca precipitación y disminución en los caudales de ríos que llevan a eventos de sequía, sobre todo entre los meses de noviembre y finales de abril, y en especial en la región norte y centro del país, con sus efectos reflejados en la baja producción agrícola, pérdidas de cabezas de ganado, problemas de abastecimiento de agua potable, etc (Arganis *et al.*, 2010).

17.2 Capacidad institucional

En el año 2000 se creó el Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) de la Secretaría de Gobernación para atender los efectos de desastres naturales, imprevisibles, cuya magnitud supere la capacidad financiera de respuesta de las entidades federativas. En 2003 se creó el Fondo para Atender a la Población Rural Afectada por Contingencias Climatológicas (FAPRACC) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), que en 2008 cambió al Programa de Atención a Contingencias Climatológicas (PACC). El objetivo del PACC es apoyar a productores agropecuarios, pesqueros y acuícolas de bajos ingresos para reincorporarlos a sus actividades productivas en el menor tiempo posible ante la ocurrencia de contingencias climatológicas atípicas, relevantes, no recurrentes e impredecibles. Desde el año 2000, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) analiza el impacto socioeconómico de los fenómenos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y sanitarios. En términos porcentuales, de un total de 11,576 eventos declarados por el FONDEN y el PACC entre 2000 y 2008, 96.9% fueron hidrometeorológicos, 1.6% químicos, 1.1% geológicos y 0.3% sanitarios (Arganis *et al.*, 2010). En la Figura 29 se muestra un mapa de los municipios que más han sido declarados en desastre por fenómenos hidrometeorológicos en el mismo período. Es interesante notar que el municipio con mayor número de declaratorias de desastre es Guadalupe, en Nuevo León, con 14 (1.6 al año), a pesar de estar ubicado en una zona de baja precipitación anual. La mayoría de las declaratorias de desastre en México han sido por ciclones tropicales (40%); le siguen las lluvias (33%), y en tercer lugar están las sequías (21%). El resto es por bajas temperaturas, tornados, nevadas, heladas o granizadas.

Arganis *et al.* (2010) agruparon todos los fenómenos hidrometeorológicos y asignaron un mayor peso a los desastres, menor a las emergencias y mucho menor a las contingencias climatológicas para obtener el mapa de la Figura 30, el cual agrupa afectaciones tanto por exceso de lluvia como por escasez de agua. Se observa que Baja California Sur, Chihuahua, sur de Sonora y norte de Sinaloa, Durango, Zacatecas, Nuevo León, Veracruz, Tabasco, Chiapas y Quintana Roo son los estados más problemáticos.

Figura 28. Acuíferos sobreexplotados en la costa bajo riesgo de intrusión salina por el incremento en el nivel del mar

Acuíferos afectados por la intrusión salina

Límites de acuíferos

Fuente: Martínez *et al.*, 2010

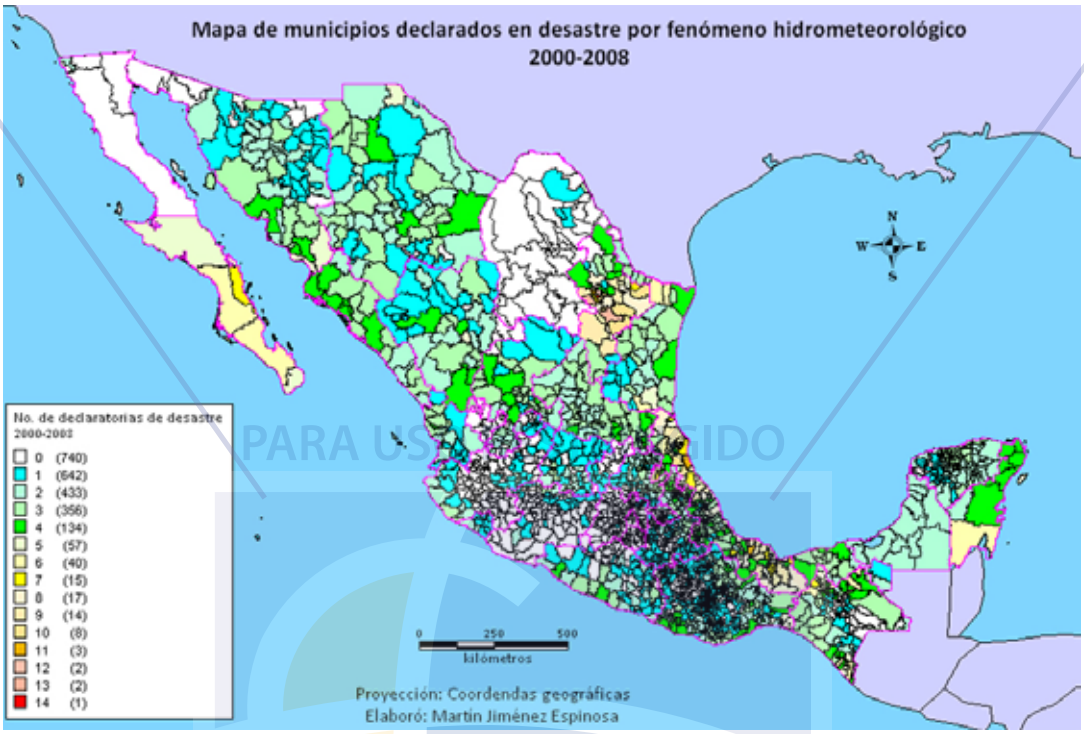
17.3 Inundaciones

Afortunadamente, las inundaciones por insuficiencia de obras de almacenamiento y control han sido poco frecuentes. No obstante, ha habido inundaciones importantes como las que se muestran en el Cuadro 17.

A pesar de los problemas por inundaciones (Figura 31), desde mediados de los años 80 se ha frenado el desarrollo de la infraestructura para la regulación de las avenidas, y es notable el deterioro en el mantenimiento y operación de las redes de información hidrométrica y climatológica, las cuales, además, han reducido su cobertura (desgraciadamente, de los años 70 a la fecha el número de estaciones hidrométricas y climatológicas ha disminuido sensible-

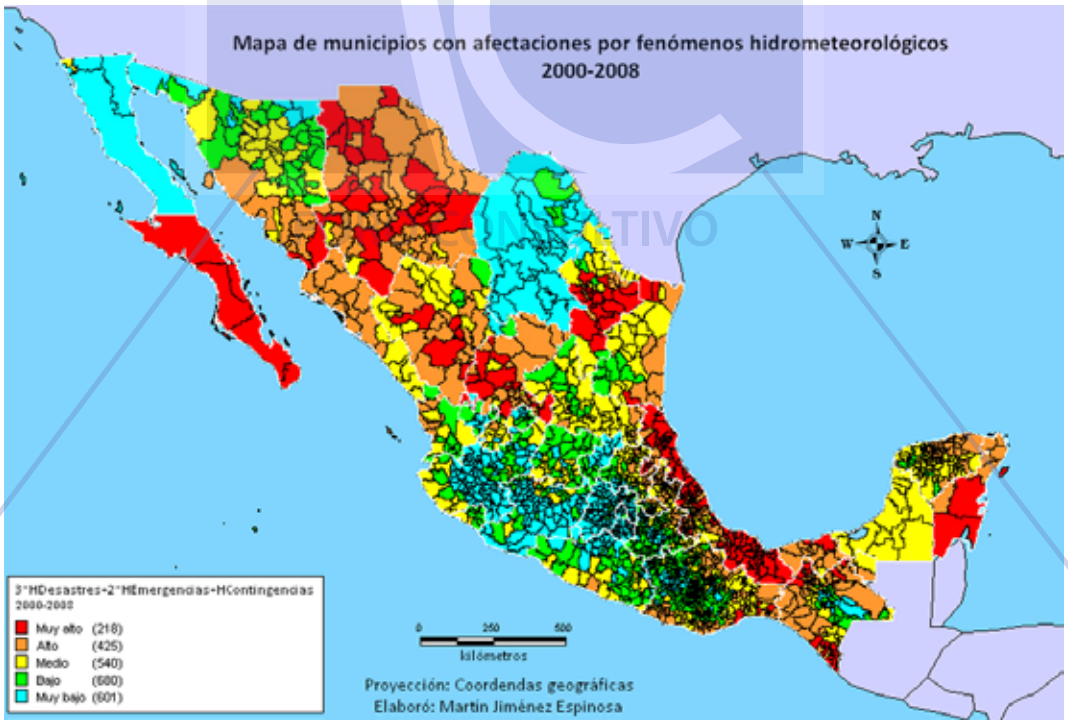
PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 29. Número de declaratorias de desastre por fenómenos hidrometeorológicos en municipios del país



Fuente: Arganis *et al.*, 2010

Figura 30. Combinación de declaratorias de desastre, emergencia y contingencia climatológicas por fenómenos hidrometeorológicos en municipios del país



Fuente: Arganis *et al.*, 2010

mente y la incorporación de tecnología digital de medición ha sido casi nula). También se ha descuidado el mantenimiento de los radares instalados por la CONAGUA hace ya más de 10 años y sólo se ha instalado uno nuevo en el estado de Chiapas. Es necesario ampliar el número de Sistemas de Alerta Temprana, incorporarles modelos precipitación-escurrimiento calibrados y garantizar su operación adecuada en todo momento.

17.4 Fenómenos meteorológicos extremos

Por su impacto en la disponibilidad del agua, cabe señalar que los ciclones tropicales generan la mayor parte de la humedad que se transporta del mar hacia la zona continental, aunque por otro lado generan grandes problemas de inundaciones. De 1970 a 2008 impactaron las costas de México 170 ciclones tropicales que, a pesar de haber causado importantes daños dada la vulnerabilidad de muchas poblaciones mexicanas, han dejado grandes cantidades

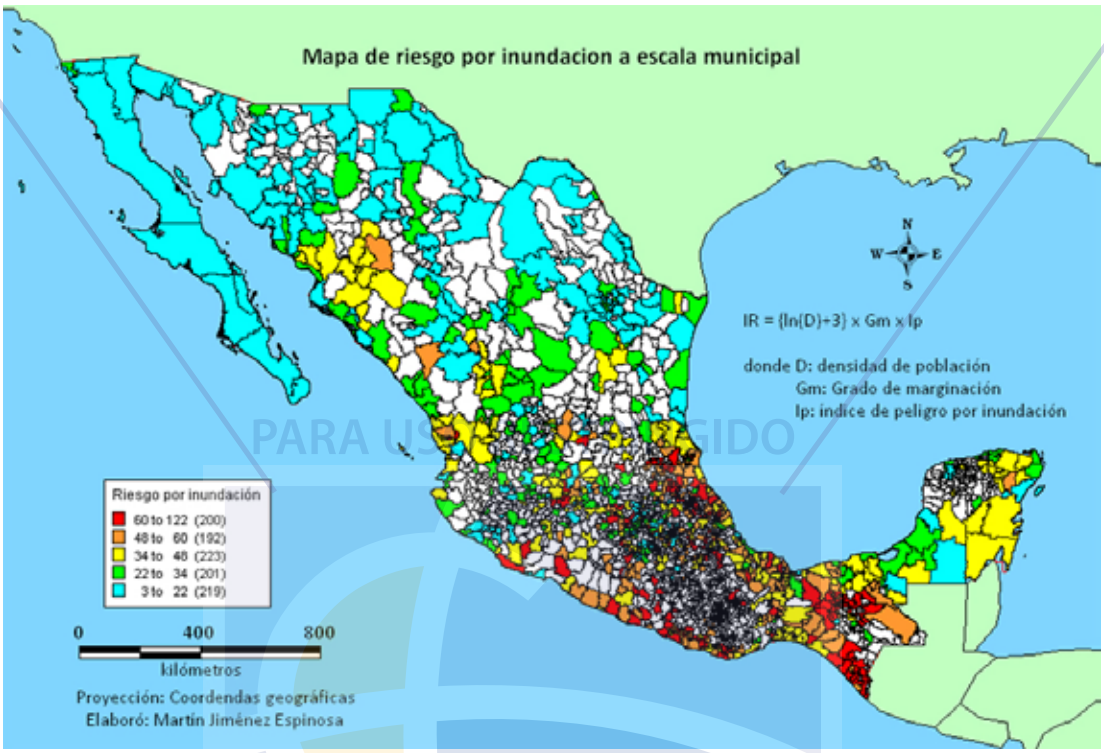
Cuadro 17. Eventos que han generado mayores daños por inundación

Año	Evento	Estados	Muertes	Población afectada	Daños totales (millones de dólares)	Gasto o lluvia	Descripción
1943	Lluvias de invierno	Sinaloa	27	600	$0.14	14,376 m^3/s, río Fuerte, estación Huites	Se desbordaron 11 ríos; los más importantes fueron Tamazula, Humaya, Fuerte, Sinaloa y Culiacán. La parte norte del estado quedó aislada por tierra y sin comunicación por vía telefónica y telegráfica. Dos puentes ferroviarios, algunos tramos del ferrocarril Sud-Pacífico, varias carreteras y casas fueron dañados. Hubo deslizamiento de tierras. Las pérdidas en la agricultura fueron cuantiosas.
1949	Lluvias de invierno	Sinaloa y Sonora	10	159,000	$10.20	5,265 m^3/s, río Yaqui, estación El Águila 10,000 m^3/s, río Fuerte, estación Huites 6,390 m^3/s, río Mayo, estación Tres hermanos	Se desbordaron los ríos Yaqui, Fuerte y Mayo. Más de 35 localidades quedaron inundadas. Al menos 9,000 casas fueron dañadas. Dos puentes y varias carreteras quedaron dañados. Se perdieron cientos de cabezas de ganado. Muchas localidades quedaron aisladas (se suspendió el servicio de telégrafo y teléfono). El servicio del ferrocarril Sud-Pacífico fue cancelado temporalmente por daños en las líneas férreas. La presa Álvaro Obregón, que estaba en construcción, fue destruida casi en su totalidad.
1955	Huracanes: Gladys, Hilda y Janet	Veracruz, Tamaulipas, San Luis Potosí, Yucatán y Quintana Roo	110	-	7.5*	4,002 m^3/s, río Tempoal, estación Tempoal 4,810 m^3/s, río Tampaón, estación Pujal	Los huracanes afectaron principalmente la cuenca del río Pánuco. Hubo inundaciones en las zonas bajas de la ciudad de Tampico, con una altura de 3.30 m sobre la marea media. La capacidad de la presa San José, en el estado de San Luis Potosí, fue rebasada. No se presentó falla en la cortina. Parte de la ciudad de San Luis Potosí se inundó. Un puente que conduce a los poblados de Mezquitic y Ahualulco resultó dañado. El desbordamiento del río Santiago destruyó una gran cantidad de viviendas en el poblado de Soledad Diez Gutiérrez. En Tampico y Ciudad Madero se contabilizaron cerca de 6,010 casas destruidas o dañadas. El área inundada se estimó en 6,400 km2 y se perdieron 20,000 cabezas de ganado.
1959	Ciclón de Manzanillo	Colima y Jalisco	1500	1,600	-	S/R	Tres barcos mercantiles se fueron a la deriva con todo y su flota. En Cihuatlán, 25% de las casas fueron totalmente destruidas. Hubo carreteras dañadas y trenes descarrilados.

S/R Sin registro de lluvia ni gasto
* Cuantificación de daños correspondientes sólo a la ciudad de Tampico
Fuentes: Arganis *et al*., 2010. Fascículos sobre inundaciones, revista *Prevención*, informes de la serie Impacto e información propia del Área de Estudios socioeconómicos.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 31. Mapa de estimación de riesgo por inundación en los municipios de todo el país



Fuente: Jiménez y Eslava, 2008.

de agua que llenan presas y lagos naturales y aportan humedad a gran parte del territorio nacional. Por otra parte, las sequías azotan muchas regiones del país, lo que causa grandes pérdidas económicas, sobre todo en las regiones agrícolas y ganaderas.

18. Administración del agua

En los últimos 25 años, el Estado mexicano ha implementado un profundo proceso de reestructuración para manejar el agua del país con dos ejes fundamentales. El primero, la transformación de la estructura legal, y el segundo, un importante proceso de desconcentración y descentralización. Esta transformación supone la democratización de las estructuras de gestión a partir de la apertura a la participación de los usuarios, la sociedad organizada y la empresa privada. Como resultado de esto se han creado y reforzado las gerencias regionales, los Consejos de Cuenca y sus órganos auxiliares, así como los Organismos de Cuenca. De esta manera se pasó de un modelo de "racionalidad administrativa" altamente centralizado a otro todavía en construcción, más descentralizado y con una peculiar propuesta de ampliar la participación social y del sector privado denominado por Aboites (2009) como el modelo "mercantil ambiental" (Caldera *et al.*, 2010).

Las reformas se han centrado en aquello administrado por el Estado: los Distritos de Riego, el agua de las ciudades; pero las políticas han marginado lo que Aboites llama las aguas pueblerinas, los 2.5 millones de hectáreas de pequeño riego y la multitud de comunidades rurales que administran su propia agua.

18.1 Aspecto institucional

La evolución del marco institucional se muestra en el Cuadro 18. En 1989 se crea la CONAGUA como la más importante autoridad federal para el manejo del agua. Al inicio, era una institución descentralizada de la SARH, y en 1994 pasó a ser un organismo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP, actualmente SEMARNAT). La CONAGUA representó, dentro de esta secretaría, casi 72% de su presupuesto en 2009. La CONAGUA cuenta con un consejo técnico, un director general, un órgano de control interno y las correspondientes unidades administrativas (Torregrosa *et al.*, 2010).

PARA USO RESTRINGIDO
FINO CONSULTIVO

Cuadro 18. Evolución del marco institucional

El primer antecedente institucional de la CONAGUA se remonta a 1853, año en el que fue creado el Ministerio de Fomento, Colonización, Industria y Comercio que tenía a su cargo el fomento agropecuario y la irrigación. Posteriormente, en 1917 fue creada la Dirección de Aguas, Tierras y Colonización que en 1926 se transformó en la Comisión Nacional de Irrigación (CNI), institución a la cual se le encomendó "el manejo del agua en la era posrevolucionaria" y que dependía de la Secretaría de Fomento. Entre diversas funciones, la CNI debía crear y operar obras de riego, así como implantar planes y proyectos de irrigación.

En virtud de las reformas a la Ley de Secretarías y Departamentos de Estado, en 1947 "el agua pasó a ser jurisdicción de la Secretaría de Recursos Hidráulicos y en 1970 año en que la responsabilidad del agua potable pasó a la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP)". En 1976, la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG) y la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH) fueron fusionadas en la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). En 1980, la SAHOP transfirió algunos de los sistemas de agua potable a los gobiernos estatales y, en casos excepcionales, éstos los transfirieron a algunos municipios. Posteriormente, en 1982 se creó la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), a la que se le atribuyó la responsabilidad de construir y operar los sistemas hídricos del país.

A partir de 1988 comenzaron a realizarse "acciones tendentes a cambiar o anular, desde las mismas estructuras institucionales, la mayoría de los logros y las reivindicaciones sociales obtenidas hasta entonces". Es por eso que en enero de 1989 –en el marco de los primeros procesos de liberalización del mercado en México– fue creada por el presidente Salinas de Gortari la CONAGUA, que desde su origen ha jugado un papel fundamental en los procesos de privatización del agua en el país, aunque con poco éxito. La creación de esta nueva institución –en la que por primera vez se centralizaba en un solo órgano administrativo la gestión integral del agua– obedeció a razones de diversa índole: en el panorama internacional, desde 1990 se creó una agenda tendente a reestructurar el manejo del agua en el mundo, lo que requería profundas reformas legislativas e institucionales que en la mayoría de los casos "fueron diseñadas, apoyadas y promovidas por el Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional". En México estas directrices tuvieron eco, por lo que se comenzó a manejar un discurso que se centraba en la idea de modernizar las políticas gubernamentales, y más específicamente las políticas relacionadas con el agua. Dicha transformación institucional ha sido lenta debido a que a lo largo de nuestro país han surgido innumerables resistencias en defensa del derecho al agua.

En 1994, la CONAGUA se incorporó a la recién creada SEMARNAP, a la que se le delegó la función de dirigir la política nacional en materia de agua. En 2000, con las reformas a la Ley de la Administración Pública Federal, esta Secretaría se dividió en dos: la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). De esta última depende hoy en día la CONAGUA.

Con información de Rodríguez y Emanuelli, 2010

PARA USO RESTRINGIDO

18.2 Participación privada

Las condiciones para la participación privada (PP) empiezan a ser construidas en la década de los años 80, cuando se crea el entorno para democratizar las estructuras de gestión de los sistemas de agua potable y saneamiento. El contexto para ello son las recurrentes crisis económicas que favorecen el sometimiento de la política económica y social a las exigencias impuestas por los organismos financieros internacionales como el Banco Mundial, el Fondo Monetario Internacional, el Banco Interamericano de Desarrollo, entre otros. Se crea además la idea de que la participación privada sería la solución para lograr un mejor desempeño y una mayor eficiencia en el manejo de los sistemas de agua y saneamiento (Torregrosa *et al.*, 2010). En México, la inversión privada se ha realizado tanto en el ámbito de las empresas de agua potable como en las de saneamiento. En general, consta de al menos tres formas (Torregrosa *et al.*, 2010):

FORO CONSULTIVO

- La participación en la administración integral de sistemas, en los cuales las empresas privadas, si bien se supone deberían invertir capital propio, en realidad acceden a préstamos blandos por parte del Estado. Son cuatro los casos, dos de concesión total: Aguascalientes y Cancún; uno de contrato de prestación de servicios: Navojoa, y un caso de empresa mixta: Saltillo.
- La participación en la administración de los sistemas a través de contratos de prestación de servicios parciales, como ocurre en la Ciudad de México y Puebla, entre otras. En estos casos se le cede la responsabilidad de la administración sin inversión de capital y normalmente los contratos son de corto plazo.
- La participación a través de la construcción, operación y transferencia (los llamados COT), mecanismo que se ha dado sobre todo en la construcción de plantas de tratamiento en todo el país.

18.3 Participación social

En cuanto a la participación social y de los usuarios en la gestión del agua, ésta se dio, antes que nada, en los Distritos de Riego del país (hacia fines de los 80 y a lo largo de los 90), principalmente a través de la conformación de las asociaciones de usuarios y, después, a través de la constitución de espacios mixtos como los Consejos de Cuenca y sus órganos auxiliares (Comisiones y Comités de Cuenca, así como los Consejos Técnicos de Aguas Subterráneas-COTAS), los cuales fueron concebidos como órganos de coordinación y programación hidráulica de la delimitación territorial que comprende el área geográfica de la cuenca o cuencas hidrológicas en que se constituyen estos Consejos. En 1994 se promulga el reglamento de la Ley de Aguas Nacionales (LAN) en el que se determinan quiénes integran el Consejo de Cuenca y el carácter de la participación; de acuerdo con la ley, la participación estaría limitada a los usuarios de los diferentes usos. En este primer momento, el componente gubernamental del Consejo rebasa en número al total de usuarios representantes de los distintos usos considerados. Esto significa que el peso de la programación y coordinación para una gestión más integrada del recurso, a pesar de la apertura a los usuarios, hasta este momento sigue concentrándose en las instancias gubernamentales. En 1997, con la experiencia adquirida y la recuperación de la demanda de participación de los propios usuarios, se reforman los reglamentos de la LAN y se modifica la estructura interna de los Consejos de Cuenca, con lo cual se busca un mejor balance entre actores gubernamentales y usuarios participantes, por lo que se reduce el número de participantes del gobierno federal y no se limita el número de usuarios representantes. Con ello se logra un mayor equilibrio, pero el peso gubernamental sigue prevaleciendo. El impulso más importante para la creación de Consejos de Cuenca y sus órganos auxiliares en el país se da a partir de 1997, cuando se crea, dentro de la estructura orgánica de la CONAGUA, la Gerencia de Coordinación de Consejos de Cuenca, a través de la cual se ejecuta la estrategia general para la creación de los Consejos y sus órganos auxiliares. Esta estrategia contaba con cuatro fases: gestación, instalación, consolidación inicial y operación y desarrollo. Así se pasó de un Consejo de Cuenca en 1993, a los 25 Consejos de Cuenca de la actualidad. Asimismo se cuenta con 21 Comisiones de Cuenca, 25 Comités de Cuenca y 78 Consejos Técnicos de Aguas Subterráneas-COTAS (Torregrosa *et al.*, 2010)

Es hasta 2004, con las reformas a la LAN, que se fortalece el marco legal de la gestión del recurso a nivel de cuencas hidrográficas y se amplía la participación social en los consejos. Por ley, esta participación ya no se circunscribirá exclusivamente a los usuarios, sino que también incluirá a la sociedad organizada en general. En las reformas a la LAN se establece que la representatividad de los usuarios, en sus diferentes usos, y de la sociedad organizada, como las Organizaciones de la Sociedad Civil, deberá ser por lo menos 50% del total de participantes en el Consejo. En esta última reforma también se fortalece la desconcentración de la gestión de los recursos hídricos por cuenca a través de la creación de los Organismos de Cuenca, retomados del modelo francés de gestión del agua, de índole gubernamental y con carácter rector. Los Organismos de Cuenca se conciben como unidades técnicas, administrativas y jurídicas especializadas, con carácter autónomo según la LAN, adscritas directamente al Titular de la CONAGUA, y cuyas facultades son conocer, acordar y normar la política hídrica regional por cuenca hidrológica, en congruencia con la política hídrica nacional. Estos Organismos de Cuenca introducen un elemento adicional a la reestructuración política administrativa de la CONAGUA organizada, hasta antes de las reformas a la LAN, en 13 regiones hidrológicas administrativas que abarcaban las 37 regiones hidrológicas naturales del país. Estas estructuras regionales se fortalecieron a partir de la década de los 90, cuando la CONAGUA inicia el retiro de algunas de sus oficinas estatales y transfiere varias de sus funciones, en materia de agua potable, a los gobiernos de los estados y a los municipios y, por otro lado, fortalece su administración a nivel regional (Torregrosa *et al.*, 2010).

18.4 Marco institucional en los estados

En el ámbito de los estados se inicia un proceso de reestructuración institucional que creará las instancias para la gestión estatal del recurso. Surgen así las Comisiones Estatales de Agua y los Institutos del Agua y se inicia un proceso legislativo importante para crear las leyes estatales de agua. Este proceso no es simultáneo en todo el territorio nacional, ya que surge en algunos estados primero y luego en otros. En los municipios también se inician importantes cambios, todos ellos orientados a fortalecer las instancias de gestión del recurso. Así surgen los organismos operadores de agua potable como entidades desconcentradas del municipio o del gobierno estatal.

Esta reestructuración de doble nivel, con la cual se busca descentralizar la administración del recurso pero sin perder el control del proceso, por un lado fortalece los poderes estatales al transferirles funciones y recursos, y por el otro impulsa la creación de una instancia regional cuya función es regular y normar la gestión integrada de la cuenca que

USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

esté por encima de las instancias estatales. Este proceso ha contribuido a crear tensiones entre los gobiernos estatales y las instancias regionales de la CONAGUA, las cuales no han sido resueltas a la fecha. El eje central de esta tensión se expresa en la tendencia creciente al fortalecimiento y autonomización de los gobiernos de los estados, los cuales demandan mayores atribuciones y funciones en la gestión del recurso para resolver los problemas que se les presenten en su ámbito más inmediato. También se expresa en las dificultades que tienen las gerencias regionales de la CONAGUA para responder a las demandas estatales de solución y atención a los problemas por la reestructuración institucional que están sufriendo, aunado a la complicación que esto implica tanto en la toma de decisiones como ante los problemas presupuestales y las limitaciones de personal para responder con eficiencia. El agua, más que nunca, se constituye en un factor crucial en la conformación y consolidación de los territorios de poder por el control del recurso (Torregrosa *et al.*, 2010).

18.5 Gobernanza del agua y manejo integrado

La gobernanza y el manejo integrado del agua se complican en México por los grandes niveles de desigualdad e inequidad social, política, económica y cultural de la población. En este sentido, se tendría que pensar en el modelo de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) como un punto de llegada y no como punto de partida, pues una gestión del recurso de este tipo implica la preexistencia de una ciudadanía consolidada en pleno ejercicio de sus derechos y obligaciones, igualdad en el acceso oportunidades y recursos, una cultura política democrática, entre otras, situación que en el país está muy lejos de ser. Sería conveniente pensar en un modelo de la GIRH que implique una construcción de "abajo hacia arriba" y no exclusivamente de "arriba hacia abajo", es decir, hay que recuperar las experiencias obtenidas en el país en la microcuenca, la localidad, la comunidad, las cuales ya han tomado en sus manos la resolución de los problemas que se les presentan y han involucrado a las autoridades correspondientes para la solución conjunta de los mismos. Sería importante contar con políticas públicas que incentiven y generalicen estas experiencias (Caldera *et al.*, 2010).

El Estado ha cedido centralidad en el espacio público, pero no a favor de la sociedad, sino básicamente a favor de actores privados mercantiles. Esto se ve reflejado en el hecho mismo de que el diseño institucional que ha intentado introducir esquemas participativos y de GIRH, tanto en lo nacional como en lo local, han sido más bien limitativos de la participación y del alcance de la descentralización en la toma de decisiones, y sin posibilidades de construir condiciones propicias para que los actores se autocomprometan con acciones radicales para frenar la crisis del agua que se vive en el país. Por ejemplo, la participación social, que según la Comisión Nacional del Agua (CNA) es uno de los ejes fundamentales del diseño de la política hídrica en México, no logra articularse con resultados efectivos de disminución de la demanda del recurso. Los Consejos de Cuenca, Consejos Técnicos de Aguas Subterráneas, Comités y Comisiones de Cuenca o Consejos Directivos o Consultivos de los organismos operadores del servicio de agua potable y alcantarillado no tienen ni la representatividad ni la vinculación suficiente con todos los usuarios que no participan; no logran convertirse en instrumentos efectivos de rendición de cuentas, y mucho menos ejercen contrapeso a los actores poderosos que influyen de manera efectiva en la formulación de decisiones y que tienden a privatizar los beneficios. Estos órganos de 'representación' tampoco llegan a convertirse aún en interfaces Estado-sociedad, donde los intercambios entre actores de ambas esferas sean equitativos, útiles y vinculantes con el fin de generar compromisos con acciones efectivas para disminuir las extracciones o la emisión de contaminantes. En suma, los principales problemas en México siguen siendo cen tralización, participación social acotada y beneficios distribuidos de manera selectiva (Torregrosa *et al.*, 2010).

18.6 Registro de derechos de agua

La administración y control del recurso se realiza mediante el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA). El REPDA considera cinco grupos de usuarios, cuatro corresponden a usos consuntivos: el agrícola, abastecimiento público, la industria autoabastecida y las termoeléctricas, y por último el hidroeléctrico, que se contabiliza aparte por corresponder a un uso no consuntivo. El Cuadro 19 muestra los volúmenes concesionados en 2008 para los cuatro primeros usos.

Desafortunadamente, su actualización es deficiente, en particular en lo que concierne al agua subterránea. Por ejemplo, en Laguna Seca, donde la labor de campo ha permitido tener una mayor precisión cuantitativa respecto del número total de pozos existentes (legales, irregulares y clandestinos) y la superficie total de riego por tipo de tecnología (gravedad y presurizada), para 2003 el COTAS tenía registrados 1,126 pozos, en tanto que el REPDA sólo contabilizaba 656; esto es, el REPDA presentaba un subregistro de más de 40%. También la recuperación de derechos de agua que datan de la época prehispánica (desde tiempos de la gentilidad), la colonia y la reforma agraria es deficiente.

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

19. Marco jurídico

19.1 Principales disposiciones

El conjunto de normas jurídicas e instituciones creadas en México para regular y administrar el agua conforma un entramado complejo (y confuso) de disposiciones y facultades que suele convertirse en un laberinto incluso para los expertos (Gutiérrez y Emanuelli, 2010). Tanto en la Constitución como en los tratados internacionales, así como en las normas federales, estatales y municipales, encontramos disposiciones de interés que se muestran de manera muy resumida en el Cuadro 20.

La CNA también ha expedido doce NOM relacionadas con el agua que establecen los criterios que deberán observar los organismos operadores de sistemas de agua potable, saneamiento y alcantarillado. De estas 12 NOM, seis están vinculadas con el entorno rural:

- NOM-001-CNA-1995. Sistemas de alcantarillado sanitario. Especificaciones de hermeticidad.
- NOM-002-CNA-1995. Toma domiciliaria para el abastecimiento de agua potable. Especificaciones y métodos de prueba.
- NOM-003-CNA-1996. Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.
- NOM-004-CNA-1996. Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general.
- NOM-011-CNA-2000. Conservación del recurso agua. Establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.
- NOM-013-CNA-2000. Redes de distribución de agua potable. Especificaciones de hermeticidad y métodos de prueba.

19.1.1 Evolución del marco normativo para controlar la contaminación del agua

Municipal

En México se cuenta con un marco normativo para proteger la calidad del agua desde 1973, cuando la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos estableció las bases para el registro y monitoreo de las descargas de residuales y para, la caracterización y clasificación de todos los cuerpos de agua en el país y se establecieron metas de calidad. Por desgracia, esto no se llevó a cabo por falta de apoyo económico y voluntad política. Posteriormente, a partir de 1982 se realizaron esfuerzos para establecer una normatividad para cada tipo de descarga, similar a la de los Estados Unidos. Se establecieron en total 44 normas, pero por su baja aplicación, estos esfuerzos contribuyeron muy poco al tratamiento del agua residual y al control de la contaminación. En 1996 se estableció un nuevo marco jurídico para controlar en forma gradual la contaminación y establecer metas de tratamiento en función del reúso del agua tratada o su disposición final. Ha sido gracias a dicha normatividad que la cantidad de agua tratada en el país se duplicó a partir de 1996, a diferencia del comportamiento que venía teniendo durante los siete años anteriores (estimación con base en datos de CONAGUA, 2000 y 2005), y se tendrá un aumento mucho más significativo al tratar un volumen importante del agua residual producida por la Ciudad de México (Jiménez *et al.*, 2010).

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 19. Usos consuntivos según el origen del tipo de fuente de extracción, 2008 (miles de Mm^3, km^3)

Uso	Origen		Volumen total	Porcentaje de extracción
	Superficial	Subterráneo		
Agrícola[a]	40.7	20.5	61.2	76.8
Abastecimiento público[b]	4.2	7	11.2	14
Industria autoabastecida[c]	1.6	1.6	3.3	4.1
Termoeléctricas	3.6	0.4	4.1	5.1
Total	**50.1**	**29.5**	**79.8**	**100**

Nota: 1 km^3 = 1,000 hm^3 = 1,000 millones de m^3
Los datos corresponden a volúmenes concesionados al 31 de diciembre de 2008
[a] Incluye los rubros agrícola, pecuario, acuacultura, múltiples y otros de la clasificación REPDA. Incluye asimismo 1.3 km^3 de agua correspondientes a distritos de riego pendientes de inscripción
[b] Incluye los rubros público urbano y doméstico de la clasificación REPDA
[c] Incluye los rubros industrial, agroindustrial, servicios y comercio de la clasificación REPDA
Fuente: CONAGUA. Subdirección General de Administración del Agua. Estadísticas del Agua en México, 2010

Industrial

En México, la preocupación por el ambiente inició con la publicación, en 1971, de la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental (LFPCCA). Esta ley estuvo vigente hasta 1982, cuando se publica la Ley Federal de Protección al Ambiente (LFPA), cuya vigencia se prolongó hasta 1988. Con la publicación de estas leyes, en el período de 1971 a 1988 numerosas industrias incluyeron en su organigrama un área ambiental; sin embargo, las crisis económicas recurrentes pospusieron muchas de las buenas intenciones en materia ambiental y las empresas terminaron por cerrar sus áreas ambientales. Con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), publicada en 1988 y sus revisiones en 1996 y 2007, se creó un nuevo impulso al "mercado ambiental". No obstante, las empresas en general no crearon un área ambiental especial, sino que la abrieron dentro o junto con áreas ya existentes como seguridad o higiene (López *et al.*, 2010). Desafortunadamente, el personal a cargo del área ambiental con frecuencia no tiene educación formal en el área, lo que ha propiciado que la industria mexicana enfrente de manera recurrente problemas como los siguientes (López *et al.*, 2010):

Cuadro 20. Principales disposiciones jurídicas relativas al agua ...continúa

PARA USO RESTRINGIDO

En la Constitución	
Artículos más relevantes	I, III, IV, V y VI del artículo 27; el artículo 73, fracción XVII, y el artículo 115, fracción III, inciso A).
Artículo 27	Establece el régimen de propiedad de las aguas de México y define las aguas de propiedad pública como un bien inalienable e imprescriptible aunque su dominio se puede transferir a particulares por medio de concesiones.
Artículo 73	Establece a cuáles autoridades corresponde regular la explotación, uso, aprovechamiento de dichas aguas, así como la preservación de su cantidad y calidad. Además se faculta al Congreso de la Unión para expedir leyes sobre el uso y aprovechamiento de las aguas de jurisdicción federal. Se establece además que el Ejecutivo Federal puede promover acciones con los gobiernos de los estados y de los municipios, sin afectar sus facultades en la materia y en el ámbito de sus correspondientes atribuciones para el manejo del agua.
Artículo 115	Con una reforma efectuada el 5 de febrero de 1983 se transfirió la obligación del gobierno federal de prestar el servicio de agua potable, alcantarillado, tratamiento y disposición de las aguas residuales a los municipios.
Ley de Aguas Nacionales (LAN)	
Es la ley más importante en México en materia de aguas continentales que sirve para regular la explotación, el uso o aprovechamiento de las aguas, así como su distribución y control. Tiene sus antecedentes principales en las siguientes leyes: Ley Federal de Irrigación de 1926, Ley de Aguas Propiedad de la Nación de 1929, Ley de Aguas de Propiedad Nacional de 1934, Ley de Riegos de 1946, Ley Reglamentaria del párrafo quinto del artículo 27 Constitucional en materia de aguas del subsuelo de 1956 y Ley Federal de Aguas de 1972. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 1º de diciembre de 1992, y en 2004 fue objeto de una amplia reforma que modificó 114 de sus artículos y adicionó 66, a la vez que transformó varios de sus títulos y capítulos. Esta ley abrió el proceso para integrar la participación privada al sector.	
Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente	
Establece en su artículo 119 bis que "En materia de prevención y control de la contaminación del agua, corresponde a los gobiernos de los Estados y de los Municipios, por sí o a través de sus organismos públicos que administren el agua…", vigilar el cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en la materia, "así como requerir a quienes generen descargas a dichos sistemas y no cumplan con éstas, la instalación de sistemas de tratamiento". También está dentro de sus facultades el "determinar el monto de los derechos correspondientes para que el municipio o autoridad estatal respectiva, pueda llevar a cabo el tratamiento necesario, y en su caso, proceder a la imposición de las sanciones a que haya lugar".	
Leyes estatales	
A pesar de que la gestión del agua en México se rige bajo un esquema fuertemente centralizado, cada uno de los estados de la República tiene la responsabilidad de regular el aprovechamiento, uso y vigilancia de aquellas aguas de jurisdicción estatal, que son aquéllas localizadas en sus territorios y que no son consideradas propiedad de la Nación de acuerdo con el párrafo quinto del artículo 27 Constitucional. Además, en tanto el artículo 115 Constitucional ha facultado a los municipios para que presten el servicio público de suministro de agua potable y saneamiento, los poderes legislativos de los estados también tienen la obligación de desarrollar las normas correspondientes a estas responsabilidades. Asimismo, las autoridades estatales deben desempeñar aquellas otras funciones que, de acuerdo con la LAN, les confiera la CONAGUA. En los últimos años se les han ido transfiriendo programas de tipo operativo, como son los de "Uso eficiente del agua y la energía eléctrica", "Uso pleno de la infraestructura hidroagrícola", "Rehabilitación y modelización de distritos de riego", "Agua potable y saneamiento en zonas rurales" y "Agua potable, alcantarillado y saneamiento en zonas urbanas", entre otros. Por ello, la mayoría de los estados han creado sus respectivas Comisiones Estatales del Agua para poder cumplir con las responsabilidades que se les ha ido confiriendo.	

FORO CONSULTIVO

Cuadro 20. Principales disposiciones jurídicas relativas al agua ...termina

Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en materia de agua	
Regulan situaciones concretas de aspectos referentes al agua y determinan, en gran medida, la gestión detallada del recurso en relación con la disponibilidad, la calidad y el acceso al recurso.	
NOM-001-ECOL-1996, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.	Publicada en el DOF del 6 de enero de 1997. La vigilancia del cumplimiento de esta NOM corresponde a la SEMARNAT, por conducto de la CONAGUA, y a la Secretaría de Marina en el ámbito de sus respectivas atribuciones. Esta norma establece, a su vez, que las violaciones a la misma serán sancionadas en los términos de la LAN y su Reglamento, así como por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LEGEEPA), y por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN) y demás ordenamientos jurídicos aplicables.
NOM-002-ECOL-1996, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal	Publicada en el DOF del 3 de junio de 1998. La vigilancia del cumplimiento de esta NOM corresponde a "los Gobiernos Estatales, Municipales y del Distrito Federal en el ámbito de sus respectivas competencias, cuyo personal realizará los trabajos de verificación, inspección y vigilancia que sean necesarios". Las violaciones a la misma serán sancionadas en los términos de la LGEEPA y demás ordenamientos jurídicos aplicables.
NOM-003-ECOL-1997, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.	Publicada en el DOF del 21 de septiembre de 1998. El objeto de esta norma es proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables del tratamiento y reúso del agua, ya sean los gobiernos de las estados, del Distrito Federal o de los municipios "por sí o a través de sus organismos públicos" o en los casos en los cuales el servicio al público sea realizado por terceros. La vigilancia del cumplimiento de esta norma corresponde a la SEMARNAT, a través de la CONAGUA, y a la Secretaría de Salud, en el ámbito de sus respectivas atribuciones. Las violaciones a esta norma serán sancionadas en los términos de la LGEEPA, la Ley General de Salud y demás ordenamientos jurídicos aplicables.
NOM-127-SSA1-1994, la cual establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya en nuestro país.	Publicada en el DOF del 19 de enero de 1994. Esta norma pertenece al sector salud y es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional para los organismos operadores de los sistemas de abastecimiento públicos y privados, o cualquier persona física o moral que distribuya agua para uso y consumo humano. La norma enfatiza que "el abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades" de cualquier tipo. Por eso establece límites permisibles con el fin de asegurar y preservar la calidad de la misma hasta que sea entregada a los consumidores. La vigilancia del cumplimiento de esta norma corresponde a la Secretaría de Salud y a los gobiernos de las entidades federativas en coordinación con la CNA, en sus respectivos ámbitos de competencia.

Con información de Rodríguez y Emanuelli, 2010

- Altos pagos por multas debido al incumplimiento de las condiciones particulares de descarga.
- Problemas con las aguas provenientes de la operación de los sistemas de pretratamiento del agua.
- Incremento del costo del agua potable y del agua de pozo.
- Escasez de agua potable.
- El uso y manejo del agua dentro de las empresas es con frecuencia ineficiente.
- La operación de sistemas de tratamiento existentes dentro de la empresa deja también mucho que desear.
- Reúso y reciclado del agua incipientes.

Por otro lado, la incapacidad estructural y funcional de las instituciones de gobierno federal, estatal y municipal para monitorear y supervisar los sistemas implementados por la industria para el manejo del agua y de las aguas residuales propicia que no haya un avance significativo en la aplicación de las leyes y regulación ambiental por las autoridades ni en el cumplimiento de las mismas por la industria desde la publicación de la LFPCCA en 1971 (López *et al.*, 2010).

19.2 Evaluación del marco normativo

Entre las deficiencias del marco normativo se señalan las siguientes (Gutiérrez y Emanuelli, 2010):

- Si bien se define con relativo buen detalle los cuerpos de aguas superficiales que son propiedad de la nación, ello no es el caso para los cuerpos de agua subterráneos.
- No existe una relación clara entre la política pública que aplica al manejo del agua y otros aspectos como el manejo de la tierra o del desarrollo rural.
- La transferencia de la responsabilidad de suministrar los servicios de agua y saneamiento a los municipios se produjo cuando éstos tenían niveles de cobertura muy bajos, lo que demandaba prestar un volumen de recursos y una capacidad institucional compleja que no existía en los municipios, cuestión que ha condu-

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

cido a que, a la fecha, dichos servicios no hayan podido ser suministrados.

- La LAN es un instrumento cuya técnica legislativa es cuestionable, ya que relaciona de forma entreverada a las distintas entidades que administran el agua así como los distintos usos de la misma. Esto hace que la principal ley en la materia sea de muy difícil comprensión para la ciudadanía, y que por ello abra amplios márgenes para la discrecionalidad administrativa e incluso para la corrupción. Además, a la fecha, el reglamento ejecutivo correspondiente a la reforma de 2004 no ha sido publicado, lo que dificulta comprender cómo está operando en los hechos y quiénes y cómo se están tomando las decisiones en la materia.
- La vigilancia y el cumplimiento de las NOM ha sido muy deficiente.
- Al acudir a los demás ordenamientos aplicables en esta materia (LFMN, LAN, LGEEPA, Ley General de Salud, etc.), no queda claro quiénes son específicamente las autoridades competentes –en cada una de las dependencias que tienen esta responsabilidad– que se encargarán de dar seguimiento a la aplicación de estas normas, ni cómo se llevarán a cabo los procesos de vigilancia necesarios para el cumplimiento de las mismas.

19.3 Derecho humano al agua

Es importante señalar que si bien es cierto que en el texto actual de la Constitución no existe un artículo en que se reconozca explícitamente el derecho humano al agua, sí hay elementos que permiten establecer que se encuentra implícitamente reconocido. En primer lugar, porque el derecho al agua guarda una relación estrecha de interdependencia con otros derechos reconocidos en la Constitución mexicana, como son la salud, la vivienda o el ambiente (establecidos en el artículo 4°), que son de imposible ejercicio sin el agua. En segundo lugar, porque en diversos artículos de la Constitución (2°, 4° y 27) se establecen obligaciones hacia los poderes públicos que están relacionadas con el contenido mínimo esencial de ese derecho (cuando menos en el caso de los pueblos indígenas y los niños). Asimismo porque dicho derecho ha sido reconocido en múltiples instrumentos internacionales firmados por el Ejecutivo Federal y ratificados por el Senado (Gutiérrez y Emanuelli, 2010). Además, México ha sido signatario de diversos tratados internacionales en materia de derecho humano al agua, como por ejemplo (Gutiérrez y Emanuelli, 2010):

- Convención sobre la Eliminación de todas las Formas de Discriminación contra la Mujer[7] de 1979.
- Convención sobre los Derechos del Niño[8] de 1989.
- Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (PIDESC)[9] de 2002.
- Resolución de la Asamblea General de las Naciones Unidas sobre el Derecho Humano al Agua y el Saneamiento.

20. Referencias

1. Aboites, L.; Cifuentes, E.; Jiménez, B., y Torregrosa, M. L. (2008). *Agenda Nacional del Agua*, Academia Mexicana de Ciencias, México, D. F., 66 pp.
2. Aboites, L. (2009). *La decadencia del agua de la nación. Estudio sobre desigualdad social y cambio político en México. Segunda mitad del siglo XX,* México, El Colegio de México.
3. Aboites Aguilar, L.; Birrichaga Gardida, D., y Garay Trejo, J. (2010). "El Manejo de las Aguas Mexicanas en el Siglo XX", Cap. 2 en "Los Retos del Agua"; Cap. 3 en *El Agua en México: Cauces y encauces*, Jiménez, B.; Torregrosa, M. L., y Aboites, A. (eds.), Academia Mexicana de Ciencias, 702 pp., México, pp. 21-50.
4. Arganís Juárez, M.; Domínguez Mora, R.; Jiménez Espinosa, M., y Guichard Romero, D. (2010). "Eventos Extremos", Cap. 20 en *El Agua en México: Cauces y encauces*, Jiménez, B.; Torregrosa, M. L., y Aboites, A. (eds.), Academia Mexicana de Ciencias, 702 pp., México, pp. 51-78.

7 Esta Convención fue ratificada por México el 18 de diciembre de 1980 mediante el decreto publicado en el DOF del 9 de enero de 1981. El inicio de la vinculación es del 23 de marzo de 1981. En http://www.hchr.org.mx/documentos/CEDAW%20Final.pdf

8 Esta Convención fue ratificada por México el 19 de junio de 1990 mediante el decreto publicado en el DOF del 31 de julio de 1990. El inicio de la vinculación es del 21 de septiembre de 1990. En http://www2.ohchr.org/spanish/law/crc.htm

9 Ratificado por el Senado de la República el 18 de diciembre de 1980 y comenzó a ser vinculante para el país a partir del 23 de marzo de 1981. En http://daccess-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/G03/402/32/PDF/G0340232.pdf?OpenElement

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

5. Arreguín Cortés, F.; Alcocer Yamanaka, V.; Marengo Mogollón, H.; Cervantes Jaimes, C.; Albornoz Góngora, P., y Salinas Juárez, G. (2010). "Los Retos del Agua", Cap. 3 en *El Agua en México: Cauces y encauces*, Jiménez, B.; Torregrosa, M. L., y Aboites, A. (eds.), Academia Mexicana de Ciencias, 702 pp. México, pp. 51-78.
6. Ricardo Caldera, A. y Torregrosa y Armentia, M. L. (2010). "Proceso Político e Ideas en Torno a la Naturaleza del Agua: Un Debate", Cap. 12 en *El Agua en México: Cauces y encauces*, Jiménez, B.; Torregrosa, M. L., y Aboites, A. (eds.), Academia Mexicana de Ciencias, 702 pp., México, pp. 317-346.
7. Castelan, E. (2000). *Análisis y Perspectiva del Recurso Hídrico en México*. Centro del Tercer Mundo para el Manejo del Agua, A. C., México. Disponible en http://www.agua.org.mx/images/stories/BibliotecaT/docs/INFORMACION_GENERAL_DE_AGUA/analisis_perspectiva_recurso%20hidrico.pdf
8. CFE, Comisión Federal de Electricidad (2009). *Tarifas eléctricas. México.* Sitio de Internet: http://www.cfe.gob.mx
9. Comisión Federal para la Prevención de Riesgos Sanitarios, COFEPRIS. Recuperado de http://201.147.97.103/wb/fp/cfp_calidad_bacteriologica/_rid/321?page=4 (consultado el 5 de octubre de 2009).
10. Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA) (2000). *Ejemplo de cooperación entre dos países*, Documento interno, Ciudad Juárez, Chih.
11. Colom, Elisa (2009). "Política de Aguas Internacionales de Guatemala", ponencia en *I Encuentro de la Iniciativa Mesoamericana para la Paz y el Desarrollo en Cuencas Compartidas*, Universidad del Zamorano Honduras/IDRC-Canadá, La Antigua Guatemala, 18-20 de noviembre de 2009.
12. CONAGUA (2003). *La participación privada en la prestación de los servicios de agua y saneamiento. Conceptos básicos y experiencias*, 2ª versión actualizada, México, D. F.
13. CONAGUA (2005). *Situación del Subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento,* Edición 2005, México, D. F., Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana.
14. CONAGUA (2007). Estadísticas del Agua en México, Comisión Nacional del Agua, México.
15. CONAGUA (2008). Estadísticas del Agua en México, Comisión Nacional del Agua, México.
16. CONAGUA (2009). Estadísticas del Agua en México, www.cna.gob.mx p. 108.
17. CONAGUA y SEMARNAT (2009). *Programas de agua potable, alcantarillado y saneamiento*, www.cna.gob.mx (consultado en septiembre de 2009).
18. CONEVAL (2007). *Los mapas de pobreza en México: Anexo técnico metodológico*, CONEVAL, Ciudad de México.
19. Dávila-Poblete, Sonia. Mexico´s Two Principal Hydro-Agricultural Policies from a Gender Perspective. In: Merrey, D. and S. Baviskar (Eds.). Gender Analysis and Reform of Irrigation Management: Concepts, Cases, and Gaps in Knowledge. Proceedings of the workshop on Gender and Water, 15-19 September 1997. Colombo, IWMI: Sri Lanka, 1998.
20. Dávila-Poblete, Sonia. Women and Agenda 21 in Mexico. In: Cecilia Tortajada (Ed.). *Women and Water Managemet: The Latin American Experience.* Oxford University Press, New Delhi, 2000.
21. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Conteo General de Población y Vivienda 2005.
22. Guevara Sanginés, A.; Soto Montes de Oca, G., y Lara Pulido, J. (2010). "Pobreza", Cap. 15 en *El Agua en México: Cauces y encauces,* Jiménez, B.; Torregrosa, M. L., y Aboites, A. (eds.). Academia Mexicana de Ciencias, 702 pp., México, pp. 411-454.
23. Gutiérrez Rivas, R. y Emanuelli Panico, S. (2010). "Régimen Jurídico del Agua Continental en México: Un Análisis Crítico", Cap. 23 en *El Agua en México: Cauces y encauces*, Jiménez, B.; Torregrosa, M. L., y Aboites, A. (eds.), Academia Mexicana de Ciencias, 702 pp., México, pp. 647-680.
24. INEGI, *II Conteo de Población y vivienda 2005*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
25. Jiménez, B. y Marín, L. (eds.); D. Morán, O. Escolero y J. Alcocer (coord.) (2005). *El agua en México vista desde la Academia*, Academia Mexicana de Ciencias, México, D. F.
26. Jiménez Cisneros, B. E. (2006). "Agua e industria en Latinoamérica y el Caribe", en *La gota de la vida: hacia una gestión sustentable y democrática del agua*, Fundación HeInrich Böll.
27. Jiménez E. M. y Eslava M. H. (2008). "Mapas de riesgo nacional a escala municipal", Memorias del XVII Congreso Mexicano de Meteorología, Monterrey, Nuevo León, México.
28. Jiménez Cisneros, B.; Durán Álvarez, J. C., y Méndez Contreras, J. M. (2010). En "El Manejo de las Aguas Mexicanas en el Siglo XX", Cap. 2 en *El Agua en México: Cauces y encauces*, Jiménez, B., Torregrosa, M. L., y Aboites, A. (eds.), Academia Mexicana de Ciencias, 702 pp., México, pp. 265-290.

DATA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

29. Kauffer Michel, E.; García García, A., y Solís Hernández G. (2010). "El Agua en la Frontera Sur de México: Entre Continuidades y Claroscuros", Cap. 18 en *El Agua en México: Cauces y encauces*, Jiménez, B.; Torregrosa, M. L., y Aboites, A. (eds.), Academia Mexicana de Ciencias, 702 pp., México, pp. 505-528.
30. López Zavala, M. A. y Flores Arriaga, B. (2010). "In dustria", Cap. 7 en "El Manejo de las Aguas Mexicanas en el Siglo XX"; Cap 2 en *El Agua en México: Cauces y encauces*, Jiménez, B.; Torregrosa, M. L., y Aboites, A. (eds.), Academia Mexicana de Ciencias, 702 pp., México, pp. 179-202.
31. Martínez Austria, P.; Patiño Gómez, C.; Montero Martínez, M.; Pérez López, J. L.; Ojeda Bustamante, W.; Mundo Molina, M., y Hernández Barrios, L. (2010). "Efectos del Cambio Climático en los Recursos Hídricos", Cap. 19 en *El Agua en México: Cauces y encauces,* Jiménez, B.; Torregrosa, M. L., y Aboites, A. (eds.), Academia Mexicana de Ciencias, 702 pp., México, pp. 529-562.
32. Mazarí Hiriart, M.; Espinosa García, C.; López Vidal, Y.; Arredondo Hernández, R.; Díaz Torres, E., y Equihua Zamora, C. (2010). "Visión Integral Sobre el Agua y la Salud", Cap. 11 en "El Manejo de las Aguas Mexicanas en el Siglo XX", Cap. 2 en *El Agua en México: Cauces y encauces,* Jiménez, B.; Torregrosa, M. L., y Aboites A. (eds.), Academia Mexicana de Ciencias, 702 pp., México, pp. 291-316.
33. Moreno Vázquez, J.; Marañón Pimentel B., y López Córdova, D. (2010). "Los Acuíferos Sobreexplotados: Origen, Crisis y Gestión Social", Cap.4, en *El Agua en México: Cauces y encauces,* Jiménez, B., Torregrosa, M. L. y Aboites, A. (eds.), Academia Mexicana de Ciencias, 702 pp., México, pp. 79-116.
34. Montesillo Cedillo, J. L. y Fonseca Ortiz, C. (2010). "Agua, Desarrollo Económico y Desarrollo Humano", Cap. 13 en *El Agua en México: Cauces y encauces*, Jiménez, B.; Torregrosa, M. L., y Aboites, A. (eds), Academia Mexicana de Ciencias, 702 pp., México, pp. 347-382.
35. Nazar Beutelspacher, A.; Zapata Martelo, E., y Ramírez Castel, V. (2010). "Género y Agua. Estrategias para Alcanzar la Sustentabilidad con Equidad", Cap. 14, en *El Agua en México: Cauces y encauces*, Jiménez, B.; Torregrosa, M. L., y Aboites, A. (eds.), Academia Mexicana de Ciencias, 702 pp., México, pp. 383-410.
36. Palerm Viqueira, J.; Collado Moctezuma, J., y Rodríguez Haros, B. (2010). "Retos para la Administración y Gestión del Agua de Riego", Cap. 6 en "El Manejo de las Aguas Mexicanas en el Siglo XX"; Cap. 2 en *El Agua en México: Cauces y encauces*, Jiménez, B.; Torregrosa, M. L., y Aboites, A. (eds.), Academia Mexicana de Ciencias, 702 pp., México, pp. 141-178.
37. Palerm, J. y T. Martínez (eds.), *Aventuras con el Agua. La Administración del Agua de Riego: Historia y Teoría*, Colegio de Postgraduados, 2009.
38. Pemex (2002 a 2009). Informes de Desarrollo Sustentable. Anexo estadístico. Disponibles en http://desarrollosustentable.pemex.com/portal/index.cfm
39. Peña de la Paz, J. F.; E. Herrera Pinedo, y L. E. Granados (2010). "Pueblos Indígenas, Agua Local y Conflicto", Cap. 16 en *El Agua en México: Cauces y encauces*, Jiménez, B.; Torregrosa, M. L., y Aboites, A. (eds.), Academia Mexicana de Ciencias, 702 pp., México, pp. 455-478.
40. Pineda Pablos, Nicolás (2002). "La política urbana de agua potable en México: del centralismo y los subsidios a la municipalización, la autosuficiencia y la privatización". *Región y Sociedad.* Revista de El Colegio de Sonora, Vol. 14, No. 24 (mayo-agosto), pp. 41-69.
41. Pineda Pablos, N. (2008). "Nacidos para perder dinero y derrochar agua. El inadecuado marco institucional de los organismos operadores de agua en México", en *La gestión de los recursos hídricos: realidades y perspectivas*, Tomo 1, editado por Denise Soares, Sergio Vargas y María Rosa Nuño. Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; Guadalajara, Jalisco: Universidad de Guadalajara, pp. 121-150.
42. Pineda Pablos, N.; Salazar Adams, A., y Buenfil Rodríguez, M. (2010). "Para Dar de Beber a las Ciudades Mexicanas: El Reto de la Gestión Eficiente del Agua ante el Crecimiento Urbano", Cap. 5 en *El Agua en México: Cauces y encauces*, Jiménez, B; Torregrosa, M. L., y Aboites, A. (eds.), Academia Mexicana de Ciencias, 702 pp., México, pp. 117-140.
43. Román Calleros, J.; Cortez Lara, A.; Soto Ortiz, R.; Escoboza García, F., y Viramontes Olivas, O. (2010). "El Agua en el Noroeste", Cap. 17 en *El Agua en México: Cauces y encauces*, Jiménez, B.; Torregrosa, M. L., y Aboites, A. (eds.), Academia Mexicana de Ciencias, 702 pp., México, pp. 479-504.
44. Ruelas Monjardín, C.; Chávez Cortes, M.; Barradas Miranda, V.; Octaviano Zamora, V., y García Calva, L. (2010). "Uso Ecológico", Cap. 9 en "El Manejo de las Aguas Mexicanas en el Siglo XX"; Cap. 2 en *El Agua en México: Cauces y encauces*, Jiménez, B.; Torregrosa, M. L., y Aboites, A. (eds.), Academia Mexicana de Ciencias, 702 pp., México, pp. 237-264.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

45. Sandoval Minero, R. (2010). "La Evolución del Marco Institucional del Agua Potable y el Saneamiento Urbanos en México: Un Análisis Cognitivo Preliminar", Cap. 22 en *El Agua en México: Cauces y encauces,* Jiménez, B.; Torregrosa, M. L., y Aboites, A. (eds.), Academia Mexicana de Ciencias, 702 pp., México, pp. 625-646.
46. SEMARNAT (2003). Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones ambientales para el manejo de agua congénita asociada a hidrocarburos, que establece los límites máximos permisibles de diversos contaminantes para la descarga de agua congénita, así como las características que deben tener los pozos para la reinyección de la misma.
47. SEMARNAT (2008). *Estadísticas del Agua en México*, Edición 2008, SEMARNAT, Ciudad de México.
48. Soto Montes de Oca, G. (2007). "Agua: Tarifas, escasez y sustentabilidad en las megaciudades. ¿Cuánto están dispuestos a pagar los habitantes de la Ciudad de México?" Sistema de Aguas de la Ciudad de México, Universidad Iberoamericana, Centro de Estudios Jurídicos y Ambientales y Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D. F., México.
49. Sheinbaum Pardo, C.; Chávez Baeza, C., y Ruíz Mendoza, J. (2010). "Producción de Energía", Cap. 8 en *El Agua en México: Cauces y encauces*, Jiménez, B.; Torregrosa, M. L., y Aboites, A. (eds.), Academia Mexicana de Ciencias, 702 pp., México, pp. 203-236.
50. Torregrosa. M. L.; Paré Ouellet, L.; Kloster Favini, K., y Vera Cartas, J. (2010). "Administración del Agua", Cap. 21 en *El Agua en México: Cauces y encauces*, Jiménez, B.; Torregrosa, M. L., y Aboites, A. (eds.), Academia Mexicana de Ciencias, 702 pp., México, pp. 595-624.
51. UNICEF (2006). *Progreso para la Infancia: Un balance sobre agua y saneamiento*, UNICEF, Nueva York.
52. World Economic Forum (2009). Energy vision, update 2009. Thirsty Energy: Water and energy in the 21th century. World Economic Forum in partnership with Cambridge Energy Research Associates. Disponible enhttp://www2.cera.com/docs/WEF_Fall2008_CERA.pdf

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Lago Cocibolca, volcán Las Maderas y volcán Concepción en la Isla de Ometepe, Nicaragua

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Recursos hídricos en Nicaragua

Una visión estratégica

Katherine Vammen[1]
Coordinadora

Iris Hurtado[1], Francisco Picado[1], Yelba Flores[1], Heyddy Calderón[1], Valeria Delgado[1], Selvia Flores[1], Yader Caballero[1], Mario Jiménez[1,2], Rosario Sáenz[3]

[1]Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
[2]Facultad de Medicina de la UNAN Managua.
[3]Fundación Nicaragüense de Desarrollo Sostenible.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

1. Introducción

Nicaragua es un país especialmente privilegiado en recursos hídricos. El recurso agua disponible es de 38 668 metros cúbicos por cápita por año (m^3/cápita/año), lo que posiciona al país por encima del promedio de Centroamérica. Se destaca que posee aproximadamente cuatro veces la disponibilidad de agua que Estados Unidos o algunos países de Europa como Suiza (Cuadro 1.1).

En comparaciones en el mundo, la disponibilidad de agua en Nicaragua expresada en escorrentía (m^3) por persona también llega a niveles altos de >10 000 (Figura 1.1).

Es importante destacar que Nicaragua ha sido evaluado por el sistema de Índices de Desempeño Ambiental (Yale Center for Environmental Law & Policy, 2010) en la categoría *Estrés de agua* (situación de escasez en el territorio al considerar el volumen de agua que tiene que compartir cierta población) con el nivel óptimo mundialmente con un puntaje de 100, con 0% del territorio bajo estrés hídrico. También en la categoría *Escasez de agua* con un puntaje de 100.

Cuadro 1.1. Disponibilidad del recurso hídrico per cápita

País	Recurso hídrico disponible per cápita m3/cáp.	
Guatemala	12 121	
Honduras	15 211	
Belice	64 817	
Nicaragua	**38 668**	
El Salvador	2 876	
Costa Rica	31 318	
Panamá	52 437	
Centroamérica	**31 064**	
Brasil	32 256	= C.A.
Estados Unidos	8 906	29% C.A.
Reino Unido	2 471	8% C.A.
Suiza	7 427	24% C.A.
Sudáfrica	1 187	4% C.A.
Holanda	5 758	18% C.A.
México	4 742	15% C.A.

Fuente: Banco Mundial, 2001

Sin embargo, el país tiene un nivel de pobreza nacional de 45,8% y de extrema pobreza de 15,1%. En las regiones rurales, dos de cada tres personas son pobres y la extrema pobreza llega a 27,4%, casi una tercera parte de la población. (INIDE, 2005).

Toda la región centroamericana ha sido evaluada con escasez económica de agua por la falta de recursos financieros para utilizar y mantener las fuentes de agua con la calidad adecuada para el consumo humano, lo que implica problemas en la gobernabilidad relacionados con una buena gestión integral del recurso (Figura 1.2).

El mismo sistema de Índices de Desempeño Ambiental evalúa a Nicaragua en la categoría *Calidad de agua* (con información de UNEP/GEMS) con un puntaje de 42,3; así, el país queda en la posición 136 de los 163 países evaluados. La contaminación es resultado del crecimiento de la población en sinergia con la deficiente infraestructura sanitaria (tanto para desechos líquidos como para sólidos) y la ausencia de medidas de ordenamiento territorial que ha provocado el deterioro ambiental que se refleja en la calidad del agua. La continuación de la contaminación ha sido promovida por la tendencia del uso actual de los suelos que no es de acuerdo a su potencial, es decir, la deforestación y conversión de suelos, con potencial para bosque, a pastos para la ganadería u otros sistemas agrícolas. La falta de calidad de agua resulta en problemas que afectan directamente a la población en lo relacionado a la calidad de vida e impactos en la salud (Sección 7).

Cuadro 2.1. Áreas y precipitación por cuencas y vertientes

Vertiente del Mar Caribe

	Nombre de la cuenca/Río principal	Área km²	Precipitación media anual (mm)
45	Río Coco	19 969	1 927
47	Río Ulang	3 777	2 405
49	Río Wawa	5 372	2 820
51	Río Kukalaya	3 910	2 800
53	Río Prinzapolca	11 292	2 586
55	Río Grande de Metagalpa	18 445	2 095
57	Río Kurinwas	4 457	2 725
59	Río Kurinwas y río Escondido	2 034	3 564
61	río Escondido	11 650	2 722
63	Entre río Escondido y río Punta Gorda	1 593	3 710
65	Río Punta Gorda	2 867	3 552
67	Entre río Punta Gorda y río San Juan	2 229	4 510
69	Río San Juan en Nicaragua	29 824	1 694
	Total	**117 420**	

Vertiente del Pacífico

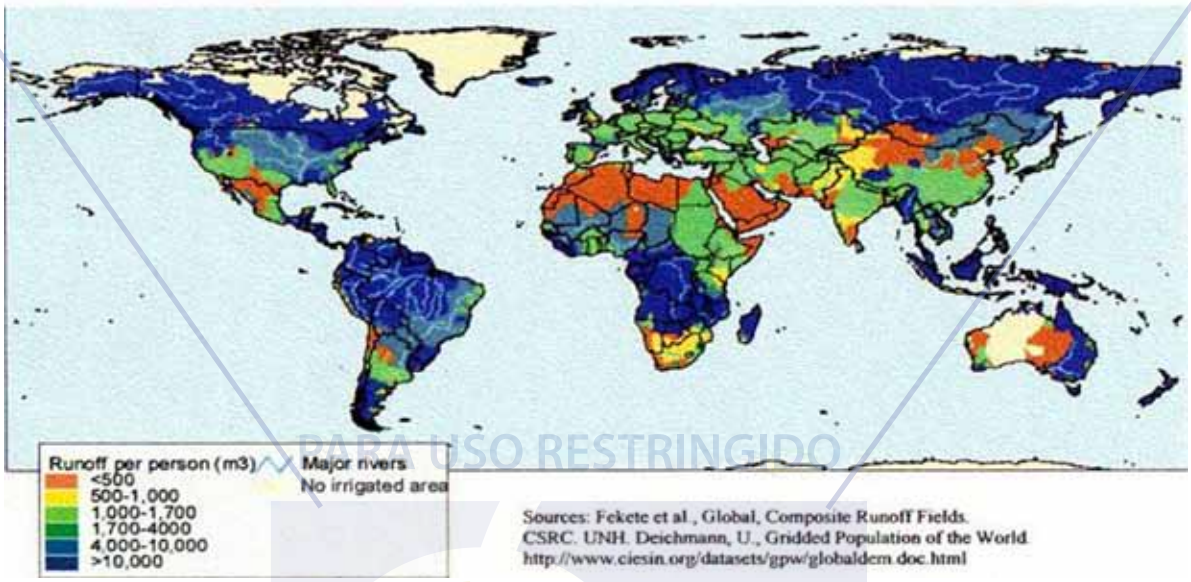
	Nombre de la cuenca/Río principal	Área km²	Precipitación media anual (mm)
58	Río Negro	1 428	1 859
60	Río Estero Real	3 690	1 682
62	Entre río Estero Real y volcán Cosiguina	429	1 881
64	Entre volcán Cosiguina y río Tamarindo	2 950	1 670
66	Río Tamarindo	317	1 175
68	Entre Río Tamarindo y Río Brito	2 769	1 357
70	Río Brito	274	1 316
72	Entre río Brito y río Sapoa	325	1 625
	Total	**12 183**	

Fuente: INETER

Las condiciones favorables de la disponibilidad del recurso agua en Nicaragua son esenciales y establecen condiciones básicas para mejorar la calidad de agua, la salud humana y para promover el desarrollo económico. La generación de información y mejor comprensión de las condiciones físicas, naturales y económicas, a la par del establecimiento de condiciones institucionales y legales dirigidas a una buena gestión del recurso, son esenciales para promover el desarrollo del país. Un sistema de información sobre los

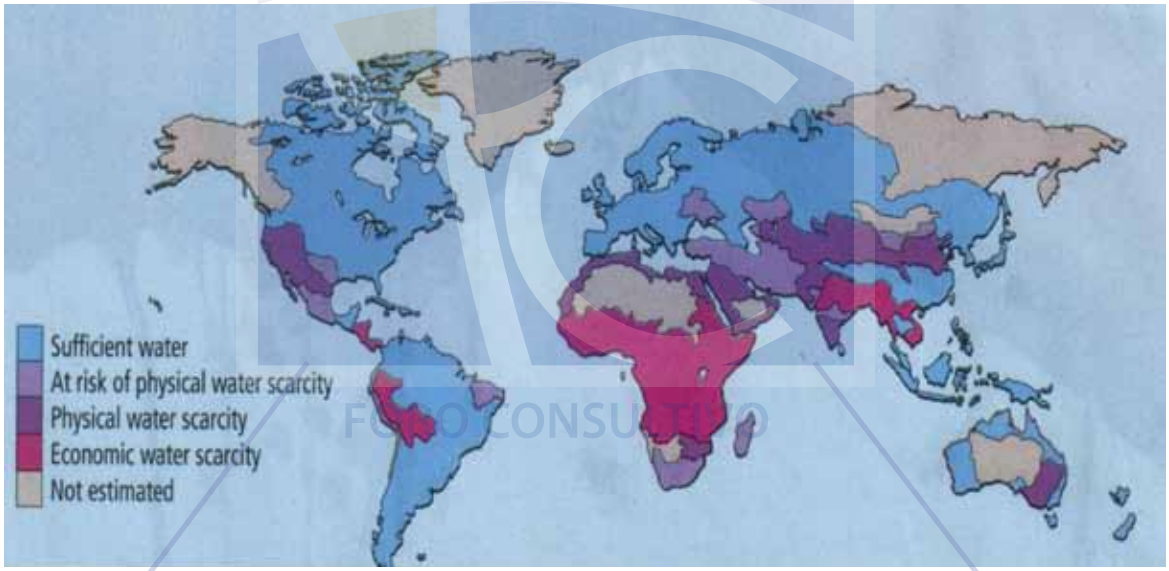
PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 1.1. Aguas epicontinentales en el mundo: disponibilidad expresada en escorrentía por persona.



FUENTE: Fekete *et al.*, Global, Composite Runoff Fields.

Figura 1.2. Escasez económica de agua



FUENTE: International Water Management Institute, 2007.

PARA USO RESTRINGIDO
FUERO CONSULTIVO

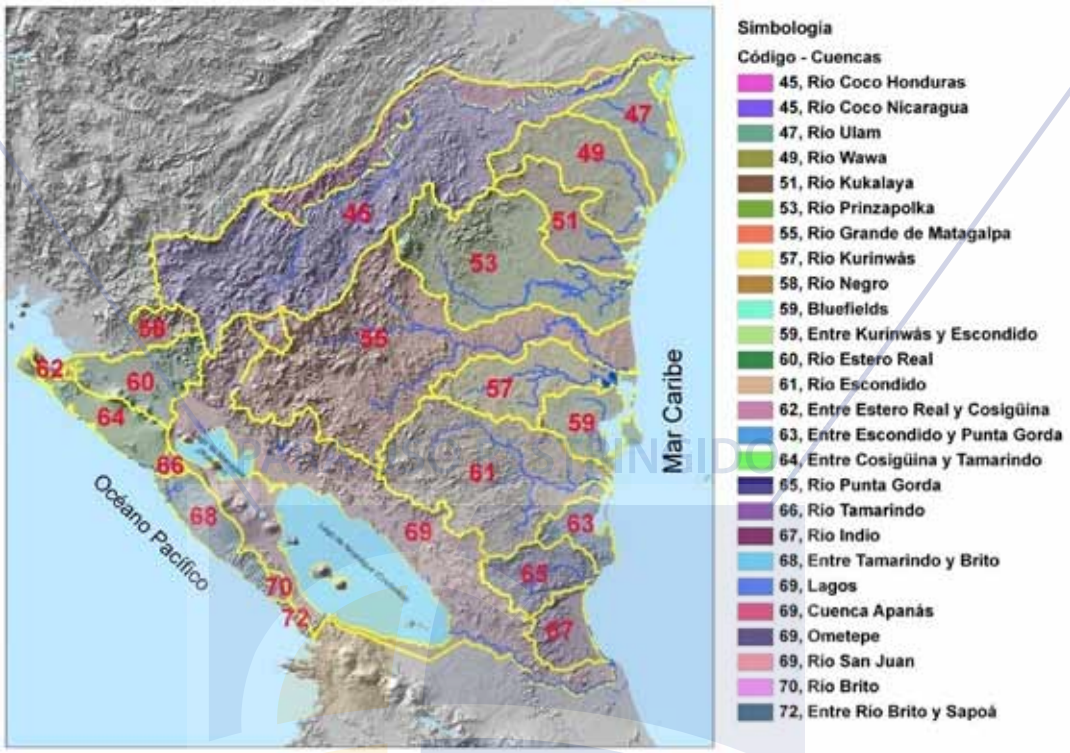
recursos hídricos es un instrumento básico para mejorar la gobernabilidad que influye en la gestión del recurso.

El objetivo de este artículo es presentar información existente y el estado actual de los recursos hídricos tomando en cuenta los factores que influyen en su aprovechamiento, con el fin de ofrecer una visión estratégica dirigida a promover el desarrollo de planes y políticas para la protección y el mejor uso del recurso y su sostenibilidad.

2. Los recursos hídricos de Nicaragua

Hidrográficamente, Nicaragua está dividida en 21 cuencas distribuidas en dos grandes vertientes hidrográficas: la vertiente del Pacífico (de 12 183,57 km^2) y la del Mar Caribe (117 420,3 km^2) (Cuadro 2.1). La Figura 2.1 ilustra el mapa de las cuencas de Nicaragua.

Figura 2.1. Mapa de cuencas de Nicaragua



Fuente: Elaboración CIRA/UNAN a partir de la delimitación de INETER

Hacia el Atlántico drenan 51 ríos, cuatro descargan al Lago Xolotlán y 12 al lago Cocibolca, mismos que posteriormente drenan a través del río San Juan hacia el Mar Caribe. Las cuencas del Pacífico son más pequeñas con ríos más cortos en longitud. Además, esta zona se distingue por poseer los mejores suelos agrícolas y es donde está concentrada más del 60% de la población total del país (Figura 2.2).

Figura 2.2. Distribución de la población en Nicaragua

Fuente: Elaboración CIRA/UNAN a partir de la delimitación de INETER.

Hacia el Océano Pacífico desaguan directamente 12 ríos. Además de los dos grandes lagos, el país cuenta con 18 lagunas: nueve en la región Pacífica, cinco en la región Central y cuatro en la región Atlántica. También existen cuatro embalses: tres destinados para fines hidroeléctricos y uno para riego y piscicultura. Los abundantes recursos de agua superficial son estacionales y su distribución es desigual. El 93% se encuentra en la zona del Atlántico y sólo 7% en el Pacífico (Cuadro 2.1). Se distinguen cuatro acuíferos principales en el Pacífico y 21 en el Atlántico, incluidas las planicies bajas de los ríos (INETER).

Nicaragua tiene cinco de las 19 cuencas más grandes de Centroamérica, de las cuales dos son cuencas binacionales. La cuenca del río San Juan (Cuenca Nº 69) es la segunda más grande de Centroamérica (Cuadro 2.2).

3. Usos del agua

Las estrategias de extracción del recurso hídrico han priorizado el uso de agua subterránea, la cual representa el 70% del volumen de abastecimiento actual de agua potable. De la extracción total de agua en el año 2008, el sec-

FORO CONSULTIVO

Cuadro 2.2. Las 19 cuencas hidrográficas más grandes de Centroamérica

Drenaje	Cuenca	País	km²
Atlántico	Río Usumacinta	México-Guatemala-Belice	51 190
Atlántico	**Río San Juan**	**Nicaragua-Costa Rica**	**42 051**
Atlántico	Río Patuca	Honduras	24 594
Atlántico	**Río Coco**	**Honduras-Nicaragua**	**24 345**
Atlántico	Río Ulua	Honduras	21 396
Atlántico	Río Motagua	Guatemala-Honduras	18 056
Atlántico	**Río Grande de Matagalpa**	**Nicaragua**	**17 960**
Pacífico	Río Lempa	El Salvador-Guatemala-Honduras	17 883
Pacífico	Río Ocosito	Guatemala	12 944
Atlántico	**Río Escondido**	**Nicaragua**	**11 518**
Atlántico	Río Belice	Belice	10 529
Atlántico	Río Agua	Honduras	10 311
Atlántico	Río Dulce	Guatemala	8 017
Atlántico	Río Sico, Tinto o Negro	Honduras	7 715
Atlántico	Río Choluteca	Honduras	7 430
Atlántico	Río Warunta	Honduras	6 012
Atlántico	Río Hondo	Belize	5 948
Atlántico	**Río Wawa**	**Nicaragua**	**5 501**
Pacífico	Río Chucunaque	Panamá	5 043

Fuente: Yelba Flores

PARA USO RESTRINGIDO

tor agropecuario ha consumido el mayor volumen de agua (83%), seguido por el sector industrial (14%) y luego por el sector doméstico (3%) (Cuadro 3.1). Este mismo patrón de distribución de consumo de agua se ha estimado para los próximos años. El agua que consume la agricultura proviene principalmente de fuentes subterráneas. Estas aguas están concentradas en el Pacífico en los departamentos de León y Chinandega, y los principales cultivos que son regados con estas fuentes son la caña de azúcar, el arroz, el ajonjolí, el tabaco y el sorgo.

FORO CONSULTIVO

La estimación de la demanda total anual de agua en Nicaragua es de 13 462,18 Mm³/año (PHIPDA, 2003).

Según la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL) (BCN, (BCN, 2010, Nicaragua en Cifras 2010), la demanda 2010,Nicaragua en Cifras 2010.), la demanda de agua en los últimos 14 años hasta el 2008, la cual no incluye los departamentos de Matagalpa y Jinotega, ha tenido el comportamiento presentado en la Figura 3.1. Se observa que la industria nicaragüense es uno de los sectores que consume menos agua y cuya demanda permanece relativamente constante, contraria al consumo de agua del sector residencial (Sección 3.2 para más detalles sobre esta información).

La demanda de agua para uso doméstico residencial se ha incrementado anualmente como resultado del alto crecimiento poblacional del país (1,7% anual según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2005, y 1,3% anual según el Instituto Nacional de Información de Desarrollo [INIDE], 2008). Este aumento oscila entre el 1 y el 2%. Sin embargo, según los datos publicados por el Banco Central de Nicaragua, del 2008 al 2010 el incremento en la demanda de agua por el sector residencial aumentó en casi un 13% (BCN, 2010). A pesar de ello, el suministro municipal no ha aumentado congruentemente. Este crecimiento poblacional se traduce en una mayor presión sobre las fuentes de agua, que aunque la competencia por el uso de este recurso sea cada vez mayor entre los sectores

Cuadro 3.1. Consumo de agua por sector (MAGFOR, 2008; CONAGUA y WWC, 2006) en 2008.

Extracción total de agua en Nicaragua (Mm3)	Consumo de agua por sector (% Mm³)		
	Agropecuario	Doméstico	Industrial
1 794.9	83%	3%	14%

ya mencionados, la demanda nacional aumentará año con año. Por otra parte, se estima que 94% de las fuentes de aguas superficiales son renovables, mientras que 70% de las aguas de origen subterráneo no lo son (FAO-Aquastat, 2005) (Secciones 3.5 y 4.1 para más detalles).

3.1 Agua para consumo humano: cantidad y acceso

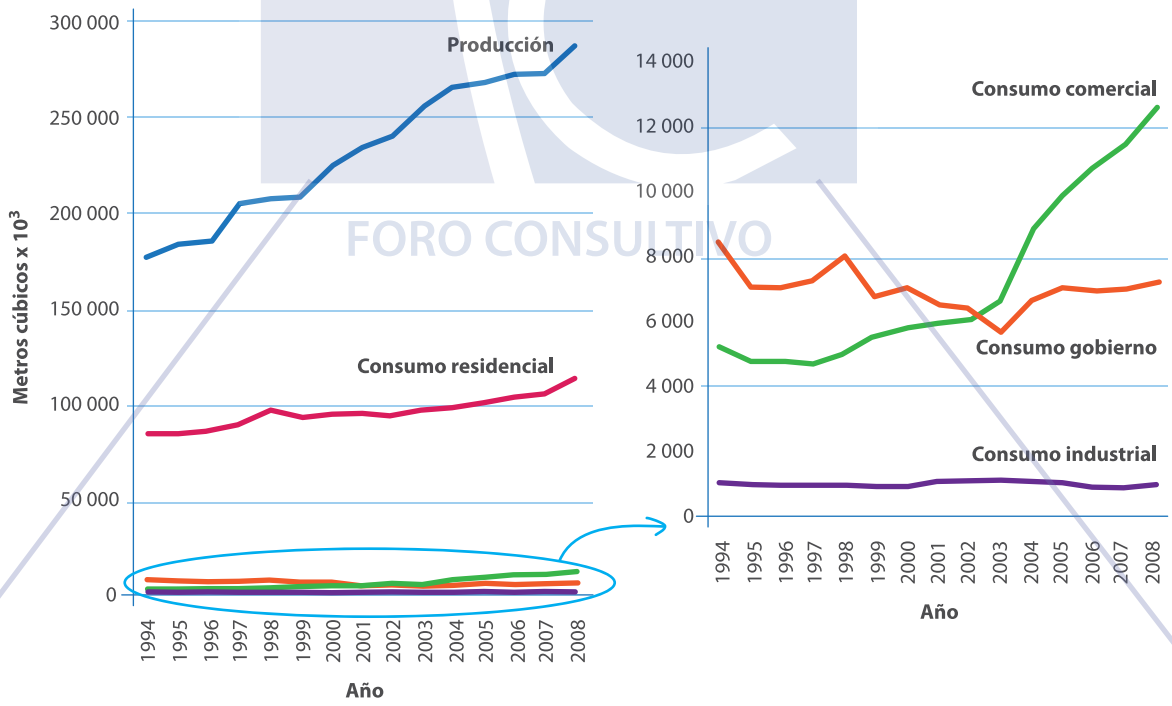
3.1.1 Disponibilidad de agua para consumo humano

Aunque Nicaragua cuenta con abundantes fuentes de agua superficial y subterránea de tal modo que la cantidad de este recurso es la suficiente para satisfacer la demanda actual, estas fuentes son estacionalmente dependientes y por eso las estimaciones acerca de la disponibilidad de agua en el país difieren entre los datos publicados. Estas estimaciones van desde 137 448 hasta 192 690 Mm^3/año (PANic, 2001–2005; FAO Aquastat, 2005), y sólo 7% corresponden a la vertiente del Pacífico del país. Si se asume el dato de disponibilidad de 192 690 Mm^3/año y el dato de la población actual nicaragüense de 5 995 928 habitantes al 2010 (https://cia.gov/library/publications/the-world-factbook/), la cantidad de agua anual per cápita sería de 32,14 x 1 000 m^3.

A pesar del gran volumen de agua superficial disponible en el país, la principal fuente de suministro es de origen subterráneo debido a que las aguas superficiales presentan más problemas de contaminación. Las aguas subterráneas se encuentran en acuíferos aluviales cuaternarios y coexisten con arenas piroclásticas terciarias y depósitos volcánicos cuaternarios, en fracturas, en la depresión de Nicaragua y en las planicies del Pacífico y del Caribe. Los principales acuíferos están ubicados en la región del Pacífico debido a que la formación geológica favorece la presencia del agua subterránea (Figura 3.2). Como se mencionó anteriormente, esta fuente de agua constituye el recurso principal para la agricultura en esta zona del país. Al contrario, la región del Atlántico —llamada también la Costa Atlántica—, la más extensa del país (46 600 km^2), presenta mayor disponibilidad de recursos hídricos superficiales, mientras que la región Central presenta condiciones intermedias con algunos ríos de caudal constante y valles de agua subterránea productivos.

El mayor potencial de agua superficial para agua de consumo está concentrado en el lago Cocibolca, que tiene un área de 8 264 km^2, para un volumen promedio de descarga hacia el río San Juan de 12 614,4 Mm^3/año. El lago ha sido

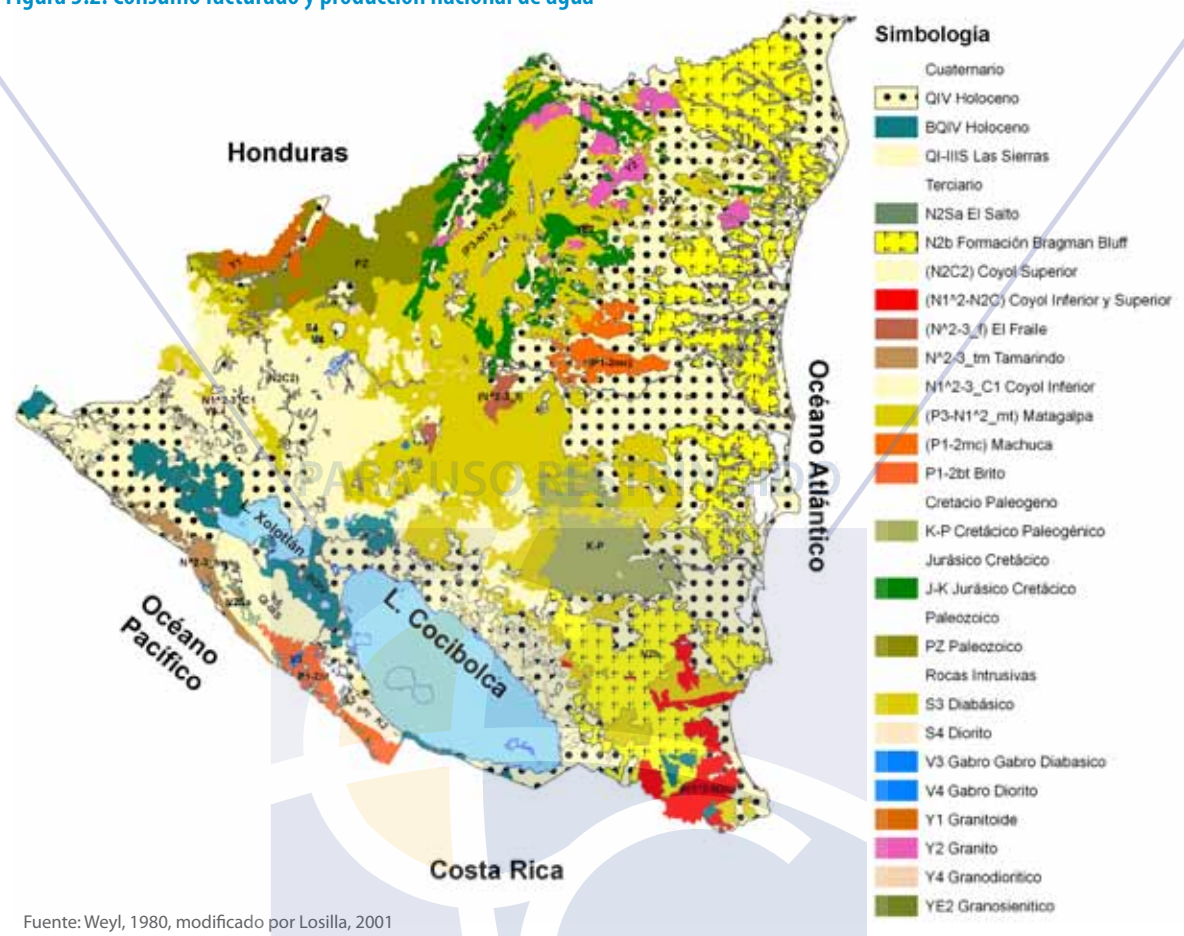
Figura 3.1. Consumo facturado y producción nacional de agua



Fuente: BCN, Anuario Estadístico 2001-2008. Estos datos no incluyen los departamentos de Jinotega y Matagalpa.

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

Figura 3.2. Consumo facturado y producción nacional de agua



Fuente: Weyl, 1980, modificado por Losilla, 2001

declarado como reservorio natural destinado en un futuro para uso de consumo humano y riego en la Ley General de Aguas Nacionales, Ley 620 (La Gaceta, 2007b).

3.1.2 Disponibilidad de agua superficial

La disponibilidad de agua superficial en Nicaragua es de aproximadamente 309 284 Mm³/año (IEA-MARENA, 2001). De esta cantidad de agua superficial, aproximadamente 44% conforma la escorrentía superficial nacional. Sin embargo, estos datos son aproximaciones de los valores reales debido a que la información hidrométrica no cubre todas las cuencas hidrográficas. De las 21 cuencas hidrográficas existentes, ocho drenan al Océano Pacífico y el resto hacia el m Mar Caribe. Las cuencas del Pacífico cubren aproximadamente 10% del territorio nacional, en donde las precipitaciones varían de 500 mm a 1 000 mm a lo largo del año. En la vertiente del Caribe, las precipitaciones alcanzan valores de hasta 4 000 mm al año. La Figura 3.3 ilustra la distribución de la precipitación pluvial. Las zonas de menor precipitación son las más vulnerables en eventos de sequía.

Entre los cuerpos de aguas superficiales permanentes, intermitentes y temporales existentes en el país hay alrededor de 63 ríos. Los grandes lagos nicaragüenses son el lago Cocibolca, con un área superficial de 8 133 km², y el Xolotlán, con una superficie de 1 016 km² (GWP CA, 2006). De las 21 cuencas hídricas, dos tienen carácter transfronterizo: a) la cuenca del río Coco, con una extensión de 24 476 km², de los cuales 21% pertenece a Honduras, y b) la cuenca del río San Juan, con 41 870 km², de los cuales 32% es territorio costarricense.

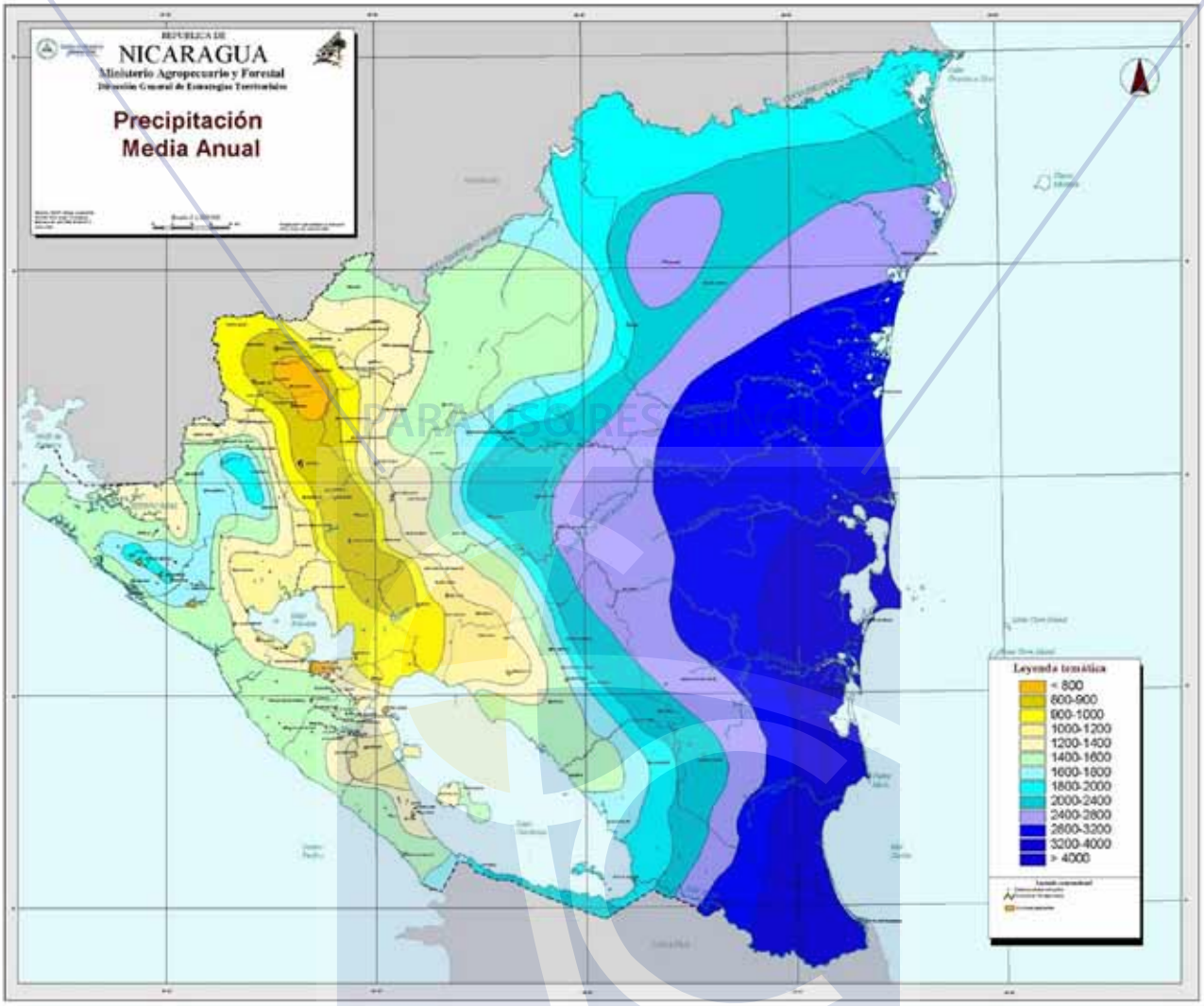
Como ya se mencionó, los abundantes recursos de agua superficial de Nicaragua son estacionales y su distribución es desigual. El Cuadro 3.2 muestra una estimación de la disponibilidad de los recursos hídricos nacionales y por región presentada por OPS-OMS.

3.1.3 Disponibilidad de agua subterránea

Las fuentes principales de aguas subterráneas en el país están concentradas en la región del Pacífico y se consideran

PARA USO REGISTRADO FORO CONSULTIVO

Figura 3.3. Precipitación media anual



Fuente: MAGFOR, 2002

las más importantes por el potencial disponible debido a las buenas condiciones de recarga. Los principales acuíferos en la región del Pacífico, en su mayoría de carácter freático, corresponden a sistemas de reservorios asociados a depósitos volcánicos del Plioceno al cuaternario reciente, lo cual hace posible estimar el potencial de agua subterránea en el orden de los 2 959 Mm^3/año (GWP CA, 2006). En la región Central las estimaciones de disponibilidad de las aguas subterráneas son de 172,3 Mm^3/año (GWP CA, 2006), mientras que en la región del Atlántico la OPS-OMS ha reportado un dato de 30 Mm^3/año (OMS, 2004) (Cuadro 3.2). Los acuíferos del Atlántico no han sido estudiados en detalle, por lo que se carece de información sobre los mismos.

Aproximadamente 90% del abastecimiento de agua potable en el país proviene de pozos. Como se ha mencionado anteriormente, los recursos subterráneos son más abundantes en el Pacífico debido al medio hidrogeológico favorable para infiltración y almacenamiento de agua. En la región Central predominan acuíferos con reservas para abastecimiento de comunidades pequeñas desarrollados principalmente en medio fracturado. Otros datos de la estimación de la disponibilidad de algunos acuíferos de la región del Pacífico y de la región Central reportados por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) se presentan en el Cuadro 3.3 .

3.1.4 Acceso a los recursos hídricos

El acceso al agua se presenta en términos de cobertura de abastecimiento nacional; sin embargo, es necesario señalar que, aunque se han cuantificado volúmenes suficientes tanto de agua superficial como de agua subterránea,

FARA CONSULTORES
FORO CONSULTIVO

Cuadro 3.2. Disponibilidad de recursos hídricos en el país (OPS-OMS, 2004)

Región	Agua superficial (Mm^3)	Agua subterránea (Mm^3)	Total (Mm^3)
Pacífico	4 023	2 862	6 885
Central	18 798	172	18 970
Atlántico	72 192	30	72 222
Total	95 013	3 064	98 077

Mm^3: millones de metros cúbicos

se presentan serias deficiencias en el acceso domiciliar. Aunque el país cuenta con un gran potencial de agua —el volumen total de las fuentes de agua renovables es de aproximadamente 197 km^3/año (FAO-Aquastat, 2005)—, el suministro actual no cubre en su totalidad la demanda de los sectores doméstico, agrícola e industrial (Secciones 5.1 y 5.11 para más detalles, específicamente para la zona rural).

3.2. Usos industriales

El número de industrias grandes en Nicaragua para la década de los 90 era de 260, de las cuales 234 estaban ubicadas en el Pacífico. De este número, las industrias de alimentos y bebidas eran las más numerosas, y en la actualidad estas industrias están catalogadas como las más contaminantes. La industria nicaragüense se abastece de agua subterránea; sin embargo, el gasto de agua por este sector económico es pequeño comparado con el consumo de otros sectores (Figura 3.1). Según datos reportados en el Informe Estado del Ambiente en Nicaragua (IEA-MARENA, 2001), la industria y la agricultura juntas extraen unos 7,0 Mm^3. Sin embargo, a pesar de que la industria es el sector que consume menos agua en Nicaragua, el índice de consumo industrial es superior al índice de las normas internacionales (IEA-MARENA, 2001).

El sector industrial aporta casi 30% del producto interno bruto (PIB) nicaragüense. En los países altamente endeudados, este porcentaje es de 26% (WWAP, 2006). Entre las principales industrias destacan la de la construcción, la manufactura y la minería. La industria manufacturera está conformada principalmente por bebidas, alimentos, tabaco, metal-mecánica, pinturas, textil, química farmacéutica, lácteos y madera, las cuales funcionan con un porcentaje importante de agua. Sin embargo, el volumen es mucho menor al consumido por otros sectores (Figura 3.1). Esto se explica porque la mayoría de las grandes industrias del país poseen fuentes propias de abastecimiento de agua (ENACAL, 2005), las cuales son de origen subterráneo, pero como **no han sido registradas ni son facturadas**, no se cuenta con datos de extracción. Una parte de la industria es abastecida por la ENACAL (INEC, 2003). El Cuadro 3.4 muestra los datos históricos del consumo de agua en las industrias abastecidas por la ENACAL. En el año 2008, la ENACAL facturó 745,4 Mm^3 (23,64 m^3/s) de agua a las industrias que abastece.

En Nicaragua el consumo de agua para la industria se estima en 14% (Cuadro 3.1) de la extracción total anual de agua (CONAGUA y WWC, 2006). Como antes se mencionó, se carece de un dato exacto del consumo de agua para la industria debido a que la empresa distribuidora de agua no abastece a todas las empresas.

Cuadro 3.3. Disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos

Cuencas subterráneas	Potencial estimado (Mm^3/año)
Región del Pacífico	
León–Chinandega	462
Nagarote–La Paz Centro	114
Tonalá–Río Negro–Estero Real	54
Los Brasiles–Chiltepe	4,5
Tipitapa–Malacatoya	118
Managua–Granada	75
Nandaime–Rivas	120
Meseta de Carazo	75
Valles Costa Pacífico Sur	40
Sinecapa–Río Viejo	114
Punta Huete	40
Costa Este Lago de Nicaragua	150
Región Central	
Valle de Jalapa	10
Valle de Ocotal	5
Valle de El Jícaro	5
Valle de San Juan de Limay	5
Valle de Estelí	5
Valle de El Sauce	10
Valle de Sébaco	23

Tomado de www.ineter.gob.ni (Mm^3: millones de metros cúbicos)

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 3.4. Producción y consumo facturado por la empresa distribuidora de agua ENACAL

Año	Volumen de producción	Consumo facturado (Mm³/año)					
		Residencial	Comercial	Industrial	Gobierno	Municipal	Total
1995	182 753.7	85 331.5	4 683.4	711.8	7 041.4	97 056.3	97 768.1
1996	184 760.0	86 665.7	4 631.1	719.9	6 970.0	98 266.8	98 986.7
1997	203 776.5	88 549.3	4 562.8	737.5	7 168.5	100 280.6	101 018.1
1998	207 735.5	95 964.1	4 896.5	776.0	7 864.5	108 725.1	109 501.1
1999	208 172.6	92 623.1	5 437.7	708.5	6 688.6	104 749.4	105 457.9
2000	224 022.8	94 557.5	5 694.7	739.8	6 897.2	107 149.4	107 889.2
2001	233 217.5	96 245.3	5 863.2	846.2	6 425.4	108 533.9	109 380.1
2002	240 499.4	94 239.8	5 958.6	848.8	6 342.5	106 540.9	107 389.7
2003	254 961.8	96 832.0	6 546.0	875.8	5 632.2	109 010.2	109 886.0
2004	264 930.3	98 599.7	8 853.6	838.0	6 600.2	114 053.5	114 891.5
2005	267 609.7	99 852.0	9 865.5	815.2	6 996.0	116 713.5	117 528.7
2006	271 065.5	103 336.7	10 742.2	756.8	6 874.6	120 953.5	121 710.2
2007	272 960.8	105 100.3	11 520.0	692.7	6 894.2	123 514.5	124 207.2
2008	286 974.0	112 519.6	12 701.2	745.4	7 120.0	132 340.8	133 086.2

Fuente: Datos no publicados.

PARA USO RESTRINGIDO

3.2.1 Características de la industria nacional

La actividad industrial en Nicaragua se ha limitado a pocos aspectos por concentrarse el desarrollo económico en el rubro agropecuario. Un número importante de empresas industriales aún se encuentran operando con maquinaria obsoleta, lo que les resulta en altos costos de producción y un alto consumo de agua; sin embargo, existen industrias destacadas que cuentan con tecnología actualizada. Por otro lado, algunas industrias han realizado esfuerzos en el desarrollo de tecnología local, entre las cuales pueden mencionarse la industria alimenticia, la de la madera y la industria del cuero (MIFIC, 2006).

Aproximadamente 581 industrias manufactureras están concentradas en la ciudad de Managua (INEC, 2003), lo que podría representar más del 18% del total del país (MARENA, 2001). Estas industrias pertenecen mayoritariamente a las ramas de alimentos, mineral no metálica o material de construcción, textiles, vestuarios y calzado y química (refinado de petróleo, producción de fármacos, jabones, pinturas, etc.), de las cuales 190 pertenecen a la mediana y gran industria de Managua (ENACAL, 2005).

3.2.2 Fuentes de agua para el uso industrial

Al igual que en otras sociedades humanas (WWAP, 2006), la industria en Nicaragua se ha asentado estratégicamente cerca de las fuentes de agua limpia (aguas superficiales, aguas subterráneas) para el aprovechamiento de este recurso productivo. Un alto número de industrias se concentran en el parque industrial de Managua establecido en la franja costera del lago de Xolotlán. También las industrias buscaron cuerpos de agua como receptores de sus aguas efluentes. La mediana industria posee fuentes propias de abastecimiento de agua (ENACAL, 2005) a través de pozos perforados, los que aún no han sido inventariados. El resto de la industria es abastecida por la ENACAL (INEC, 2003). Las tecnologías de procesamiento actuales que se emplean no permiten un aprovechamiento máximo del agua que pasa a formar parte de los efluentes industriales.

FORO CONSULTIVO

3.2.3 Uso y consumo industrial del agua

El agua en la industria es utilizada como materia prima, solvente, medio de transporte, medio de calefacción o enfriamiento, etc. Según datos del Banco Mundial (2001), el volumen de agua utilizado por la industria nicaragüense en el año 2000 fue de 30,0 Mm³. Este consumo no coincide con los datos facturados ese mismo año por ENACAL (Cuadro 3.4), lo cual así representa sólo 2,5% del consumo reportado por el Banco Mundial del año 2000 (Figura 3.1).

El valor agregado industrial (IVA) y la productividad industrial del agua, definido como la relación entre el IVA y el volumen de agua extraído anualmente por la industria desde las fuentes de suministro, para el año 2000 fue de US$0,48 billones y 14,34 US$/m³, respectivamente (WWAP, 2006). El IVA para el año 2005 fue de aproximadamente US$0,75 billones. Aunque este valor supera el de

años anteriores, se mantiene inferior al IVA del resto de Centroamérica (WWAP, 2006).

Los bajos niveles en la productividad industrial del agua reflejan la valoración irreal del recurso y su mal uso en la industria. Esto es común en países donde son bajas las tarifas para el agua de uso industrial, como el caso de Nicaragua. En otros países de Centro América la productividad industrial del agua oscila entre 9 y 17 US$/m^3.

El consumo de agua facturado para uso industrial en los años 2000, 2001 y 2002, sin incluir los departamentos de Matagalpa y Jinotega, fue de 739 775, 847 085 y 849 236 m^3, respectivamente, de los cuales entre 60 y 65% se consumen en las industrias de Managua (INEC, 2003). Para este período se facturaron aproximadamente 812 000 m^3, que representa 0,75% del promedio total de consumo facturado 233 × 10^6 m^3 para todo el sistema: industrial, gobierno, residencial, comercial (INEC, 2009).

Como puede observarse en la Figura 3.1, el consumo facturado de agua para el sector industrial se mantiene constante desde los años 90 hasta el 2008; sin embargo, no significa que no ha habido un aumento en el consumo de agua por este sector. Aún no existe el sistema de "cobro de cánones por el uso, aprovechamiento, vertido y protección de los recursos hídricos" como está estipulado en la Ley 620, Ley General de Aguas Nacionales, establecido en 2007.

3.3 Usos agropecuarios

Históricamente la principal actividad económica del país ha sido la agropecuaria y tiene una de las más altas tasas de uso de suelo agropecuario en Centroamérica (Cuadro 3.5).

Los reportes del Banco Central de Nicaragua en su Anuario Estadístico 2001-2008 indican que al año 2008 el aporte de los sectores agricultura, ganadería, silvicultura y pesca representaron el 19,1% del PIB. Este dato indica que las actividades agrícolas mantienen un lugar importante en la economía del país. El porcentaje de ocupados en la actividad económica de agricultura y pecuaria ha sido registrado con el valor más alto de todas las actividades, el cual oscila entre 27 y 30% del 2000 al 2008 (BCN, 2009: basado en proyecciones de cifras originales del INIDE, Encuesta de Hogares para la Medición de Empleo, 2005). La ganadería representa del 9 al 10% del PIB nacional y su actividad ha sido constante en la última década (CONAGAN, 2009).

Es importante destacar que la contribución al PIB disminuyó del 20,1% en 2006 al 19,1% en 2008 como resultado de los efectos del huracán Félix, que causó pérdidas considerables en el sector. El desarrollo de las actividades agrícolas de Nicaragua está estrechamente vinculado a la disponibilidad de agua. Los indígenas practicaban la agricultura de subsistencia y se asentaban a las orillas de fuentes de agua. La época colonial definió la inserción del país al mercado mundial en el rubro agroexportador, situación que ha prevalecido hasta hoy en día sin tendencia de cambio. Los mejores suelos fértiles en Nicaragua se localizan en las vertientes del Pacífico donde hay disponibilidad de agua de buena calidad. En la actualidad, en todo el territorio nacional las áreas regadas oscilan entre las 30 000 y 50 000 ha, y los principales cultivos irrigados son los siguientes: caña de azúcar (66%), arroz (25%), banano (3%) y frutales, hortalizas, granos básicos (1%) (IEA-MARENA,2001). En la zona Central las corrientes de agua superficial no cubren toda la demanda de la región y las fuentes de agua subterránea son más limitadas.

El lago Cocibolca ha sido considerado como una posible fuente para la irrigación futura de cultivos, pues se estima que su potencial para riego es del orden de 15 000 Mm^3 año (IEA-MARENA, 2001).

Cuadro 3.5. Uso de suelo para la agricultura en Centroamerica

País	Uso de suelo agrícola (% del área total)	% agrícola del PIB (%1999)	% suelos bajo riesgo
Guatemala	41.6	23	6.6
Honduras	6.1	19	3.4
Belice	77.4	10	4.4
Nicaragua	32	16	3.7
El Salvador	62.3	32	3.2
Costa Rica	55.7	11	25
Panamá	28.6	7	4.9
	43.4	**16.8**	**7.3**

Fuente: World Bank: Agricultural Land Use; Selected Countries, 2001

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

3.3.1. Antecedentes históricos

En Nicaragua, el 1.82% (2 372,73 km²) de la extensión total territorial es ocupada actualmente por cultivos permanentes. La agricultura bajo riego en Nicaragua se inició en la década de los años 50. Las zonas de riego se localizan en los departamentos de León y Chinandega, en el perímetro de los lagos de Nicaragua y Managua y en Nandaime-Rivas, y en la región Central norte, en las zonas del valle de Sébaco y valles de Estelí y Jalapa.

Al inicio de la década de los 70 se estimaba que el área con infraestructura de riego superaba las 40 000 hectáreas, básicamente por aspersión convencional y gravedad, con un volumen de agua subterránea disponible bajo un régimen de explotación intensiva de 1 076 Mm³ (Cuadro 3.6). Para 1978 el área de riego se extendió hasta 70 000 hectáreas. A principios de la década de los 80 se empiezan a usar los sistemas de riego por aspersión con pivote central automatizado, los cuales, en la actualidad, están en estado de semiabandono (FAO, 1992).

En cuanto a las aguas superficiales, un volumen de 4 977 340 m³ se proyecta en la irrigación de 36 970 Mz a través de seis embalses (Cuadro 3.7).

La evolución histórica del área irrigada fue en incremento hasta el año 1991 (Cuadro 3.8). Sin embargo, a partir de 1993 los registros reportan una disminución como consecuencia, principalmente, del deterioro de los equipos de bombeo por falta de mantenimiento (altos costos de importación de repuestos) y falta de asistencia técnica en el manejo de los equipos. Asimismo debido a los incrementos

Cuadro 3.6. Disponibilidad de aguas subterráneas en 1973

Cuenca	Área (km²)	Volumen anual disponible[1] (Mm³)	
		A	B
León-Chinandega	1 548	462	528
Villa Salvadorita	217	29	54
Nagarote	562	54	114
Los Brasiles-Chiltepe	123	4	5
Tipitapa	938	44	118
Nandaime-Rivas	456	48	120
Sinecapa-Viejo	585	54	114
Sébaco-Darío	259	12	23
Total	**4 688**	**707**	**1 076**

[1] A. Sin modificar substancialmente las condiciones actuales del acuífero
[1] B. Régimen de "explotación intensiva"
Nota: no se tiene información de las zonas de Somotillo-Estero Real, Costa Norte del Lago de Managua, Valles de Estelí y Jalapa
Fuente: Catastro e inventario de recursos naturales 1973

Cuadro 3.7. Proyección de utilización de corrientes superficiales (con embalses) en 1973

Sitio	Río	Volumen de presa[1] (m³)	Área regable (Mz)[2]
Mata de Caña	Villanueva	529 840	13 850
Mata Palo	Negro	1 109 660	10 840
Juigalpa	Mayales	201 600	2 830
Toro Negro	Sinecapa	304 140	1 890
La Calabaza	Grande-Matagalpa	1 645 110	3 220
Mal Paso	Villanueva	1 186 990	4 340
Total		**4 977 340**	**36 970**

[1] Volumen de captación en base de cálculos del Bureau of Reclamation
[2] Sobre la base de una lámina de 1 750 mm anuales calculados a la presa
Fuente: Tabla modificada de Diagnóstico de Posibilidades de Riego, 1977

Cuadro 3.8. Evolución histórica de la superficie de riego

Año	Área (ha)
1970	63 000
1985	86 000
1991*	93 000
1993	30 000
Estimado 1996	61 000
Estimado[1] 1998	61 000

* Máximo histórico [1] Criterio del consultor Fuente: CCO 2001.

Cuadro 3.9. Uso del agua subterránea por sector, 1991

Sector	Extracción (Mm³)
INAA/ENACAL	98,01
Municipal	6,65
Industrial	5,88
Agrícola	1,24
Total	**111,82**

Fuente: Kokusai, Kogyo, 1993. Resumen del Estudio de Suministro de Agua en Managuat

Cuadro 3.10. Estimados de eficiencia en irrigación por tipo y fuente de agua

Sistema	Fuente de agua	Eficiencia
Rocío/Pivote	Agua subterránea	63%
Gravedad	Agua subterránea	51%
Arroz	Agua subterránea	63%
Rocío/Pivote	Agua superficial	42%
Gravedad	Agua superficial	34%
Arroz	Agua superficial	42%

Fuente: PARH, 1997. Plan de Acción de los Recursos Hídricos en Nicaragua

PARA USO INTERDIRIGIDO
FORO CONSULTIVO

de la tarifa de energía para el sector riego y a las frecuentes interrupciones en el suministro de energía que han contribuido a la disminución del área regada (CCO, 1998).

En 1991, los usos y necesidades agrícolas de agua subterránea comparados con las extracciones de la ENACAL para uso doméstico o el sector industrial son muy pequeños (Cuadro 3.9). Se estima un potencial subterráneo para irrigación de 17 196 Mm^3 y superficial de 16,23 Mm^3, incluidos el lago de Nicaragua con 15 800 Mm^3, el río Viejo con 100 Mm^3 y tres posibles reservorios de 100 Mm^3 (CCO, 2001).

En la región del Pacífico aproximadamente 30% del potencial de agua subterránea y 15% del agua superficial explotable es usada. La mayor parte del agua capturada (subterránea y superficial) se usa para irrigación de 75 000 hectáreas (CCO, 2001).

El Cuadro 3.10 muestra la eficiencia mundial por método de irrigación y fuente de agua con sistemas en buenas condiciones. Sin embargo, la eficiencia se reduce debido al deterioro de los sistemas de pivote o rocío; a la falta de nivelación en los sistemas por gravedad, y a la falta de asistencia técnica y mantenimiento de los sistemas. La eficiencia del sistema tipo arroz es alta debido a la permeabilidad de los suelos. El grado general de eficiencia de los sistemas de irrigación en el país se estima en menos de 20%.

3.3.2 Situación del riego en Nicaragua

Se han considerado once unidades de planificación (Cuadro 3.11), con una superficie total de unas de 61000 hectáreas y denominadas "área regable actualmente", que cuentan con infraestructura para riego.

El área disponible para suelo hasta una altura de 200 msnm es de aproximadamente 1 200 000 hectáreas (Cuadro 3.11). Teniendo en cuenta además la disponibilidad de agua, especialmente las aguas del Lago Cocibolca, se ha determinado un área adicional de 230 000 hectáreas.

3.4 Otros usos

Del total de recursos hidroeléctricos con que cuenta Nicaragua, el 94% está concentrado en la vertiente del Atlántico. De acuerdo con la disponibilidad hídrica de Nicaragua, se estima en hasta 3 760 MW el potencial de energía hidroeléctrica que se podría generar. En el año 2000, la generación hidroeléctrica en el país representó el 8,0% del total de energía que se generaba en ese entonces para un consumo per cápita de 474 kWh. Sin embargo, actualmente la generación de energía hidroeléctrica ha venido en aumento y el consumo per cápita sigue siendo el más bajo de la región.

3.4.1 Hidroeléctricas

La demanda de energía eléctrica en Nicaragua, tanto como servicio para la población como para todas las actividades de desarrollo, se encuentra parcialmente satisfecha debido a la dependencia del país de la importación de petróleo. Las plantas hidroeléctricas representan, al año 2006, el 10% de la electricidad producida en Nicaragua. La compañía pública HIDROGESA opera las dos plantas existentes (Centroamérica y Santa Bárbara). Ante esto, el Ministerio de Energía y Minas (MEM) ha identificado el potencial y el nivel de aprovechamiento de energía renovable para el país, el cual se resume en el Cuadro 3.12.

Cuadro 3.11. Disponibilidad y área potencial de riego con el área potencial máxima de riego en base a suelos y recursos hídricos disponibles

Disponibilidad de tierras y área potencial de riego		Área con potencial máximo de riego con base en suelos y recursos hídricos disponibles			
Zonas	Área total (ha)	Regiones	Fuente	Unidad de planificación	Área
Golfo de Fonseca (Pacífico)	162 800	Pacífico Norte	Superf./Subterránea	1 y 2	71 000
Lago de Managua (Central-Lacustre)	138 300	Pacífico Central	Subterránea	3-7	18 000
Cosiguina–Tamarindo (Pacífico)	178 600	Pacífico Sur	Subterránea	4	3 200
Carmen–Bahía Salinas (Pacífico)	185 500	Inferior Norte	Subterránea	11	800
Lago de Nicaragua (Lacustre)	436 700	Inferior Central	Superficial	8 y 11	6 800
Valles Intermontanos	108 200	Inferior Sur	Subterránea	9 y 10	13 000
		Lago de Nicaragua	Superficial	5, 9 y 10	120 000
Total	**1 210 100**	**Total**	**70% superficial/ 30% subterránea**		**232 800**

Fuente: CCO, 1998

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 3.12. Potencial y aprovechamiento del recurso renovable en Nicaragua

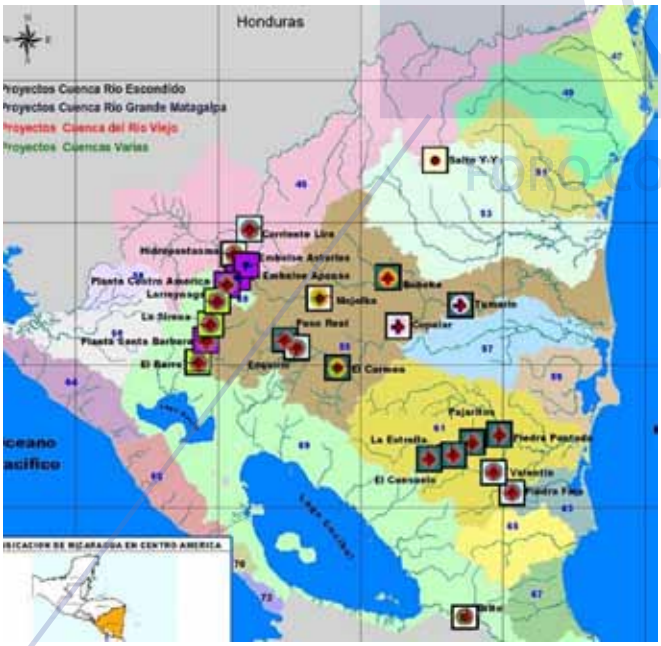
Tipo de generación	Potencial (Mw)	Capacidad efectiva (Mw)	Porcentaje de aprovechamiento
Hidroeléctrica	3 280	98	3
Geotérmica	1 200	37	3.1
Eólica	800*	0	0
Biomasa	200	60	30
Total	**5 480**	**195**	**3.6**

Fuente: MEM, Nicaragua, 2008

Se calcula una demanda total de agua para la producción de energía en 481 Mm^3 generada en los proyectos identificados por el MEM (Figura 3.4).

En la Figura 3.4 están localizados los proyectos hidroeléctricos que requerían un determinado volumen de agua superficial, para lo cual se aprovechan las caídas naturales o se represan las aguas de los ríos. Actualmente las plantas operantes, Centroamérica y Santa Bárbara, funcionan a través de la desviación del río Tuma en la presa Mancotal de 48 m de alto que forma el embalse artificial del lago de Apanás, cuyo nivel medio es de 956,5 msnm y el área de 58 km^2, para un volumen de almacenamiento de 440 Mm^3. De éstos, 310 Mm^3 son de almacenamiento activo, lo que permite regular el caudal variable del Tuma.

Figura 3.4. Proyectos hidroeléctricos en Nicaragua



Fuente: MEM. Fuente: MARENA, 2001, tomado de Silva, 2002, Capital hídrico y usos del agua en Nicaragua

El lago de Apanás es uno de los principales embalses para la generación de energía hidroeléctrica. La vida útil de este cuerpo de agua, junto con el río Viejo, ha sido reducida por los problemas de erosión de los suelos en su cuenca. Los problemas de competencia entre el uso para riego en el valle de Sébaco y la generación de energía de la planta de Santa Bárbara son indicadores de la necesidad de ejercitar planes hidrológicos por cuencas (IEA-MARENA 2001).

En el Cuadro 3.13 se presenta un volumen estimado del caudal máximo de almacenamiento de los embalses para la generación de energía eléctrica de los proyectos presentados por el MEM.

Todas las hidroeléctricas proyectadas y existentes están ubicadas en ríos de las regiones Central y Atlántica debido a que allí se presentan las características requeridas para el establecimiento de estos proyectos. Es importante destacar que las plantas que se encuentran operando al momento han disminuido su capacidad de producción en época de sequía severa y por los procesos de erosión en las cuencas,

Cuadro 3.13. Volumen máximo estimado de almacenamiento de los embalses

Proyecto hidroeléctrico	Volumen máximo del embalse (Mm^3)
Copalar	13 047
Tumarín	200
Mojolka	2 215
Boboke	10 360
Paso Real	25
Esquirín	20
Valentín	4 160
Piedra Fina	3,2
Pajaritos	1 281,64
La Estrella	18
El Consuelo	14
Piedra Puntuda	NR
Brito	1,6
Lira	2,95
Pantasma	0,524
El Salto	0,01
Centroamérica	30
Santa Bárbara	25
Larreynaga	0,18
La Sirena	131
El Barro	0,36

Fuente: Proyectos Hidroeléctricos, MEM, 2010.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

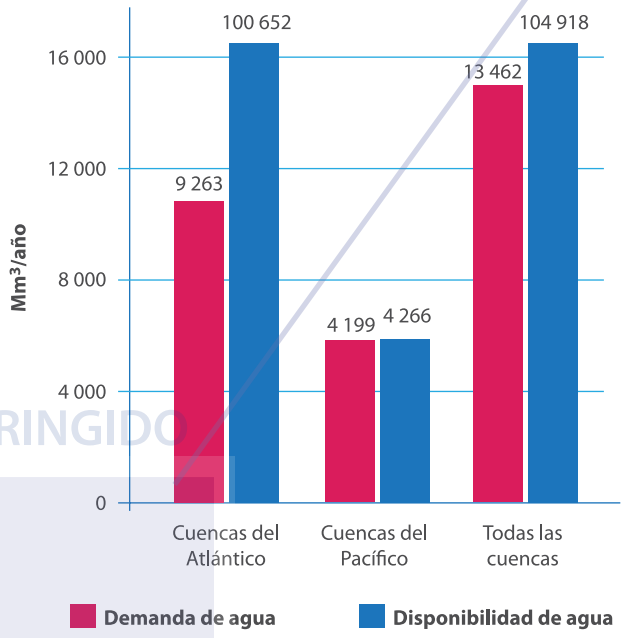
lo que ha resultado en la pérdida de volumen de almacenamiento por sedimentación. También es importante que se consideren los efectos climáticos globales a largo plazo una vez que sean aprobados estos proyectos.

3.5 Demanda versus disponibilidad

La disponibilidad nacional de agua es suficiente para cubrir la demanda existente. En la Figura 3.5 se ilustra que la disponibilidad total de agua de todas las cuencas es suficiente para cubrir la demanda existente. Sin embargo, para las cuencas que drenan al Pacífico, si bien es cierto que actualmente la disponibilidad es mayor a la demanda, la brecha existente es poco significativa, y apunta, por lo tanto, a un problema de escasez en años futuros. De hecho, la Cuenca Nº 64 (entre Cosigüiná y Tamarindo) ya ha sufrido desabasto por falta de una buena distribución de agua y por sobreexplotación del acuífero para uso agrícola, en especial en la estación seca (noviembre a abril) (MARENA, 2008a).

La demanda de agua según proyecciones de la población por departamento se presenta en el Cuadro 3.14.

Figura 3.5. Estimaciones de demanda total de agua en Mm³/año



Fuente: PHIPDA, 2003.

Cuadro 3.14. Proyecciones de población y demanda de agua actual en el país

Departamento	Población año 2010 (habitantes)			Demanda de agua año 2010 (Mm³/año)	
	Total	Urbana	Rural	Urbana	Rural
Nueva Segovia	246 466	101 544	144 922	7,36	9,06
Jinotega	374 875	80 223	294 652	5,82	18,42
Madriz	146 964	45 118	101 846	2,94	6,37
Estelí	216 057	127 474	88 583	9,24	5,54
Chinandega	394 373	235 441	158 932	17,07	9,93
León	364 763	215 210	149 553	15,60	9,35
Matagalpa	518 004	193 215	324 788	14,01	20,30
Boaco	158 320	49 712	108 607	3,24	6,79
Managua	1 353 897	1 225 277	128 620	88,83	8,04
Masaya	317 044	175 642	141 401	12,73	8,84
Chontales	158 606	92 150	66 456	6,68	4,15
Granada	175 022	112 014	63 008	8,12	3,94
Carazo	175 410	108 228	67 182	7,85	4,20
Rivas	165 070	78 243	86 827	5,67	5,43
Río San Juan	111 361	27 283	84 078	1,58	5,25
RAAN	399 013	111 724	287 289	8,10	17,96
RAAS	325 347	120 053	205 294	8,70	12,83
Total	**5 600 591**	**3 098 552**	**2 502 039**	**223,56**	**156,38**
Demanda de agua total				**379,94**	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos poblacionales del Censo INEC, 2005, y Normas de INAA, 1999

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

La demanda de agua en los últimos cinco años para los sectores municipales, industriales y agropecuarios se muestra en los Cuadros 3.15, 3.16 y 3.17.

3.6 Calidad natural del agua

3.6.1 Estado de la calidad del agua para consumo humano

La calidad natural de las aguas subterráneas se considera buena para el consumo humano de acuerdo con las normas de calidad usadas en Nicaragua (EPA, CAPRE). Se determinan tres tipos hidrogeoquímicos predominantes: HCO_{3-} - Ca^{2+}, HCO_{3-} - Ca^{2+}- Mg^{2+} y HCO_{3-} - Mg^{2+} en las tres zonas de Nicaragua (Cuadro 3.18).

PARA USO RESTRINGIDO

Cuadro 3.15. Datos históricos del uso municipal de agua, PIB municipal y población

Año	Uso municipal (Mm^3/año)	Tarifa municipal promedio (US$/$m^3$)	PIB servicios (US$)
2005	116 713,5	0,34	0,89
2006	120 953,5	0,32	0,96
2007	123 514,5	0,31	0,00
2008	132 340,8	0,30	0,00

Fuente: ENACAL, BCN, Anuario Estadístico 2001-2008.

Cuadro 3.16. Datos históricos del uso industrial de agua, PIB municipal y tarifa

Año	Agua para uso industrial (Mm^3/año)	Tarifa de agua industrial (US$/$m^3$)	PIB industrial (US$)
2005	6 996,0	0,88	4,13
2006	6 874,6	0,86	4,30
2007	6 894,2	0,83	4,46
2008	7 120,0	1,10	4,59

Fuente: ENACAL, BCN, Anuario Estadístico 2001-2008.

Cuadro 3.17. Datos históricos del uso agropecuario de agua, PIB municipal y tarifa

Año	Agua para uso agropecuario (Mm^3/año)	Tarifa de agua industrial (US$/$m^3$)	PIB agropecuario (US$)
2005	-	-	0,95
2006	-	-	0,98
2007	-	-	0,96
2008	12 701,2	0,239	1,01

Fuente: MAGFOR, Subprograma Desarrollo y Reactivación del Riego para Contribuir a la Seguridad Alimentaria en Nicaragua, Anuario Estadístico 2001-2008, BCN, octubre de 2008

Dentro de los contaminantes naturales presentes en las aguas se destacan el hierro y el flúor (10,5% y 0,9% de 1 488 muestras, con valores que superan los 3,0 mg/L y 1,5 mg/L, respectivamente; UNICEF *et al.*, 2005) y arsénico (Sección 4.3.1). La calidad del agua presenta mayores amenazas en la región del Pacífico por la alta concentración de la población y la industria, así como por la fuerte actividad agropecuaria en esa zona (OPS-OMS, 2004) (Sección 4.1).

3.6.2 Clasificación de agua para riego

La mayoría de las aguas de la zona del Pacífico del país se consideran de buena calidad para irrigación. En el Cuadro 3.19 se condensa la clasificación de las aguas del Pacifico para riego (Krásný, J., 1995).

En la región Central y parte del Atlántico, evaluada por hoja topográfica 1:25000, se han clasificado 13 tipos de agua para riego (Cuadro 3.20) en los que predominan los tipos C1-1, C2-S1 y C2-S2 con 50%.

Del área total (Cuadro 3.21) de la zona de estudio, el 85,06% se puede utilizar ampliamente para riego en todos los cultivos sin restricción, salvo los extremadamente sensibles a la salinidad (INETER, 2004).

FORO CONSULTIVO

4. Situación ambiental de los recursos hídricos

La contaminación de las aguas superficiales y subterráneas prevalece a lo largo del país como consecuencia de actividades agropecuarias; descarga sin tratamiento previo de los desechos domésticos, industriales y agroindustriales por lo que la mayor parte de estos vertidos llega a lagos y ríos, y procesos de erosión que son resultado del cambio de uso de suelo. Adicionalmente, la pérdida de la cobertura boscosa está causando excesivas cargas de sedimento en los cuerpos de agua superficial, lo que implica un aumento en la eutrofización de los cuerpos de agua promovido por la entrada de la carga acompañante de nutrientes.

4.1 Impactos de la agricultura

Las prácticas agropecuarias inapropiadas son la principal causa de contaminación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos en Nicaragua. En las zonas Pacífica y Central, donde se da la mayor parte de la actividad agropecuaria, se han encontrado problemas de contaminación por agroquímicos en las aguas superficiales y subterráneas, en especial en el acuífero más importante del

Cuadro 3.18. Tipo hidrogeoquímico, valores de pH y conductividad eléctrica

Zona del país	Tipo predominante de agua	Segundo tipo predominante de agua	pH	Conductividad eléctrica (µS/cm)
Pacífico	* HCO_{3-} - Ca^{2+}	* HCO_{3-} - Ca^{2+} - Mg^{2+}	*** 6,18–8,80	*** < 500
Centro	** HCO_{3-} - Ca^{2+}	** HCO_{3-} - Mg^{2+} HCO_{3-} - Mg^{2+} - Ca^{2+}	*** (Norte) 4,20–9,96 (Sur) 4,83–9,42	*** < 500–3.550
Atlántico	** HCO_{3-} - Ca^{2+}	** HCO_{3-} -Mg^{2+}	*** 5,16–9,40	*** < 500

Fuente: *INETER, 1989. **INETER, 2004. ***UNICEF *et al.*, 2005

Cuadro 3.19. Clasificación de agua para riego y área de distribución en la zona del Pacífico

Hoja 1:250000 Clase	Chinandega (km^2)	Managua (km^2)	Granada (km^2)	Total (km^2)
C1-S1	-	2 619,9	74,6	2 694,5
C2-S1	1 519,2	9 924,2	4 010,9	15 454,3
C3-S1	747,9	2 535,3	723,4	4 006,6
C4-S1	582,1	50,2	10,0	642,3
C1-S2	-	-	-	-
C2-S2	-	75,0	11,3	86,3
C3-S2	16,5	158,1	53,8	228,4
C4-S2	1,8	32,8	5,3	39,9
C1-S3	-	-	-	-
C2-S3	-	2,0	-	2,0
C3-S3	-	52,8	-	52,8
C4-S3	2,2	43,4	7,3	52,9
C1-S4	-	-	-	-
C2-S4	-	-	-	-
C3-S4	-	45,0	-	45,0
C4-S4	1,3	52,0	16,1	69,4
Total (km^2)	**2 871,0**	**15 590,7**	**4 912,7**	**23 374,4**

Fuente: Krásný, J., 1995.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

país, el de León-Chinandega, ubicado en una zona de intensa actividad agrícola. Aquí se han detectado plaguicidas organoclorados (utilizados en el monocultivo del algodón) y organofosforados, seguidos por triazinas y carbamatos (Álvarez Castillo, 1994; Briemberg, 1995; INETER/OIEA, 1997; CIRA/MEL/DIPS, 1996-1998; CIRA/IAEA, 1999; CIRA/UNAN, 1999a y b; Centro Humboldt, 2002; Delgado, V., 2003). Para la zona del Atlántico, son pocos los estudios realizados. Dumailo (2003) realizó un estudio integral para la bahía de Bluefields, la desembocadura del río Escondido, donde se identificó contaminación por hidrocarburos, plaguicidas y bacterias patógenas. Existen iniciativas para establecer un sistema de monitoreo para reducir el escurrimiento de plaguicidas a la zona caribeña (Sección 4.6.3).

En la actualidad existe en Nicaragua un total de 1 446 agroquímicos registrados, de los cuales 23% corresponde a fertilizantes, 16% a herbicidas e insecticidas, más 15% a fungicidas, principalmente. El 85% de los plaguicidas se utiliza en la agricultura, 10% se utiliza en salud pública, y otros usos son doméstico, ganadería y control de cultivos ilícitos (MAGFOR, 2004). En el período de 2004 a 2009 se importó un total de 16 290 666,45 kg de plaguicidas, expresado en unidades de ingrediente activo; el porcentaje de plaguicidas importado por grupo de acción biocida son 61,87% de herbicidas, 26,58% de fungicidas y 10,45% de insecticidas (Proyecto RepCar, 2010).

Hasta 2006, el consumo de plaguicidas fue de aproximadamente 15 toneladas métricas. Este incremento se debe a la expansión de las áreas de cultivos y su utilización en la producción agropecuaria para el combate de plagas y enfermedades que afectan el rendimiento (PNUMA-MARENA, 2000). Los residuos de estos productos representan un riesgo permanente de degradación de la calidad de los recursos hídricos.

Cuadro 3.20. Áreas de las clases de aguas para riego en las hojas Estelí, San Carlos, Juigalpa, Siuna y Bocay

Clases	Área de las hojas escala 1:250,000 (km²)						
	Estelí	San Carlos	Juigalpa	Siuna	Bocay	Total	Área (%)
C1-S1	4 442,66	3 285,63	6 130,49	16 747,17	8 981,11	39 587,06	53,215
C1-S2	389,89	929,37	120,51	11,25	0,00	1 451,02	1,951
C1-S3	126,80	130,01	0,00	0,00	0,00	256,81	0,345
C1-S4	5,62	230,25	0,00	0,00	0,00	235,87	0,317
C2-S1	5 457,18	4 483,38	7 388,91	1 087,71	1 594,98	20 012,16	26,901
C2-S2	1 566,94	1 314,16	2 335,81	107,12	0,00	5 324,03	7,157
C2-S3	522,96	528,82	904,62	0,00	0,00	1 956,40	2,630
C2-S4	363,43	381,06	1 084,21	10,33	0,00	1 839,03	2,472
C3-S1	474,23	564,58	48,35	5,32	0,00	1 092,48	1,469
C3-S2	420,93	1 029,99	0,00	0,00	0,00	1 450,92	1,950
C3-S3	241,63	466,12	0,00	0,00	0,00	707,75	0,951
C3-S4	96,21	344,33	36,73	0,00	0,00	477,27	0,642
C4-S1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C4-S2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C4-S3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C4-S4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total						**74 390,80**	**100,00**

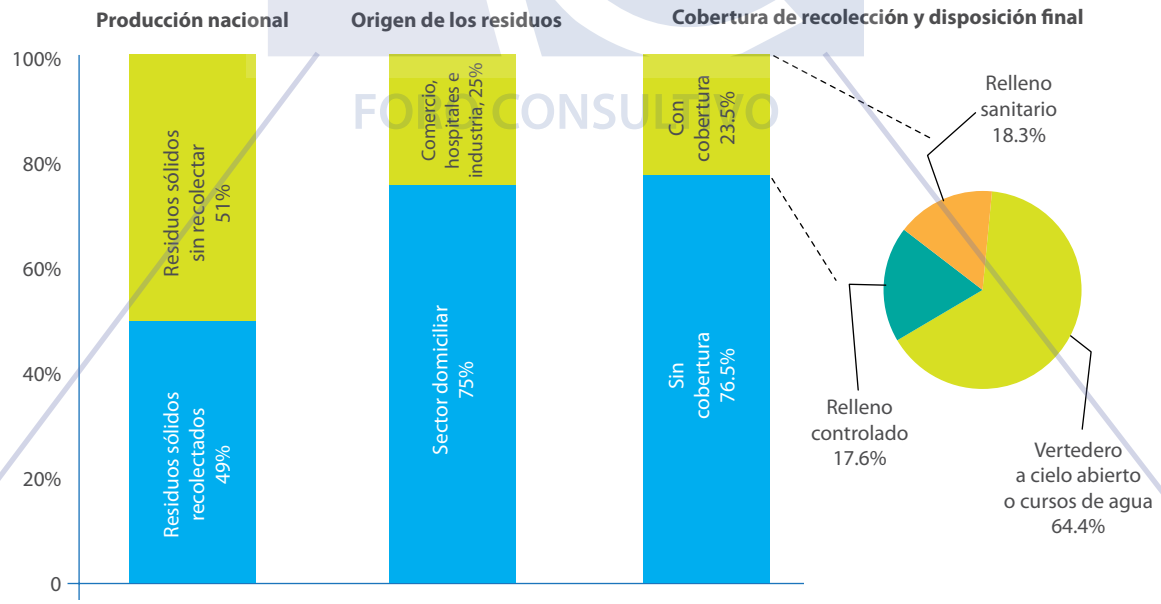
Fuente: Krásný, J., 1995

Cuadro 3.21. Áreas de las clases de aguas sin restricciones para riego del total del área de estudio

Total del área de estudio (km²)	Pacífico		Centro y Atlántico		Total	
	(km²)	%	(km²)	%	(km²)	%
97 765,20	18 235,10	18,65	64 923,25	66,41	83 158,35	85,06

Fuente: INETER, 2004.

Figura 4.1. Estimado del manejo de la producción de desechos sólidos a nivel nacional



Fuente: Agenda 21-Nicaragua

PARA USO RESTRINGIDO
FOR CONSULTATION

En la actualidad, 90% de los productores del país utiliza plaguicidas y sólo 10% está probando otras alternativas amigables con el ambiente y la población (PNUMA-MARENA, 2000).

Se calcula que el arrastre de los plaguicidas hacia el Mar Caribe del país ha alcanzado hasta 13 toneladas métricas de ingrediente activo por año. Esto se conjuga con el avance acelerado de la frontera agrícola en la cuenca del Atlántico, lo que eleva los riesgos de contaminación al grado que ésta podría alcanzar las reservas naturales y los ecosistemas marinos de la plataforma Atlántica y del Gran Caribe en general, por ahora diversificados pero muy frágiles (OPS/OMS-DANIDA, 2002).

4.2 Impactos de la industria y actividades domésticas en los recursos hídricos

De acuerdo con las cifras del inventario del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), en el Pacífico se producen más de 275 000 toneladas anuales de basura doméstica y unas 60 000 toneladas anuales de basuras industriales que se abandonan en sitios sin control ni regulación alguna.

En la Figura 4.1 se presenta un estimado del manejo de la producción de desechos sólidos a nivel nacional. De los desechos colectados se estima que 75% proviene del sector domiciliar y que el restante 25% proviene del comercio, hospitales e industria. La ciudad de Managua produce 61% de la basura recolectada en todo el país.

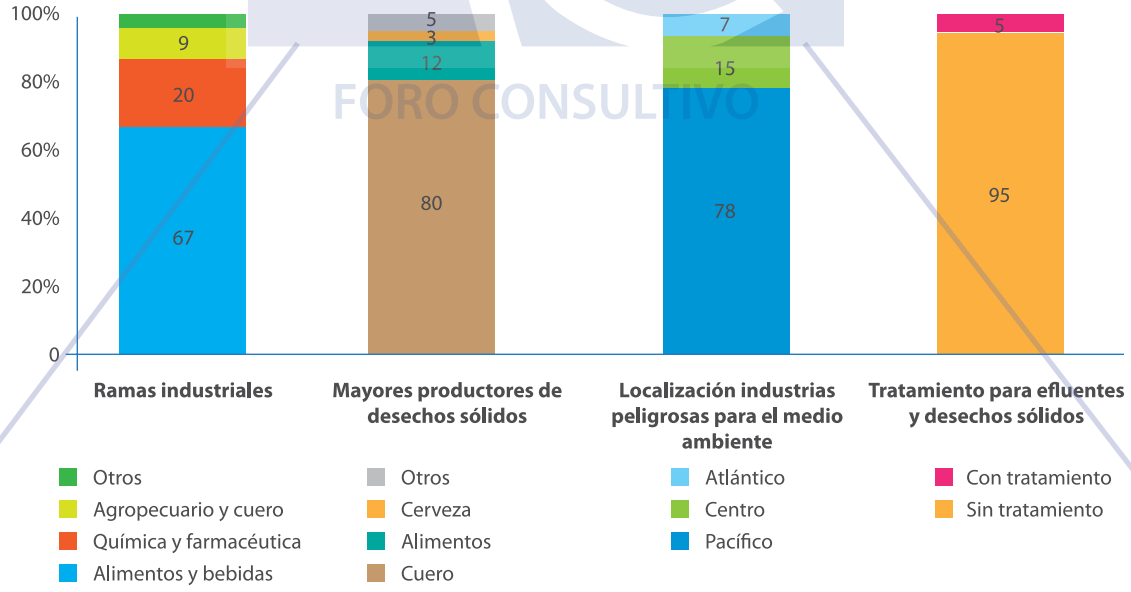
Los desechos sólidos industriales son recolectados y enviados a los basureros municipales sin previa clasificación. Eventualmente las sustancias contaminantes alcanzan las fuentes subterráneas o corrientes superficiales. Los desechos hospitalarios se mezclan con los desechos sólidos y son enviados a los vertederos municipales; algunos centros cuentan con incineradores (MARENA, 2004).

En la Figura 4.2 se observa la distribución de la producción de los desechos sólidos industriales a nivel nacional.

Una gran cantidad de los desechos no recolectados son arrastrados por las corrientes a los cuerpos de agua; se destaca el lago Xolotlán, en la ciudad de Managua, al que se derivan alrededor de 260 000 toneladas de desechos sólidos urbanos al año.

En el sistema de alcantarillado sanitario se mezclan las aguas domésticas y desechos de laboratorios, hospitalarios, industriales y comerciales, sin previo tratamiento en la mayoría de los casos. El más impactado es el lago Xolotlán, donde se han vertido desde 1926 las cargas contaminantes provenientes de la ciudad de Managua, en un volumen estimado de 1,75 m³/s.

Figura 4.2. Distribución de la producción de desechos sólidos industriales a nivel nacional



Fuente: Agenda 21-Nicaragua

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

En la Figura 4.3 se presenta la cobertura y disposición de los residuos líquidos y las excretas y se observa que hasta el 2005 se aplicaba tratamiento al 50% de los desechos. Sin embargo, muchos de estos sistemas funcionan deficientemente, ya que descargan efluentes que no cumplen con las disposiciones para el control de la contaminación proveniente de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias (Decreto 33-95; La Gaceta, 1995) debido al incremento de la carga contaminante producida por el crecimiento poblacional.

En el Cuadro 4.1 se presentan los resultados de fósforo total (PT), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspensos (SS) en tres efluentes de residuos líquidos municipales que descargan en cuerpos receptores naturales. En los tres casos, la DQO y los SS no cumplen con los valores establecidos por el decreto 33-95 (180 mg.l^{-1} y 80 mg.l^{-1}, respectivamente). El nuevo reglamento (aún no vigente) para los vertidos de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillados sanitarios establece un valor de 10 mg.l^{-1} para PT, el cual es considerado muy alto, ya que es un nutriente que promueve el proceso de eutrofización en los cuerpos de agua superficiales.

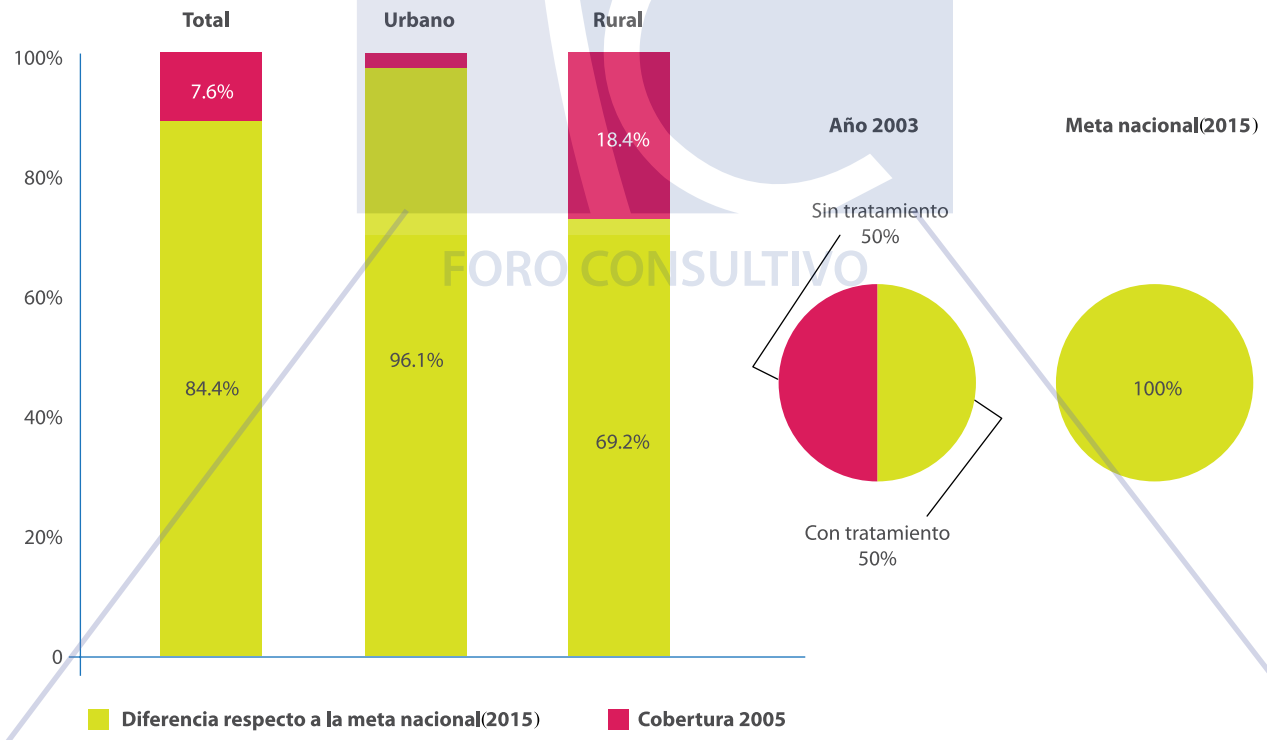
Ecosistemas acuáticos como el lago Xolotlán, las lagunas de Masaya y Tiscapa se encuentran en un avanzado estado de eutrofización que los hacen inutilizables para cualquier uso. Como parte del proyecto de salvamento y recuperación del lago Xolotlán, la nueva estación depuradora de aguas residuales comenzó a funcionar en febrero de 2009. Allí se está tratando, previamente a su descarga al lago Xolotlán, el 75% del volumen generado por la ciudad de Managua.

En el Cuadro 4.2 se presentan algunos ecosistemas acuáticos receptores de desechos líquidos y sólidos crudos que provocan la degradación del recurso que limita su uso.

4.3 Impacto de contaminación por metales pesados

La contaminación por metales ha causado problemas más relevantes en cuanto a la calidad de los recursos hídricos (UNICEF, 2004; Altamirano, 2005). Éstos provienen tanto de fuentes naturales como de origen humano. Algunas zonas del centro y norte del país han sido identificadas con contaminación natural por arsénico. Algunas de las lagunas cratéricas del Pacífico tienen altos niveles de arsénico,

Figura 4.3. Cobertura y disposición de residuos líquidos y de excretas



Fuente: INEC, 2005

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 4.1. Resultados de PT, DQO y SS en efluentes de aguas municipales

Ciudad	Tipo de efluente	PT ($mg.l^{-1}$)	DQO ($mg.l^{-1}$)	SS ($mg.l^{-1}$)	Receptor de la carga contaminante
Boaco	Efluente sin tratar	25,09	1 690,14	1 253,00	Río Fonseca
Granada	Efluente de lagunas de oxidación	10,11	306,73	147,00	Lago Cocibolca
Rivas	Efluente de lagunas de oxidación	16,33	237,87	165,71	Río de Oro

Fuente: CIRA/UNAN, 2007.

Cuadro 4.2. Cuerpos de agua receptores de residuos sólidos y líquidos

Cuerpos de agua	Residuos			
	Sólidos		Líquidos	
	Domiciliar	Industrial	Domiciliar	Industrial
Río Acome (Chinandega)	x		x	
Río Atoya (El Viejo)	x	x		
Río Chiquito (León)	x	x	x	x
Río La Zopilotera (Chichigalpa)	x	x	x	x
Estero El Realejo	x			x
Xolotlán	x	x	x	x
Tiscapa	x		x	x
Xiloá	x			
Cocibolca	x	x	x	x
Masaya			x	
Río de Oro (Rivas)	x		x	
Río Fonseca			x	
Malacatoya				
Mayales	x		x	
Acoyapa			x	
Tepenaguasapa			x	x

Fuente: CIRA/UNAN, 2007; Flores, S., 2005; MARENA, 2004c, y MARENA, 2003.

PARA USO RESTRINGIDO

como Apoyo, Xiloá, Asososca de León y Apoyeque (Parello *et al.*, 2008). Entre las fuentes de origen humano de metales, son contaminantes las siguientes: la minería artesanal, que utiliza mercurio; las tenerías, que usan cromo, y las industrias de fabricación de baterías, que usan plomo.

4.3.1 Problemas por arsénico

Debido a las formaciones volcánicas en algunas zonas del país existen problemas de contaminación natural del agua subterránea por arsénico. Esto ocurre en estructuras mineralizadas o alteradas hidrotermalmente que son fuente primaria de arsénico y que se ubican en los lineamientos tectónicos paralelos al Graben de Nicaragua. La ocurrencia de fallas y fracturas próximas al flujo de agua subterránea son los conductos para que el contaminante entre al acuífero (Altamirano y Bundschuh, 2009). La Figura 4.4 muestra la ubicación de siete fuentes de agua potable que resultaron con concentraciones de arsénico arriba de la norma (>10µg l^{-1}, OMS) en varias campañas de monitoreo del Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN).

FORO CONSULTIVO

En un estudio sobre la incidencia de arsénico en aguas subterráneas de la región noroeste y suroeste de Nicaragua (Estrada, 2002), donde se monitorearon con prioridad las fuentes de agua que abastecen a poblaciones próximas a cuerpos mineralizados y con alteraciones por procesos hidrotermales ubicadas en estructuras tectónicas paralelas a la depresión de Nicaragua, se identificaron cinco áreas anómalas (El Zapote, Santa Rosa del Peñón, La Cruz de la India, Susucayán y Rincón de García) con un contenido por arriba de los 10 µg/L. Todos estos pozos se encuentran en comunidades en extrema pobreza.

4.3.2 Problemas por mercurio

El mercurio ha sido considerado como uno de los contaminantes que ha causado los más serios impactos de origen

Figura 4.4. Ubicación de siete fuentes de agua potable con concentraciones de arsénico por arriba del valor guía (>10µg/l^{-1}, OMS)

Fuente: Altamirano y Bundschuh, 2009.

humano al ambiente en el mundo. En Nicaragua el mercurio se usa en la actividad minera de oro. Su uso no controlado en los procesos de amalgamación y destilación resulta no sólo en contaminación ambiental, sino también en la exposición humana al mercurio (Lacerda, 2003; Telmer *et al.*, 2006). El lago de Managua ha sido afectado por residuos líquidos con alto contenido de mercurio provenientes del complejo Hercasa-Elpesa (Pennwalt) que estuvo operando en la costa sur del lago Xolotlán, al oeste de la ciudad de Managua, para producir hipoclorito de sodio y gas cloruro desde 1967 hasta 1992. Aunque la minería de oro ha caído en su producción y representa <0,8% del PIB de Nicaragua, existen todavía dos grandes empresas mineras activas y tres pequeñas. El empleo de mercurio para amalgamación se concentra en la pequeña minería artesanal de Santo Domingo, Distrito de Coco Mina y Bonanza. Se estima que las emisiones totales de mercurio para Nicaragua en los últimos 100 años han sido de 40 toneladas (Andre *et al.*, 1997), y que las emisiones anuales recientes son de 60 kg a 180 kg (Andre *et al.*, 1997, y Velásquez, 1994).

Un área en la cual ha sido estudiado el impacto por mercurio en los recursos hídricos es el río Sucio, un río pequeño que históricamente ha sido expuesto a la actividad minera de oro en el municipio de Santo Domingo, Departamento de Chontales. Los mineros artesanales y las cooperativas mineras todavía usan mercurio para enriquecer el oro. Se ha encontrado presencia de mercurio en la fase suspendida del agua de río en concentraciones que fluctúan con el tiempo en correspondencia con la operación de las plantas de procesamiento de oro y la distancia a los sitios de amalgamación. Las concentraciones de mercurio encontradas oscilaron entre 0,1 µg/L hasta 5 µg/L, lo que excede el criterio de la OMS para agua de consumo humano. Se detectó mercurio también en el agua subterránea, así como en los sedimentos del río, en concentraciones de 10 µg/g a distancias hasta de 2 y 3 km río abajo y valores de 0,1 µg/g a 45 km de la fuente de descarga de dos plantas de tratamiento. El riesgo de contaminación del agua potable es bajo, ya que la contaminación está limitada al área cercana a las plantas de procesamiento (Picado, 2008).

Las aguas residuales del complejo Hercasa-Elpesa (Pennwalt) con alto contenido de mercurio fueron descargadas en el lago Xolotlán sin ningún tipo de tratamiento. Se ha estimado que este complejo descargó aproximadamente 18 000 kg (40 toneladas) de mercurio (Hg) en el lago, lo que representa una de sus principales causas de contaminación (Corrales, *et al.*, 1982). Recientemente, el Instituto de la Enfermedad de Minamata, en Japón, y el CIRA/UNAN realizaron el estudio "Contaminación Ambiental por Mercurio en el Lago Xolotlán, Nicaragua, en Relación a la Evaluación de Riesgo a la Salud Humana" con financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Esta evaluación incluyó la determinación de mercurio en agua, suelos, sedimentos y su bioacumulación en cabello humano y peces de la microcuenca sur del lago Xolotlán. Los resultados indicaron que en el área monitoreada (terreno de las instalaciones de la fábrica y la zona circundante) se encuentran suelos y agua subterránea contaminados por mercurio. El fondo de un cauce usado para verter los desechos líquidos al lago también mostró acumulación de mercurio y metilmercurio. Los residentes de la zona que consumen pescado regularmente no mostraron niveles de mercurio en el cabello ni tampoco efectos epidemiológicos visibles. El contenido de mercurio en peces resultó también bajo (Jiménez *et al.*, 2009; Nicaraguan Research Center for Aquatic Resources, 2007).

4.4 Impacto de la contaminación por procesos de erosión

Se estima que entre 1990 y 2015 la población de Nicaragua incrementará en casi 67% (Vargas, 2007), crecimiento que ocurrirá principalmente en las zonas urbanas (la tasa de urbanización del país es la más alta de Centroamérica con 50% de población citadina en 2005). Este crecimiento, en sinergia con la deficiente infraestructura sanitaria (tanto para desechos líquidos como sólidos), la alta densidad poblacional, la pobreza y la ausencia de medidas de ordenamiento territorial ha provocado el deterioro ambiental que se refleja en la calidad del agua.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

La deforestación de las cuencas hidrográficas avanza a una velocidad muy rápida. En 1950 Nicaragua tenía 7 millones de hectáreas de bosque, las que en 2006 se redujeron a sólo 3,2 millones (Vargas, 2007). El uso de suelo para sistemas agropecuarios ha sido la causa de la deforestación (Figura 4.5), lo cual induce la erosión de las cuencas hidrográficas y el uso intensivo de plaguicidas. La conversión de los suelos con potencial forestal a pastos para la ganadería extensiva es común en la cuenca del gran lago Cocibolca, donde el suelo para pasto se estima en 75,1% (Vammen *et al.*, 2006).

En el año 2000 el área de bosques era de 56 195 km² (43,1% del territorio nacional), de los cuales 48 875 km², es decir, 37,5% del territorio, se empleaba para fines agropecuarios. Durante una evaluación del uso de suelo potencial (Figura 4.6) se catalogó 55,3% para uso forestal, mientras que el restante 44,7% se consideró apto para uso agropecuario, del cual 37,8% del total es apto para fines ganaderos y solamente 6,9% para uso agrícola (MARENA, 2004a y b), cifras que contrastan con las del uso actual del suelo, pero que también han significado la contaminación de las aguas superficiales por sedimentación y eutrofización, y de éstas, más las aguas subterráneas, por plaguicidas en algunas cuencas.

4.5 Impacto de las obras hidráulicas en los recursos hídricos

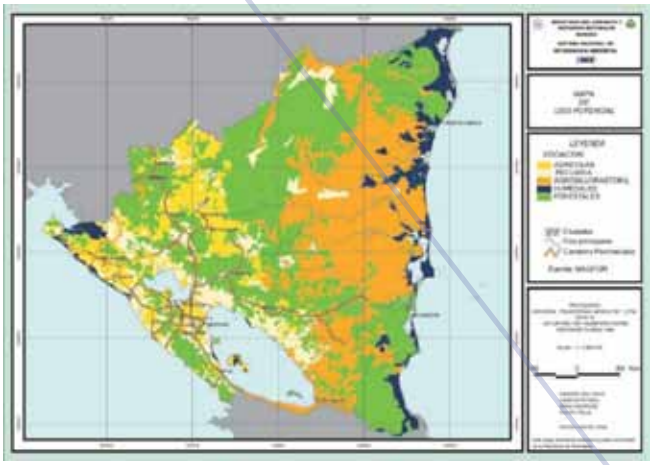
En algunos ríos se ha fomentado la construcción de embalses como una de las principales fuentes de generación hidroeléctrica y suministro de agua para las poblaciones. Generalmente, los embalses en Nicaragua son importantes para la vida y desarrollo de los asentamientos humanos que viven en su alrededor, ya que se utilizan para la producción de peces, recreación, irrigación y la generación de energía eléctrica. Sin embargo, el problema principal de la construcción de los embalses es que ésta siempre ha ido asociada a fuertes procesos de deforestación y a un posterior aumento de la erosión que ocasiona la sedimentación y luego su colmatación en el fondo de la cubeta de agua, con lo cual disminuye su potencial para la generación de energía eléctrica y otros usos al variar la cantidad y calidad de las aguas. Algunos embalses en Nicaragua han sido modificados por procesos acelerados de colmatación y eutrofización por la llegada de materiales alóctonos provenientes de la cuenca (actividades agrícolas y vertimientos industriales y domésticos).

La construcción de los embalses trae diversos beneficios, como son la producción de electricidad, aumento de producción de biomasa (pesca y acuicultura), retención de agua, recreación, turismo, aumento de potencial de irrigación y reserva de agua para abastecimiento. Entre los efectos negativos producidos por la construcción de embalses están la reubicación de poblaciones, emigración de personas hacia la zona de construcción, pérdida de especies nativas de peces, pérdida de áreas inundadas, pérdida de biodiversidad en los ríos, disminución del flujo de agua, pérdida de tierra para la agricultura, efectos en la composición química del agua, barrera para la migración de peces y degradación de la calidad del agua. Sin embargo, el problema mayor es el efecto ambiental que proviene de la alteración del caudal del río porque tiene impactos di-

Figura 4.5. Mapa forestal con frontera agrícola

Fuente: MAG-FOR, 2002

Figura 4.6. Mapa de uso potencial



Fuente: MAGFOR, 1997

MAPA SOBRESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

rectos en los suelos, la vegetación, la fauna, la pesca y, especialmente, en las poblaciones humanas de la parte baja de la cuenca.

En Nicaragua han sido construidos algunos embalses como el lago Apanás-Asturias, por medio de la represa del río Tuma, para la generación de energía hidroeléctrica que es distribuida a nivel nacional a través de la planta Centroamérica. En el caso del lago Apanás, la deforestación en su cuenca ha sido generada por el mal uso de los suelos. Esto ha provocado una alta erosión y que gran parte de las partículas del suelo sean transportadas y depositadas por escorrentías superficiales en la cubeta de agua, lo que, a su vez, provoca que la sedimentación que se acumula en el fondo del cuerpo del agua aumente. Por otro lado, el deterioro de la calidad del agua o eutrofización de las aguas del lago Apanás se ha incrementado en los últimos años por la deforestación, agricultura, desechos domésticos e industriales y carencia de servicios sanitarios.

Otro ejemplo que cabe mencionar es el embalse Las Canoas, el cual fue construido a inicios de la década de los años 80 para riego de las plantaciones de caña de azúcar del complejo Tipitapa-Malacatoya, para generación de energía eléctrica, y como fuente de alimento para las comunidades aledañas a través de la pesca. Actualmente, al igual que el lago Apanás, los niveles de agua del embalse Las Canoas han bajado por los malos inviernos. Esto pone en peligro la existencia de ambos embalses y provoca una mayor tensión entre los usuarios por la competencia del recurso, ya que del agua no sólo depende la subsistencia de miles de pequeños y medianos agricultores y ganaderos de la zona, sino también de gran parte de la siembra de arroz en la parte baja de las cuencas.

4.6 Algunos problemas específicos de contaminación del país

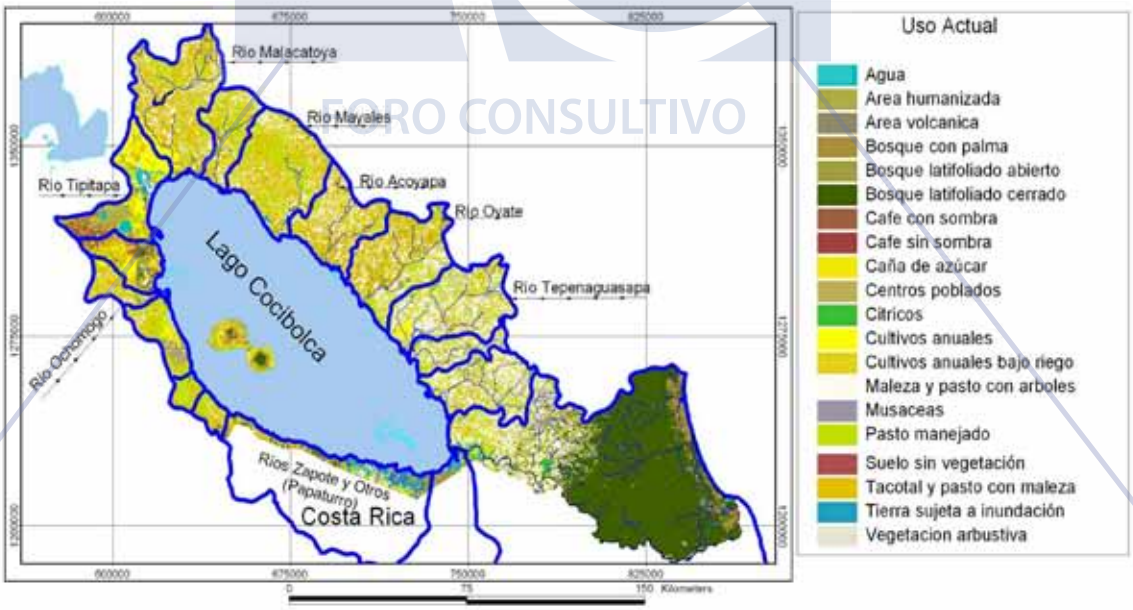
4. 6.1 Cuenca Nº 69, río San Juan

La Cuenca Nº 69 abarca el río San Juan y los grandes lagos nicaragüenses, el lago Xolotlán y el lago Cocibolca, que son parte de los recursos hídricos más importantes de Nicaragua por ser factor clave de desarrollo. Como se mencionó anteriormente, el lago Cocibolca adicionalmente ha sido declarado como reservorio nacional de agua potable. Su caudal promedio de salida (475 m^3/s) al río San Juan representa un volumen que no es actualmente aprovechado.

Lago Xolotlán

La contaminación del lago Xolotlán (conocido también como lago de Managua) ha limitado drásticamente el uso de su agua. La ciudad capital de Managua, con 24,2% de la población de Nicaragua (1 335 204 habitantes) en 2009, se ubica en la ribera sur. El lago tiene un área de 1 016 km^2 y una cuenca de 6 668 km^2 (Hydrobiological Bulletin, 1991).

Figura 4.7. Uso de suelo de la cuenca del río San Juan. Área del lago Cocibolca



Fuente: Vammen, 2006. Mapa elaborado por Yelba Flores

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Como anteriormente mencionado, desde el año 1927 recibe sin tratamiento alguno las aguas negras de Managua, mismas que incluyen aguas residuales industriales, domésticas y pluviales. Además, las regiones norte y sur de la cuenca han sufrido deforestación, por lo que hay un aporte importante de nutrientes y sólidos al lago a causa de la erosión. En la actualidad, el agua del lago no puede ser directamente utilizada para consumo humano; tampoco puede ser incluida para riego debido a las altas concentraciones de sales (sólidos totales disueltos). Además, la entrada de los desechos líquidos de la ciudad ha creado una situación sanitaria insoportable por los olores y la carga bacteriana que limita cualquier uso, incluido el contacto directo (CIRA/UNAN, 2008). Para promover su recuperación al nivel de uso clasificado como recreación sin contacto, ENACAL ha instalado una planta de tratamiento, la cual fue inaugurada en 2009. Pero el lago Xolotlán no sólo recibe las aguas residuales de la ciudad, sino también contaminantes provenientes del basurero municipal de Managua conocido como la Chureca. Éste se originó de forma espontánea y sin ninguna planificación en 1972 al comenzar el depósito de los escombros de la ciudad producidos durante el terremoto de ese año. Actualmente, el basurero tiene una extensión aproximada de 47 hectáreas y recibe alrededor de 1 200 toneladas de desechos sólidos por día sin tratamiento previo ni separación (CIRA/UNAN, 2009). En el estudio "Evaluación del Impacto de los Lixiviados del Basurero de la Ciudad de Managua, la Chureca, a las Aguas del Lago Xolotlán, al Acuífero Afectado y a la Laguna Acahualinca" se encontró evidencia de la infiltración de lixiviados al subsuelo y de este movimiento al lago. La presencia de lixiviados en el lago Xolotlán ha provocado contaminación con sustancias orgánicas recalcitrantes y sales, compuestos que complican aún más la recuperación de este cuerpo de agua. El problema es grave, ya que incluso los desechos sólidos llegan a estar directamente dentro del lago cuando el nivel sube durante los meses de alta precipitación. La Alcaldía de Managua, a través del proyecto "Desarrollo Integral del Barrio de Acahualinca (Managua)" y en coordinación con la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), actualmente está desarrollando una propuesta para aminorar los efectos de los lixiviados tanto en el lago como en las aguas subterráneas. El proyecto incluye el sellado del vertedero, la instalación de una planta de tratamiento para lixiviados y la separación ordenada de los desechos sólidos que llegan al basurero.

Lago Cocibolca

El lago Cocibolca es el cuerpo de agua superficial más grande de Centroamérica y, a la vez, el lago tropical más grande de las Américas. El lago representa un potencial hídrico muy importante para Nicaragua, ya que la calidad de su agua es muy buena y apta para consumo humano. Es importante mencionar que el caudal promedio de agua en el único sitio de salida del gran lago Cocibolca ocurre en San Carlos, donde inicia el río San Juan. El volumen calculado por INETER es de 475 m^3/s o 41 Mm^3/d.

Estudios de limnología del CIRA/UNAN han revelado una aceleración en el proceso de eutrofización en las últimas décadas. Esto ha sido notado por un aumento en la biomasa de fitoplancton; la simplificación estructural del fitoplancton y zooplancton, y la dominancia de algas verde-azules, Cyanophyta, que son indicadores de eutrofización (Procuenca San Juan, 2004a y b). La causa de estos cambios ha sido el aumento del aporte de macronutrientes por sus tributarios, cuyas cuencas se caracterizan por la deforestación y la conversión de extensas zonas para pasto de ganadería (Figura 4.7) que han provocado erosión (Vammen, 2006).

En los tributarios del lago Cocibolca de Nicaragua, los ríos Malacatoya (en sus tres tramos), Mayales, Acoyapa, Oyate, Piedra (parte media), Camastro, Tule y Sapoá presentaron concentraciones de fósforo total sobre lo recomendado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) para prevenir los procesos de eutrofización en cuerpos de agua lóticos (aguas corrientes) (CIRA/UNAN, 2007). La EPA recomienda utilizar el valor guía de 0,05 $mg.l^{-1}$ de fósforo total (PT) en todo curso que ingrese a un lago o reservorio. Todas estas corrientes superficiales que descargan sus aguas en el lago Cocibolca sirven como abrevaderos; son utilizadas para la irrigación de tierras agrícolas (río Malacatoya), y son receptoras de vertidos municipales (río Mayales), residuos de procesamiento lácteo, curtiembre, entre otros. Las aguas del lago Cocibolca son extraídas para inundar extensas áreas para el cultivo de arroz, y el mismo ecosistema es el receptor de las aguas de retorno.

A través de mediciones realizadas por el CIRA/UNAN entre 2002 y 2003 para calcular la carga superficial de nutrientes del lago Cocibolca, se identificaron los tributarios Oyate y Tepenaguasapa, localizados en la vertiente este del lago, como los mayores contribuyentes de fósforo, con 41 y 123 toneladas anuales, y nitrógeno, con 123 y 345 toneladas anuales, respectivamente, lo que equivale al 92% del total transportado por los ríos hacia el ecosistema. Los resultados mostraron que los mayores aportes ocurren con las descargas de los primeros eventos lluviosos cuando el suelo se encuentra desprovisto de vegetación en áreas dedicadas a la actividad ganadera y agrícola (Flores, S., 2005).

PARA USO DE ESTUDIOS FORO CONSULTIVO

La importancia de tomar medidas en la cuenca del lago para prevenir la continuación de la degradación de sus aguas ha sido reconocida en la Ley General de Aguas Nacionales que nombra el lago como "reserva nacional de agua potable": "el lago deberá considerarse como reserva natural de agua potable, siendo del más elevado interés y prioridad nacional para la seguridad nacional, debiéndose establecer mecanismos y regulaciones específicas que aseguren y regulen la productividad del agua y al mismo tiempo que aseguren el mantenimiento e incremento de los caudales que permita el desarrollo de las actividades económicas, sin menoscabo de la producción de agua, tanto en cantidad como en calidad, prohibiendo la introducción y cultivo de especies exóticas invasoras, igual que evitando la contaminación del recurso y el deterioro de su ecosistema por vertidos industriales y domésticos" (Ley General de Aguas Nacionales, Ley 620, La Gaceta, 2007b). También la Asamblea Nacional decretó el establecimiento de la "Comisión de Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago Cocibolca y el Río San Juan", con el objetivo de elaborar un Plan de Gestión Integral para la Cuenca Nº 69.

4.6.2 Cuenca Nº 64

La Cuenca Nº 64 se ubica en el noroeste de Nicaragua, entre el volcán Cosigüina y el río Tamarindo (Figura 2.1). En ella se encuentran los acuíferos más productivos del país (27,5 x 10^9 m^3, ONU, 1974). El acuífero tiene un área de 1 300 km^2 y sustenta una población de casi 700 000 habitantes (16% de la población total de Nicaragua). Los suelos agrícolas de la cuenca son de los más extensos y fértiles del país. Las actividades de producción están dominadas por cultivos de agroexportación bajo el sistema de monocultivo y mecanización intensiva. El riego se hace principalmente con agua del acuífero, del cual el 74,4% del volumen total que se extrae es destinado a esta actividad (MARENA, 2008a y b). Actualmente, los cultivos bajo riego y principales de agroexportación son caña (65%), maní (29%) y bananos (6%). En estos cultivos se aplica una gran cantidad de agroquímicos. Entre 1950 y 1980, los plaguicidas empleados en su gran mayoría fueron organoclorados de alta persistencia. Como el acuífero de León-Chinandega es somero y no confinado, su vulnerabilidad a la contaminación por plaguicidas es muy alta. Tan sólo de 1973 a 1981 se aplicaron 70 270 toneladas de plaguicidas, 80% de ellas en cultivo de algodón (Briemberg, 1994). Diversos estudios han revelado la presencia de dieldrin, pp-DDT, pp-DDE, pp-DDD, y toxafeno por arriba de la norma de potabilidad en profundidades hasta de 12 metros por debajo del nivel freático en tres sitios de pozos de muestreo ubicados en diferentes campos que históricamente fueron usados para el cultivo de algodón (Delgado, 2003). Estos compuestos también se encontraron en los suelos (Briemberg, 1994; CIRA/UNAN, 1999a; Centro Humboldt, 2001).

Por otra parte, el acuífero de León-Chinandega posee un sistema más profundo que se recarga en la cordillera mientras que el sistema somero lo hace a partir de la planicie central (ONU, 1974). Este acuífero profundo es muy vulnerable a cualquier cambio climático y a las condiciones de caudal de los ríos locales. La presencia de agroquímicos en la zona somera del acuífero representa un riesgo para el acuífero profundo por el aumento del bombeo de agua o por condiciones de sequía que reducen el caudal de los ríos, lo que promueve un intercambio de agua entre ambos (Delgado, 2003; CIRA/UNAN, 1999b; Calderón, 2003). La evaluación de la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación indica que ésta aumenta significativamente durante los años lluviosos (MARENA, 2008a) y sobre todo durante eventos extremos, como fue el caso del huracán Mitch, debido a las inundaciones que arrastran toda clase de contaminantes del suelo a los pozos. También resultó que el acuífero tiene una alta permeabilidad, lo que lo hace muy dinámico. En un análisis de la calidad toxicológica del suelo y el agua de pozos excavados en la zona de Posoltega después del huracán Mitch se encontró la presencia de plaguicidas organoclorados en concentraciones por arriba de la norma de la EPA en ocho pozos y organofosforados en 11 pozos (CIRA/UNAN, 1999a).

4.6.3 Contaminación en la vertiente del Caribe

El rápido avance de la frontera agrícola hacia la costa Caribe (Figura 4.5); la deforestación acelerada que ocasiona la erosión de los suelos, y el uso intensivo de plaguicidas en la agricultura han generado una creciente preocupación por la contaminación de ecosistemas y el escurrimiento de tóxicos a ríos, lagunas costeras y bancos de pesca situados en las aguas del Mar Caribe. Debido a que el 93% de las aguas superficiales se vierten en la costa caribeña de Nicaragua, actualmente un proyecto de "Monitoreo del Escurrimiento de Plaguicidas al Caribe Nicaragüense" está siendo ejecutado por el CIRA/UNAN bajo la coordinación de MARENA y en el marco del proyecto regional "Colombia, Costa Rica y Nicaragua: Reduciendo el Escurrimiento de Plaguicidas al Mar Caribe" (Proyecto RepCar, 2009). Con ello, concretamente se dispondrá de información sobre el escurrimiento e impacto de plaguicidas en la costa caribeña a la salida de tres cuencas: a) Cuenca Nº 45 del río Coco (cuenca binacional con Honduras donde se encuentra el sistema hidrográfico del río Coco o Wangki, el más largo del país); b) Cuenca Nº 61 del río Escondido (en conexión a la laguna costera, bahía de Bluefields, donde recibe residuos de plaguicidas aplicados a cultivos asentados

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

en la parte norte de la cuenca, y c) Cuenca Nº 63 entre río Escondido y Punta Gorda (donde se encuentra asentada gran parte de la población de la Región Autónoma Atlántica Sur-RAAS).

5. Agua y saneamiento

5.1 Demanda de agua para consumo humano

Nicaragua ha experimentado un crecimiento demográfico significativo en los últimos 50 años; su población ha incrementado de 1 049 611 habitantes en 1950 a 5 142 098 habitantes al año 2005 (INEC, 2005). De acuerdo con proyecciones de crecimiento poblacional, la demografía del país presenta el mismo comportamiento al año 2010, lo que implica un incremento en la demanda de agua para consumo.

Tomando en consideración los datos poblacionales y la tasa de crecimiento poblacional publicada en el censo poblacional más reciente (INEC, 2005), se estimó la población actual en 5 600 591 habitantes que demandan 379,94 Mm^3 de agua al año. De acuerdo con el Informe del Estado del Ambiente de 2001, ENACAL estimaba que la demanda de 2010 sería de 340 Mm^3. Para la estimación de la demanda de agua se consideró la dotación recomendada por la norma NTON 09003-99 del Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA) y se asumió un porcentaje de pérdidas de 25%. El Cuadro 3.14 muestra las estimaciones poblaciones y demanda de agua por departamento al año 2010.

Oficialmente no se cuenta con datos exactos sobre la demanda de agua, ya que la demanda de agua existente no es cubierta en su totalidad por la empresa distribuidora de acueductos y alcantarillados (ENACAL). De acuerdo con las últimas cifras publicadas, la cobertura de agua potable es de 85% en zonas urbanas, por lo que existe una gran brecha entre la demanda de agua y el servicio de abastecimiento. Sin embargo, en los últimos años la empresa distribuidora de agua ha realizado algunos esfuerzos para incrementar la oferta de agua. En la Figura 5.1 se puede observar un incremento de 9,23% en la producción de agua potable de ENACAL en el período de 2004 a 2008.

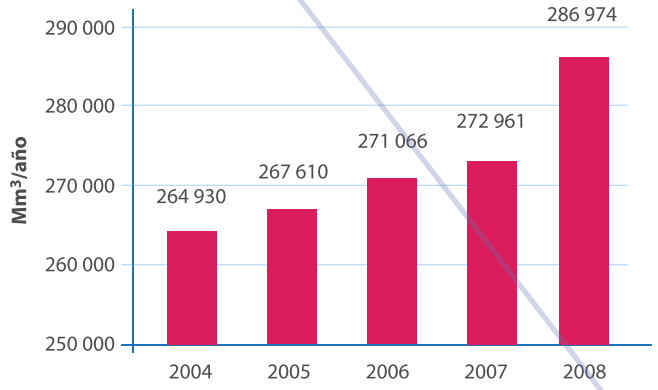
Conforme a datos de ENACAL (2007), 71,7% de la población nicaragüense tiene infraestructura de agua potable, ya sea por conexión domiciliar desde el sistema o comunal. El área urbana nicaragüense es abastecida a través de 155 puestos de distribución que cubren alrededor de 180 comunidades. Según el Programa Conjunto del Milenio (OMS/UNICEF) de Seguimiento del Abastecimiento de Agua y del Saneamiento (PCM), Nicaragua tiene una cobertura de 98% de uso de fuentes mejoradas de agua en zonas urbanas, mientras que la rural alcanza apenas 68% en 2008. El agua entubada que es el sistema más adecuado para mejorar la salud de la población, alcanzó 88% en 2008 en la zona urbana, y solamente 27% en la zona rural (PCM, 2010).

5.2 Redes de abastecimiento en áreas urbanas

De acuerdo con cifras presentadas por ENACAL en el borrador del IV Informe del Estado del Ambiente (SINIA-MARENA, 2009), 85% de la población urbana tiene acceso al servicio de agua potable a través de sistemas de redes de abastecimiento, lo que significa que en las áreas urbanas aún existe un porcentaje considerable de la población que no tiene acceso a agua potable, bien sea porque estas personas no están registradas o porque se abastecen por otros medios.

Por otra parte, las aguas subterráneas son la principal fuente de abastecimiento de agua potable del país debido a que la mayor parte de la población y los principales cascos urbanos y ciudades se ubican en la región del Pacífico, cuyas características hidrográficas presentan poca disponibilidad de agua superficial y grandes reservorios de aguas subterráneas. Esta situación obliga a explotar las aguas subterráneas como principal fuente de abastecimiento, lo que incrementa los costos de distribución por el requerimiento energético para la captación e impulsión del agua a través del sistema de redes y, por tanto, limita el desarrollo del sector por los altos costos de inversión.

Figura 5.1. Producción de agua potable ENACAL período 2004-2008



Fuente: SINIA-MARENA, 2009.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

El abastecimiento de agua potable en el país es brindado en las áreas urbanas por ENACAL, las empresas descentralizadas de AMAT (Empresa Aguadora de Matagalpa) y EMAJIN (Empresa de Acueductos y Alcantarillados de Jinotega), algunas municipalidades y urbanizadoras privadas. ENACAL administra el 76% de los sistemas de agua potable del país. El Cuadro 5.1 resume el número de sistemas de abastecimiento de agua potable que alcanzan los 222, de los cuales 154 provienen de agua subterránea.

La mayor parte de los sistemas de redes de distribución de agua potable del país se encuentran en mal estado, lo que afecta la calidad del servicio en cuanto a continuidad del abastecimiento. ENACAL, la empresa distribuidora de agua del país, reporta que los principales problemas se deben a diferentes factores: mantenimiento limitado o ausente en el sistema de redes y equipos de bombeo, altos niveles de fugas de agua causados por la obsolescencia de las redes de distribución, interrupciones frecuentes y por largas horas del suministro de energía eléctrica, crecimiento desordenado de las redes y, no menos importante, la brecha existente entre la producción de agua y la demanda creciente de la población. De acuerdo con la Presidencia Ejecutiva de ENACAL, más de la mitad de los usuarios reciben el agua parcialmente (pocas horas al día), y cerca de la mitad de la población del país no cuenta con el servicio de la empresa. Solamente se logra facturar el 46% de los 286,97 Mm^3 anuales de agua suministrados por ENACAL, lo que limita el desarrollo del sector por falta de disponibilidad de recursos para la inversión (ENACAL, 2008a). En las horas de mayor demanda comprendidas entre las 7:00 am y las 5:00 pm es cuando se ve más afectada la calidad del servicio debido, principalmente, a problemas de presión en el bombeo y al déficit existente entre la oferta y la demanda.

Los problemas de continuidad en el servicio se agudizan en los meses secos; los meses más problemáticos son febrero, marzo, abril y mayo, al grado que se debe incurrir en planes de racionamiento en la distribución de agua, tanto en la capital como en el resto de los departamentos de las regiones del Pacífico y Central (FAO-CEPAL, 2009).

En el período de 2002 a 2007, ENACAL ha invertido US$167 669,30 en obras de agua potable y saneamiento. De acuerdo con el Plan de Desarrollo Institucional 2008-2012, ENACAL plantea incrementar la cobertura de agua potable de 77% a 88%; elevar el tiempo de continuidad del servicio de 15 horas a 22 horas por día, e incrementar la producción de agua de 271,06 Mm^3/año (8,59 m^3/s) a 296,57 Mm^3/año (9,40 m^3/s) (ENACAL, 2008a).

5.3 Tratamiento de agua para consumo en áreas urbanas

Como se ha mencionado anteriormente, la principal fuente de abastecimiento de agua potable es el agua subterránea, la cual representa el 70% del total; el 30% restante proviene de agua superficial o subsuperficial (FAO-CEPAL, 2009). Esto se debe a que más del 86% de la población se ubica en la vertiente del Pacífico (20% del territorio) donde hay sólo 6% del agua superficial (Montenegro, 2009). Estas características demográficas e hidrográficas han orientado a los diferentes gobiernos a dirigir las estrategias de explotación de los recursos hídricos a la extracción de agua subterránea, tanto porque presentan costos más viables en obras de captación y desinfección como por la excelente calidad de las aguas subterráneas. Esta situación ha implicado un desarrollo desigual en los aspectos tecnológicos. Las capacidades y experiencia en la explotación de aguas subterráneas, como perforación de pozos y técnicas de desinfección, se encuentran más desarrolladas en comparación con tecnologías para la captación de aguas superficiales y potabilización de agua.

En Nicaragua existen 17 plantas potabilizadoras instaladas: cuatro de filtración lenta, 12 de filtración rápida y una planta desalinizadora. La mayoría de las plantas potabilizado-

Cuadro 5.1. Número de sistemas por tipo de fuente de abastecimiento

Empresas distribuidoras	Número de sistemas	Número de sistemas por tipos de efluentes		
		Aguas subterráneas	Aguas superficiales	Combinación de ambas
ENACAL	169	138	23	8
AMAT/AMAJIN	19	11	8	-
Municipalidades	33	4	29	-
Privadas	1	1	-	-
Totales	**222**	**154**	**60**	**8**

Fuente: ENACAL, 2008a

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

ras del país son de tecnologías de bajos costos y operan aprovechando la energía hidráulica del sistema. Existen solamente tres plantas de tratamiento de tecnología avanzada que demanda una cantidad considerable de energía para operar y altos costos de mantenimiento; entre ellas destaca la planta de ósmosis inversa (desalinizadora) que, lamentablemente, por los altos costos de operación y mantenimiento en la actualidad se encuentra deshabilitada (ENACAL, 2008a).

La mayoría de las plantas potabilizadoras del país se ubican en la región norte y central; las principales y más grandes se localizan en las ciudades de Ocotal, Juigalpa, Boaco y Camoapa. En la región del Atlántico, la planta desalinizadora capta agua de la bahía de Bluefields para abastecer a la ciudad del mismo nombre, lo que implica costos operativos y de mantenimiento altos (ENACAL, 2008a).

El agua, antes de ser distribuida a través de las redes de distribución, recibe tratamiento de desinfección para lo cual emplean el método de cloración. Alrededor de la problemática de potabilización y desinfección del agua para consumo, diversas organizaciones no gubernamentales, universidades nacionales y organismos de coope ración han realizado esfuerzos a manera de proyectos de desarrollo comunitario mediante la aplicación de diversas técnicas de tratamiento de agua como técnicas de filtración, exposición a la radiación solar, aireación, entre otras. Los Comités de Agua Potable y Saneamiento (CAPS-http://capsnicaragua.blogspot.com) son organizaciones comunitarias rurales que realizan gestiones organizativas y operativas para llevar agua y saneamiento a los hogares. Los CAPS administran el agua para 1 200 000 nicaragüenses.

5.4 Cobertura y situación actual del alcantarillado sanitario

Los diferentes gobiernos del país han realizado diversos esfuerzos en el tema del saneamiento; sin embargo, las condiciones higiénicas siguen siendo malas. Según el Censo de 2005, en Nicaragua sólo 25% de la población tiene acceso a un sistema de alcantarillado. Si se toma una definición más amplia del servicio de saneamiento y se incluye excusado o letrina, las cifras aumentan a 59%, las cuales resultan bajas si se considera que la población del país es de más de 5 millones de habitantes (FAO-CEPAL, 2009).

Al igual que para el agua potable, la brecha existente entre la zona urbana y la zona rural en el sector saneamiento es significativa: 43% de la población urbana dispone de inodoro, en tanto que en el área rural sólo 2,1% lo posee. Pese a ser mayoritario el uso de letrina entre la población rural, todavía 30% de la misma no tiene acceso a ningún tipo de servicio (INEC, 2005), lo que implica que aún existe un alto porcentaje de personas que practican fecalismo al aire libre, situación que amenaza la salud de los población. En 2008, Nicaragua reportaba 21% de defecación al aire libre en las zonas rurales, 4% en zonas urbanas y 11% del total de la población (PCM, 2010).

La cobertura de alcantarillado sanitario es menor del 42% y son las áreas marginales de los cascos urbanos y las zonas rurales del país las que no poseen este servicio (ENACAL, 2008a). Esto trae como consecuencia una disposición inadecuada de las aguas grises, las cuales fluyen por escorrentía a través de patios, calles, cauces o barrancas; una buena parte se infiltra en el suelo y el resto drena en algún cuerpo de agua superficial.

De acuerdo con el Plan de Desarrollo Institucional de ENACAL 2008-2012, existen 36 ciudades con sistemas de alcantarillado, lo que representa 20% de las cabeceras departamentales y municipales del país que se ubican en las regiones del Pacífico y Central. Sin embargo, la problemática aún es más alarmante si se considera que la mayor parte de los sistemas de alcantarillado han cumplido su vida útil, lo que hace necesario que se lleven a cabo ampliaciones, rehabilitaciones y, en algunos casos, clausura y reemplazo de los mismos.

Los sistemas de alcantarillado son de tubería de cemento con pozos de visita construidos de ladrillos. Poseen colectores principales y secundarios; el sistema es de tipo separado, es decir, manejan las aguas sanitarias y pluviales en redes diferentes. Debido a la edad del sistema de drenaje y al deficiente mantenimiento, éstos se encuentran en mal estado, con diversos ramales atascados e incomunicados debido a la acumulación de grasas, cuerpos sólidos y sedimentos aportados por los caudales pluviales (FAO-CEPAL, 2009).

Los sistemas de alcantarillado pluvial presentan una cobertura menor que la del alcantarillado sanitario, lo que trae como consecuencia conexiones ilegales de descarga de agua pluvial al sistema de alcantarillado sanitario que limita el buen funcionamiento del mismo. Durante eventos de lluvia de gran magnitud, muchas veces el caudal que circula por la tubería rebasa la capacidad de diseño de la misma, y situaciones como éstas han provocado en frecuentes ocasiones el colapso del sistema de alcantarillado sanitario (FAO-CEPAL, 2009).

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

5.5 Volumen de aguas residuales producidas

No se dispone de cifras oficiales sobre el volumen de agua residual producida, por lo que se estimó el volumen de aguas residuales domésticas producidas al año 2010 considerando que la producción de aguas residuales representa aproximadamente 80% del consumo de agua potable. Los resultados se muestran en la Figura 5.2.

5.6 Cobertura y porcentaje de aguas residuales tratadas

En Nicaragua existen 36 ciudades que cuentan con sistemas de alcantarillado sanitario, de los cuales sólo 27 poseen plantas de tratamiento de aguas residuales para una cobertura del 38% de las aguas residuales colectadas (SINIA-MARENA, 2009). Es importante destacar que en Nicaragua 215 ciudades están consideradas como áreas urbanas (Arguello, 2008), de las cuales solamente 27 brindan tratamiento a sus aguas residuales, lo que resulta en una cobertura total de tratamiento de las aguas servidas urbanas de 12,5%. Los sistemas de alcantarillado sanitario que no cuentan con una planta de tratamiento descargan los efluentes en cuerpos de aguas superficiales (ríos y lagos), lo que contamina indiscriminadamente los recursos hídricos (FAO-CEPAL, 2009).

En las zonas rurales, la situación es aún más deprimida porque existen sistemas de tratamiento de aguas residuales. Esto se debe a que la política de desarrollo del sector en las áreas rurales está dirigida al abastecimiento de agua para consumo humano, dotación de letrinas y educación en salud y dejan de lado el manejo del agua residual, de manera que las aguas residuales o aguas grises fluyen por escorrentía a través de calles, avenidas y cauces (FAO-CEPAL, 2009).

En el año 2008, el volumen de agua residual doméstica tratada en el país por los diferentes sistemas de tratamiento se estimó en 44,6 Mm^3/año (1.41 m^3/s). A inicios del año 2009 entró en operación la planta de tratamiento de aguas residuales más grande de Centroamérica que se ubica en Managua. Ésta trata 66,6 Mm^3/año (2.11 m^3/s), con lo que se incrementa el volumen total de agua residual tratada del país (ENACAL, 2008). Según las últimas cifras presentadas por ENACAL para el IV Informe del Estado del Ambiente, el índice de tratamiento de agua residual incrementa de 17% en el año 2006 a 31,40% al año 2008.

Las aguas residuales que fluyen por los alcantarillados sanitarios están compuestas por aguas grises, aguas negras, y en época de lluvia, aguas pluviales de algunas viviendas conectadas de forma ilegal. Esta situación trae como consecuencias que la composición de las aguas residuales domésticas presente una alta carga orgánica, alta concentración de nutrientes como nitrógeno y fósforo, y abundante presencia de patógenos, sedimentos y detritos.

5.7 Sistemas de tratamiento de aguas residuales

Tradicionalmente en Nicaragua se han considerado como alternativa de tratamiento de aguas residuales domésticas las lagunas de estabilización. De las 27 plantas depuradoras existentes en el país, se emplean lagunas de estabilización en 13 de ellas como método de tratamiento. Además, existe un sistema, la planta de Managua, integrado por un reactor anaerobio seguido de lagunas facultativas y de laguna de maduración, seis tanques Imhoff con filtros anaerobios de flujo ascendente, cinco fosas sépticas con filtro anaerobio de flujo ascendente, un sistema de fosa séptica con zanja de infiltración y un compuesto por sedimentación primaria, filtro biológico por goteo y sedimentación secundaria (FAO-CEPAL, 2009).

Los sistemas que se encuentran bien operados tienen una buena eficiencia de remoción de carga orgánica y sólidos en suspensión, pero son ineficaces para remover nutrientes y patógenos; sin embargo, la mayoría de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas del país se encuentran en un estado avanzado de deterioro por la falta de mantenimiento y una mala operación, así como por limitaciones de diseño que van desde un inadecuado dimensionamiento hasta la ausencia de obras preliminares para el tratamiento previo de los efluentes, lo que ocasiona problemas ambientales graves para los cuerpos de agua que reciben las descargas de aguas tratadas. Un ejemplo es el caso del lago de Masaya que, por la entrada directa del efluente de la laguna de oxidación del Municipio de Masaya, se encuentra en un grado alto de eutrofización (FAO-CEPAL, 2009).

5.8 Tecnologías aplicadas para tratar aguas residuales

En la actualidad todas las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas existentes operan a través de proceso físicos y biológicos, aerobios, anaerobios o combinados con sistemas hidráulicos. Los sistemas de tratamiento ubicados en urbanizaciones de clase media a alta, y que han emergido en las últimas décadas, emplean tecnología convencional. Dentro de este tipo de sistemas, el más común es el de las plantas compactas de los lodos activados, las cuales demandan energía eléctrica para su operación.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

La tecnología de tratamiento en las industrias se ha encaminado a opciones convencionales: los lodos activados, filtros biológicos, plantas de tratamiento compactas, entre otras. En estos casos, la tecnología depende mucho de la composición o características del efluente, lo cual es un factor determinante para establecer el tipo de tratamiento y tecnología que deberá aplicarse.

5.9 Reúso de agua

En Nicaragua, reutilizar el agua tratada no es una práctica común; es posible que esto se deba a que los sistemas de tratamiento del país han resultado ser poco eficientes para la remoción de patógenos, lo que no facilita el empleo de las aguas tratadas en diversas actividades, tales como riego, aplicación en terreno, limpieza, acuicultura, entre otros. En el período 2000-2002, solamente los efluentes de seis sistemas de tratamiento fueron reutilizados en actividades agrícolas, específicamente en plantaciones forestales y cultivos de tallo alto (CEPIS-OPS, 2002). A la fecha se desconoce el porcentaje de reutilización del agua tratada, pero predomina la disposición final de los efluentes tratados en cuerpos de agua superficiales como lagos y ríos, y un pequeño porcentaje emplea pozos de infiltración, práctica empleada en algunos sistemas de tratamiento de planta compacta localizados en urbanizaciones.

5.10 Situación actual de las redes de distribución y alcantarillado

Bajo la consideración de que los **sistemas de abastecimiento de agua** son diseñados para un período de 25 años, la mayoría de las redes de distribución de agua potable en el área urbana se encuentran obsoletas. El hecho de que su tiempo de vida útil para las que fueron diseñadas ya haya transcurrido, más el deficiente mantenimiento que han recibido las tuberías de las redes y los equipos de bombeos, ha resultado en graves problemas de pérdida de agua durante la distribución, principalmente debido a tuberías oxidadas o rotas. Otro agravante del problema son las conexiones que por cuenta propia realizan los asentamientos humanos espontáneos, pues al emplear tuberías sin las previsiones técnicas adecuadas se agudizan la frecuencia y las dimensiones de la pérdida de agua por fuga en las redes. Para mejorar la situación de las redes de distribución, se requiere una considerable inversión para la rehabilitación y ampliación de los sistemas de acueductos de agua potable existentes.

En cuanto a las **redes de alcantarillado sanitario**, la situación es más precaria aún; como se ha mencionado, solamente 36 de las 215 ciudades consideradas como áreas urbanas poseen sistemas de alcantarillado sanitario, cuya cobertura es de menos del 50%. Pero la problemática en este sector se agudiza al considerar el estado de obsolescencia en que se encuentra la mayor parte de las redes de alcantarillado existente, sumado al uso inadecuado que hacen de las mismas los pobladores al drenar a través de ellas las aguas pluviales domiciliares y, en algunos casos, desechos sólidos, situación que tiene al punto del colapso a los sistemas de alcantarillado sanitario. Esto se evidencia con los constantes problemas de atascamiento y derrames de aguas servidas que se presentan en diversos pozos de visitas localizados en calles y avenidas, y que contaminan el ambiente con olores desagradables y escorrentía de aguas grises (ENACAL, 2008).

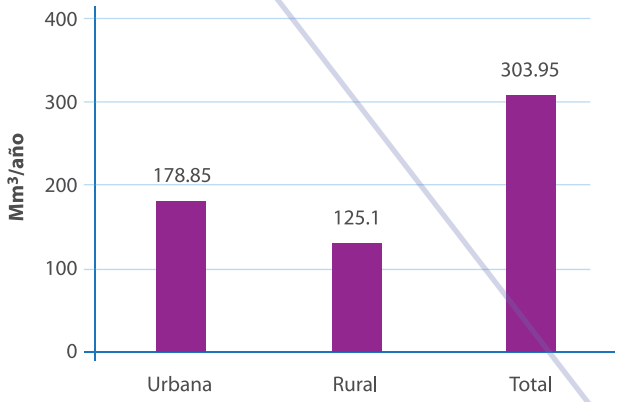
Esta situación dramática demanda una buena inversión en el sector destinada a la rehabilitación, ampliación y mantenimiento adecuado de los sistemas de redes de alcantarillado sanitario, acompañada de campañas de concientización y educación ambiental que permitan mejorar el servicio, la cobertura y el funcionamiento de las redes.

5.11 Situación de agua potable y saneamiento en áreas rurales

En las áreas rurales, el servicio de abastecimiento de agua potable lo brinda ENACAL, municipalidades y los CAPS. El INAA, ente regulador del sector, reportó para el año 2006 una cobertura en agua potable rural del 56% (ENACAL, 2008).

Al año 2008 se estimaron 5 276 sistemas de acueductos rurales que abastecen igual número de pequeñas comunidades rurales (ENACAL, 2008). La distribución de estos

Figura 5.2. Estimaciones de la producción actual de agua residual doméstica del país

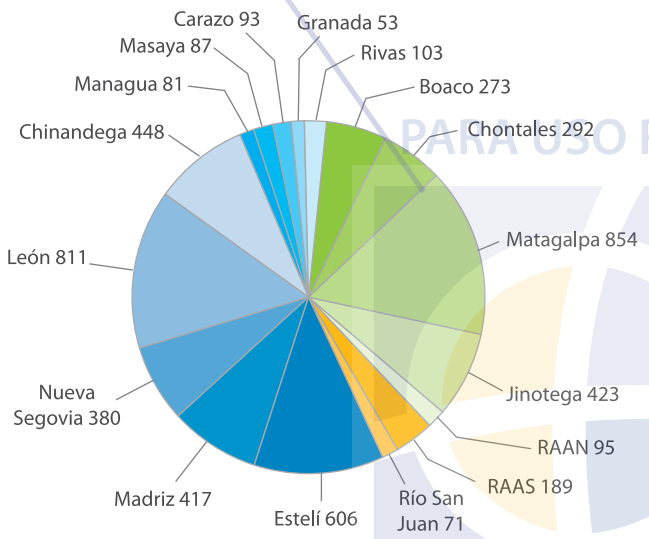


Fuente: Elaboración propia (CIRA/UNAN) con datos de proyección poblacional (INEC, 2005) y la NTON para abastecimiento de agua potable (INAA, 1999)

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

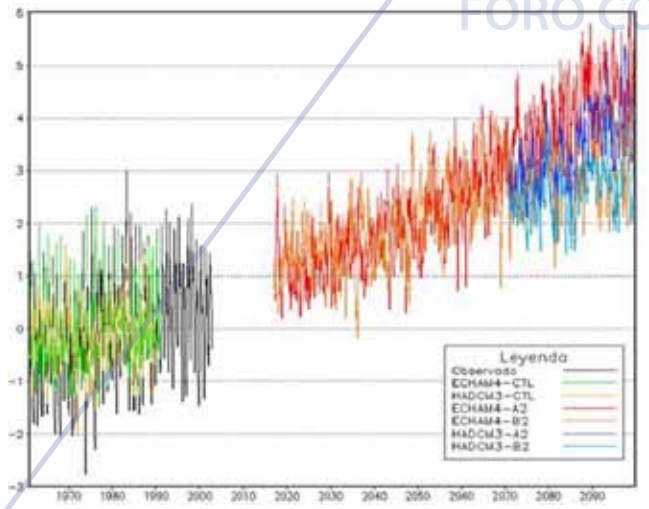
sistemas de abastecimiento de agua potable por departamento se muestra en la Figura 5.3. Matagalpa, León, Estelí y Jinotega son los departamentos que poseen más obras de acueductos rurales; en contraposición, las regiones del Atlántico norte son las que presentan menor cantidad de obras, lo que posiciona esta zona como la más deprimida del sector agua potable.

Figura 5.3. Distribución de acueductos rurales por departamento



Fuente: Elaboración propia (CIRA/UNAN) con datos publicados por ENACAL, 2008

Figura 6.1. Proyecciones de temperatura media mensual del aire en superficie de Nicaragua (proyecciones para Nicaragua con la aplicación del Sistema de Modelación Regional PRECIS (Providing Regional Climates for Impact Studies)



Fuente: MARENA, 2009

En las áreas rurales de la región del Pacífico de Nicaragua se estima que la mitad de la población no tiene acceso al agua potable en sus domicilios, situación que los obliga a abastecerse a través de pozos comunales, pozos individuales, agua de lluvia o agua superficial de ríos, lagunas o embalses superficiales destinados para aguar el ganado. Desde el punto de vista sanitario, esto representa un alto riesgo para la salud. Pero en la región atlántica la situación es más grave debido a que 80% de la población no tiene acceso directo a agua potable.

Las comunidades dispersas son las que presentan mayores problemas de abastecimiento, ya que en ocasiones los pobladores deben caminar varios kilómetros para encontrar una fuente de agua. El sistema de abastecimiento está condicionado por el tiempo de existencia de la red, el rendimiento de los pozos y la construcción de los mismos. Otro factor que dificulta el acceso al recurso son las conexiones ilegales y nuevas conexiones al mismo sistema de red para el abastecimiento de condominios y urbanizaciones de clase media a alta, que no cuentan con pozos propios, lo que ocasiona pérdidas de presión en las redes de abastecimiento.

El abastecimiento en el área rural está cubierto por pequeños sistemas, entre los más utilizados se encuentran los sistemas de pozo excavado a mano (PEM), pozo perforado (PP), miniacueductos por bombeo eléctrico (MABE), miniacueductos por gravedad (MAG), captaciones de manantial (CM), entre otros. Hasta finales del año 2002 se habían registrado 4 886 obras de todos los sistemas mencionados (ENACAL, 2005).

El abastecimiento en los acueductos rurales no es continuo, la cantidad es racionalizada y la calidad del agua no es la más idónea en la mayoría de los casos. No existe un sistema de monitoreo para la calidad de agua en los sistemas rurales. En general, la mayor parte de los sistemas rurales de agua potable han sido construidos con cooperación externa y no se tomaron previsiones suficientes para asegurar la sostenibilidad de las obras. Asimismo, carecen de mantenimiento y seguimiento en la administración de la obra, lo que ocasiona que muchos de los sistemas se encuentren fuera de operación y que las comunidades queden desabastecidas.

Según datos del censo poblacional más reciente (INEC, 2005), 84,8% de la población dispone de algún tipo de servicio higiénico con predominio del uso de letrinas; 15,4% no cuenta con ningún tipo de servicio; 43% del área urbana posee inodoros, y el área rural escasamente alcanza un 2,1%.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

La cobertura del alcantarillado sanitario es de menos del 50% y las aguas grises se disponen directamente al terreno en patios, calles, cauces o quebradas para eventualmente drenar a los cuerpos de agua superficial o se infiltran en el suelo.

En Nicaragua, sólo 56% de los municipios tiene un sistema regular de recolección de basura, con una cobertura de recolección promedio nacional del 49%. La mayoría de los municipios disponen de vertederos al aire libre, y sólo el 13% cumple con los requisitos técnicos y sanitarios de funcionamiento (MARENA, 2005b).

En el área rural no existe ningún sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas. Se han establecido algunas experiencias aisladas donde se han empleado tecnologías aplicadas a áreas urbanas. Son sistemas de tratamiento individuales que tratan aguas grises; se emplean los principios de biofiltros o lechos filtrantes a manera de biojardineras. Otra práctica es el empleo de fosas sépticas, sin impermeabilización de suelos, que se convierten en potenciales fuentes de contaminación.

Para el tratamiento de las excretas se han desarrollado experiencias en el uso de letrinas aboneras, con poca aceptación por razones culturales. La cobertura del servicio de recolección de basura es casi inexistente en las áreas rurales. La población emplea como prácticas comunes de eliminación de basura la quema, el entierro y botaderos ilegales, para lo cual utiliza cauces, riachuelos, riberas de ríos, costas de lagos y el océano. Durante la época intensa de lluvia, los cauces y ríos arrastran los desechos sólidos a cuerpos de aguas superficiales como lagos, lagunas y el océano mismo, lo que ocasiona un gran impacto ambiental en los ecosistemas acuáticos.

USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

6. Cambio climático

Diferentes estudios (MARENA, 2005a, 2007, 2008a, b, c, 2009; González, 2006; MARENA, PNUD, 2000; CATHALAC, PNUD, GEF, 2008; CEPAL, GTZ, 2009; CEPAL, 1999) señalan tres efectos principales por el cambio climático en Nicaragua:

a. El aumento de la temperatura atmosférica y el cambio en el régimen y la cantidad de precipitación pluvial que causan períodos de sequías en zonas específicas del país por disminución del nivel freático y de la escorrentía del sistema hídrico superficial.
a. El aumento de las amenazas naturales a causa de huracanes, precipitaciones intensas, inundaciones, frecuencia y duración de sequías, incendios y olas de calor con afectaciones también en los recursos hídricos tanto en cantidad como en calidad.
a. La elevación del nivel del mar, especialmente en la costa Atlántica donde se espera que surjan zonas más propensas a inundaciones y se incremente la erosión de las áreas costeras y la intrusión salina.

También todos estos estudios enfatizan que a los impactos negativos debidos al cambio climático hay que aunar los derivados de la degradación ambiental provocada por el hombre en cuencas hidrográficas por el inadecuado aprovechamiento del recurso, la distribución de la demanda de agua en relación con la del recurso y las actividades económicas, factores todos ellos que han impactado, como se ha descrito en este documento, el sistema hídrico en cantidad y calidad.

6.1 Modificación de la temperatura y de los regímenes de precipitación

Según las proyecciones de temperatura, debido al cambio climático (CATHALAC, PNUD, GEF, 2008) se espera un incremento de 1°C a 2°C en las primeras décadas de este siglo (2020-50), con aumentos de hasta 3°C y 4°C para finales del mismo. Se espera que el calentamiento sea menor en la costa del Caribe que en la del Pacifico, específicamente entre Guatemala y la región de la Mosquitia, ubicada entre Honduras y Nicaragua. En cuanto a la precipitación pluvial, se proyecta un decremento en la mayor parte de Centroamérica, con niveles superiores en Nicaragua, del orden del -40% (MARENA, 2009).

En la "Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático" y la aplicación del Sistema de Modelación Regional PRECIS, se obtuvieron resultados de mayor detalle para el país. Estas proyecciones muestran un clima más cálido (Figura 6.1) en donde el rango de variación de temperatura entre el mínimo y el máximo se estrecha en la zona del Pacífico.

Los incrementos en la temperatura media anual podrían producir impactos importantes en los diferentes sectores productivos y actividades humanas debido a que influyen, en gran medida, en la capacidad productiva de muchos cultivos, determinan el confort humano, la salud de la población, y podrían, en alguna medida, limitar la adaptación de la biota del territorio nacional.

En cuanto a la precipitación, se observa una disminución en la región Atlántica, en tanto que hay un posible aumento de la misma en la zona sur de Nicaragua, en el área compartida con Costa Rica y Panamá. Según la Síntesis regional: Fomento de las capacidades para la Etapa II de adaptación al cambio climático en Centroamérica, México y Cuba, "los aumentos en la temperatura media para las próximas décadas podrían ser mayores hacia las latitudes subtropicales. A nivel Centroamericano, la costa del Pacífico, cerca de Guatemala, El Salvador y Nicaragua, se observa que los aumentos podrían ser mayores". La región del Pacífico de Nicaragua ha sido identificada como la región con más alta vulnerabilidad por la escasez de agua, aun bajo un escenario optimista, debido a la disminución esperada en la cantidad de lluvias para el año 2030 y a la alta vulnerabilidad asociada con la tasa de crecimiento poblacional, la presencia de una agricultura intensiva y el deterioro ambiental. La región centro-norte aparece con una vulnerabilidad moderada.

En cuanto a la calidad del agua, se espera un mayor deterioro por contaminación con agroquímicos ante una agricultura más intensiva y la descarga de desechos líquidos sin tratar (MARENA, 2001). Ante este escenario, el manto freático de la cuenca del Pacífico se considera muy vulnerable al estar ya bajo presión por las actividades intensivas agropecuarias, la industria, la falta de tratamiento de aguas residuales y la intrusión salina en zonas costeras. La región central del país se considera con un nivel medio de vulnerabilidad a causa de la agricultura y deforestación.

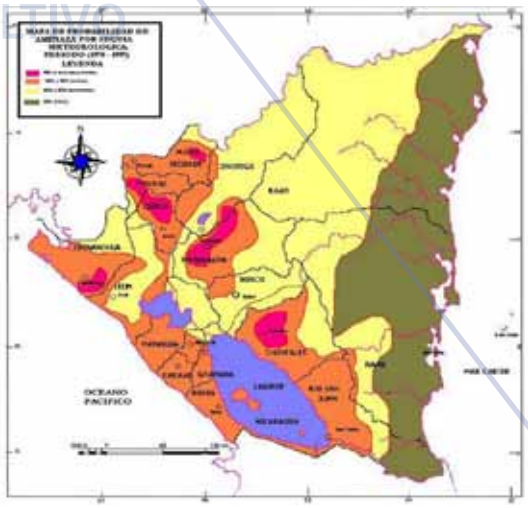
En términos de la variabilidad de la precipitación, se proyecta una reducción en los meses de julio y agosto que corresponden justamente al periodo canicular (MARENA, 2009). Esta situación, en conjunción con la necesidad de ampliar las áreas de riego debido a la reducción de lluvia, el incremento en la población y el aumento en la cantidad de industrias y la agricultura, causará el abatimiento del nivel freático y, con ello, una mayor demanda de bombeo. Los diferentes escenarios de modelaje de recarga del acuífero en años de sequía indican que la vulnerabilidad es muy alta, ya que se reduce su potencial en casi 50% y, con ello, su nivel queda por debajo del nivel seguro de explotación. Éste es un indicador de riesgo futuro muy importante, sobre todo bajo situaciones de prolongadas sequías asociadas al cambio climático (MARENA, 2005a). Por otra parte, como se explicó en la Sección 4.6.2, los bajos niveles freáticos, junto con la reducción de los caudales de los ríos de alimentación, promueven una mayor contaminación del agua subterránea.

Por otra parte, en el acuífero León-Chinandega ubicado en la Cuenca Nº 64 se proyecta una escasez de agua, en términos de la infraestructura existente, a partir de 2015, lo que preocupa, ya que, como se señaló en la Sección 4.6.2, este acuífero es la principal fuente de agua para todos los usos (doméstico, riego, industrial y municipal). Además, es de esperar que las comunidades rurales más pobres –y en particular la de los pequeños productores– resulten más afectadas en estas circunstancias (MARENA, 2008a), ya que dependen de pozos individuales someros autoexplotados. Como consecuencia de la falta de agua, se incrementará la vulnerabilidad de la población por el alto riesgo de enfermedades de origen hídrico y desnutrición al haber escasez de alimentos, baja producción de granos y proliferación de plagas.

Según estudios del INETER (Figura 6.2), las zonas más expuestas a sequías son las del Pacífico occidental (Chinandega) y algunos municipios de la región Central (Chontales). En la región norte, la zona más afectada se ubica entre las cordilleras de Dipilto, Jalapa e Isabelia y las sierras de Tepesomoto (INETER, 2000).

Bajo condiciones de un clima cambiado, estas zonas recibirían anualmente menos de 500 mm, lo cual tendría repercusiones importantes en las actividades agrícolas y ganaderas. La mayor parte de la región del Pacífico central y sur podría pasar de 1 400-1 800 mm/año a 800-1 000 mm año. En consecuencia, esto aumentaría el área de las zonas secas de Nicaragua, de tal forma que los

Figura 6.2. Mapa de áreas vulnerables a sequía en Nicaragua



Fuente: INETER, 1994

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

municipios considerados actualmente como zonas secas se tornarían más secos para el año 2100 (INETER, Dirección General de Meteorología, 1997).

6.2. Eventos extremos

Los eventos extremos –sequías e inundaciones– golpean más a los sectores más pobres y vulnerables de la población, afectan esfuerzos realizados por los gobiernos para el desarrollo de las zonas y ocasionan deterioro ambiental que modifican las condiciones de los recursos hídricos.

En la última década se ha observado en la región el aumento de la frecuencia y magnitud de los fenómenos de El Niño y La Niña, que se asocian con sequías e inundaciones, respectivamente. Por una parte, el fenómeno de La Niña se relaciona con tormentas y huracanes tropicales y trae consigo una alta incidencia de precipitaciones y la generación de huracanes. Recientemente ha habido siete huracanes potentes que han provocado inundaciones y serios daños económicos y sociales en Nicaragua y en países vecinos. Dichos huracanes son Fifí (1974), Alleta (1982), Joan (1988), César (1996), Mitch (1998), Keith (2000) y Félix (2006). La costa caribeña de Nicaragua se ubica en la trayectoria de los huracanes de la Cuenca Nº 3 (Golfo de México, Mar Caribe y Atlántico). En promedio se registran 9,6 tormentas anuales. Adicionalmente, existe una probabilidad de 6% de la incidencia directa de huracanes en la zona de Bluefields, y de 36% en la zona de Cabo Gracias a Dios en el norte de Nicaragua, en la frontera con Honduras. Ello implica una vulnerabilidad alta por eventos extremos en las Regiones Autónomas del Atlántico Norte y Sur de Nicaragua (MARENA, 2009). A pesar de ser la región con más disponibilidad de agua, existe un riesgo alto para la salud, ya que la cantidad de usuarios sin servicio de agua potable y con bajos índices de desarrollo humano es muy alto (Región Autónoma Atlántico Norte, 64%, y Región Autónoma Atlántico Sur, 89%, sin cobertura).

Por otra parte, El Niño provoca eventos cálidos y sequías como las ocurridas en los años 1972, 1976-77, 1991, 1992, 1994 y 1997 (MARENA, 2008b). En condiciones de sequía postrera (agosto-diciembre), se incrementa el potencial de incendios forestales que destruyen la estructura y fertilidad de los suelos y los dejan más susceptibles a la erosión hídrica. Se ha registrado un rango de 1 801 a 4 160 puntos de calor entre 2004 y 2007 en todo el territorio nacional (SINIA, 2008), concentrados éstos en las zonas que corresponden a uso agropecuario. Las regiones del Atlántico y del río San Juan son las más afectadas por incendios forestales (MARENA, 2001).

Las inundaciones se generan por la acumulación del escurrimiento superficial de precipitaciones fuertes en los ríos que se desbordan hasta las planicies de inundación. Las áreas de Nicaragua más susceptibles de inundación se localizan en la región Atlántica y, en menor escala, en las áreas planas y bajas de la depresión nicaragüense, las zonas costeras de los lagos Xolotlán y Cocibolca localizadas en la región del Pacífico (MARENA, 2008b). Las lluvias torrenciales además pueden afectar la infraestructura encargada de la recolección y distribución del agua potable, lo que propicia la aparición de enfermedades diarreicas de transmisión hídrica. Los impactos de los huracanes, como fue el caso de Mitch, generan contaminación de aguas superficiales y de los pozos en zonas de inundación, que además, en áreas de deslave de zonas agrícolas, resultan afectados por el arrastre masivo de suelos que han acumulado plaguicidas (CIRA/UNAN, 1999a). También las aguas de las inundaciones pueden llevar toda clase de sustancias contaminantes, lo que impacta los acuíferos con alta permeabilidad y poca profundidad como ocurrió en León-Chinandega por el paso del huracán Mitch. El sector rural es muy vulnerable a estos eventos extremos, ya que lo conforman comunidades cuyas fuentes de agua para uso doméstico son pozos comunitarios excavados a poca profundidad sin sellos sanitarios ni medidas de protección.

6.3. Elevación del nivel del mar

Se ha proyectado una elevación del nivel medio del mar que podría llegar hasta 35 cm en el presente siglo (IPCC, 2007). La Figura 6.3, Áreas de inundación por elevación del nivel del mar, muestra que la costa caribeña de Nicaragua sería la región más afectada. Esto significaría que la zona sería más propensa a inundaciones, erosión costera e intrusión salina. Además se afectarían los sistemas de humedales que actualmente cubren ~90% del litoral.

Según el Cuadro 6.1, la posible salinización de las fuentes de agua de consumo se estima en cinco municipios con una población de 145 328 habitantes que representan el 17% de la población de la región del Caribe de Nicaragua. El aumento del nivel medio del mar, en conjunción con la alta vulnerabilidad por ocurrencias de huracanes, justifica la preocupación por "mareas de tempestades más intensas que afecten una mayor extensión de las áreas costeras" (MARENA, 2009).

Las consecuencias del cambio climático constituyen una amenaza latente para el desarrollo humano en Nicaragua. Existe un círculo vicioso de empobrecimiento que involucra "la pobreza rural actual, el deterioro progresivo de los

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 6.3. Áreas de inundación por elevación del nivel del mar

Fuente: SICA, Marco regional de adaptación al cambio climático para Centroamérica

recursos naturales renovables y la vulnerabilidad ante el cambio climático". Se ha analizado que 65% (BCN, 2008) de los hogares nicaragüenses son pobres con ingresos diarios de menos de 2 dólares. La planificación de la adaptación al cambio climático desde las instancias correspondientes es urgente para evitar que se agudice la alta vulnerabilidad ante los impactos esperados (PNUD, 2007-2008). La riqueza que representan los recursos hídricos para Nicaragua significa un beneficio que podría formar un pilar importante para el desarrollo del país; por lo tanto, es de suma urgencia la protección y la gestión integrada de estos recursos con base en los posibles impactos debidos al cambio climático.

7. Agua y salud

La crisis del agua y saneamiento afecta sobre todo a la población más pobre; en el mundo, casi dos de cada tres personas que carecen de acceso a agua limpia sobreviven con menos de 2 dólares diarios, y más de 660 millones de personas que carecen de saneamiento sobreviven con esa misma cantidad al día. En Nicaragua, 75,8% de la población del país vive con menos de 2 dólares al día (ENACAL, 2007).

Por otro lado, la falta de saneamiento está fuertemente asociada a la contaminación del agua por organismos patógenos y sustancias químicas tóxicas, lo cual resulta en la baja calidad del agua de consumo y genera un cúmulo de enfermedades y problemas sociales asociados a una calidad de vida disminuida que inexorablemente afecta a las poblaciones expuestas.

La contaminación por actividades humanas afecta el ecosistema acuático y directamente la salud humana debido a que se convierte en un elemento generador de enfermedades que afectan seriamente la salud y calidad de vida de los seres humanos. Estas enfermedades, conocidas como de transmisión hídrica y que son causadas por organismos enteropatógenos, incluyen principalmente las que afectan el tracto gastrointestinal, cuya principal expresión son las enfermedades diarreicas, las cuales están ligadas a millones de muertes infantiles anuales. Se considera que el agua contaminada y la falta de saneamiento constituyen la segunda causa de muerte en el mundo (PNUD, 2006); en el año 2006 se registraron en Nicaragua 144 000 casos de enfermedades diarreicas agudas (EDA) (ENACAL, 2007). En Nicaragua, durante la temporada lluviosa se presentan brotes de leptospirosis debido a la contaminación del agua con orina de roedores infestados de Leptospira (MINSA, 2003).

Otro aspecto no menos importante son aquellas patologías de evolución crónica relacionadas con la contaminación del agua por agroquímicos, principalmente los organoclorados (Álvarez Castillo, 1994; Carvalho, 2002; Briemberg, J. 1994). Existen también enfermedades causadas por la contaminación de los recursos hídricos por metales pesados como mercurio y arsénico (Altamirano *et al.*, 2009; Jiménez *et al.*, 2009).

En lo que respecta a la relación entre la disponibilidad de agua potable y casos de EDA, cabe resaltar que todos aquellos departamentos cuya producción porcentual de agua potable es menor reflejan, en los tres años estudiados, una tasa de morbilidad por EDA mayor que la tasa nacional de morbilidad por EDA. Todos los departamentos con una tasa similar o mayor a la tasa nacional de morbilidad por EDA son los señalados como los departamentos que tienen

Cuadro 6.1. Estimación de la población que se abastece de acuíferos costeros en la costa atlántica de Nicaragua

Ciudades abastecidas por acuíferos costeros	Población proyectada a 2008
Puerto Cabezas	68 783
Prinzapolka	16 741
Laguna de Perlas	11 098
Bluefields	47 347
San Juan del Norte	1 359
Total	**145 328**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos poblacionales del Censo INEC, 2005

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Cuadro 7.1. Producción porcentual de agua potable por departamento y tasas de morbilidad por EDA

Departamentos	Producción anual de agua potable (%)	Tasa de morbilidad por EDA (2005)	Tasa de morbilidad por EDA (2006)	Tasa de morbilidad por EDA (2007)
Boaco	0,9	419,24	360,69	466,03
Carazo	4,0	428,75	396,63	454,12
Chinandega	5,9	195,24	18,6	188,19
Chontales	1,8	243,73	205,4	328,99
Estelí	3,2	506,58	407,75	407,71
Granada	4,3	306,5	199,48	217,91
Jinotega	0,8	355,6	330,97	316,42
León	8,0	240,72	155,93	168,7
Madriz	0,7	437,52	403,76	449,72
Managua	56,7	347,19	262,92	361,49
Masaya	4,6	268,66	219,11	277,26
Matagalpa	3,3	518,49	438,86	448,61
Nva. Segovia	1,8	360,22	315,3	275,46
Río San Juan	0,2	581,81	444,6	442,96
Rivas	2,2	294,66	222,8	245,63
RAAN	0,2	662,49	888,12	919,29
RAAS	0,7	863,10	704,79	863,97
Total	**100,0**	**370,68**	**315,16**	**364,1**

Tasa x 10 000 habitantes
Fuente: ENACAL, 2007; OPS, 1996.

PARA USO RESTRINGIDO

problemas agudos de abastecimiento de agua según ENACAL y aquéllos que tienen poco acceso a agua potable y servicio sanitario (ENDESA, 2007). El Cuadro 7.1 muestra la relación existente entre la producción de agua segura o potable y la incidencia de EDA para diferentes años.

En el occidente del país, donde ampliamente se ha documentado la contaminación de suelo, agua y sedimento por plaguicidas organoclorados (Montenegro *et al.*, 2009; Montenegro *et al.*, 2007; Carvalho *et al.*, 2002) además de la presencia de estos xenobióticos en sangre, cordón umbilical y leche materna (Cruz Granja, 1995; Lacayo, 1995; CIRA/UNAN, 1997), se observa una alta prevalencia de enfermedades renales crónicas y de pacientes con insuficiencia renal crónica en el perfil patológico de la población (Marín, J. 2007), además de esterilidad, cánceres y malformaciones congénitas, las que muy posiblemente estén en relación con los efectos nefrotóxicos, cancerígenos, mutagénicos y teratogénicos de estos compuestos.

En lo que se refiere al arsénico, en Nicaragua se ha identificado la contaminación natural por arsénico en las aguas de consumo humano en la región noroccidental (Villanueva, Santa Rosa del Peñón), norte central (Madriz, Nueva Segovia), central (Valle de Sébaco) y en el Departamento de Chontales (La Libertad, localidad Kimuna) (Altamirano y Bundschuh, 2009). Cálculos conservadores estiman que en Nicaragua aproximadamente 55 700 personas están ingiriendo agua contaminada por arsénico (UNICEF-ASDI, 2004).

8. Marco legal

FORO CONSULTIVO

Las primeras regulaciones relacionadas al recurso agua en Nicaragua fueron las establecidas en el Código Civil, instrumento jurídico cuya visión, alcance y espíritu data desde el año 1904, con una influencia privatista sobre los recursos naturales en que el agua estaba sujeta a la promulgación de regulaciones especiales tal y como lo manda el artículo 723, el cual señala: "Todo lo concerniente a las aguas públicas y particularmente a las navegables y fluctuables, a las corrientes de agua no navegables ni flotables, a las fuentes y manantiales, a las aguas pluviales, a los canales, acueductos particulares y otras obras relativo al uso de las aguas; finalmente a las sustancias vegetales acuáticas o terrestres se rigen por ordenanzas especiales" (Diario oficial, 1904). Pasaron más de 50 años para que se promulgara la primera ley que intentó regular los recursos natu-

rales del país, denominada Ley General Sobre Explotación de las Riquezas Naturales (1958) (La Gaceta, Nº 83, abril de 1958); sin embargo, esta ley deja una vez más el agua fuera del marco legislativo.

Esta ausencia de un marco legal definido contribuyó a que las normas establecidas en el Código Civil fueran las de mayor aplicación al reconocer sobre el agua la propiedad privada y que en nombre de los derechos individuales se permitiera la contaminación de los recursos de agua en todo el país.

Pasaron casi 100 años para que se promulgaran las primeras normas que intentan proteger los recursos hídricos de una manera integral a través de la Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales (Ley 217) (La Gaceta, 1996), la cual fue promulgada y puesta en vigencia en 1996. La ley modifica, por primera vez, los conceptos privatistas e individuales establecidos en las leyes anteriores y establece una concordancia legal con el precepto Constitucional establecido en el artículo 102, el cual señala: "Los recursos naturales son patrimonio nacional. La preservación del ambiente y la conservación, desarrollo y explotación racional de los recursos naturales corresponden al Estado". Siguiendo este precepto, la Ley 217 señala en su artículo 72: "El agua, en cualesquiera de sus estados, es de dominio público. El Estado se reserva además la propiedad de las playas marítimas, fluviales y lacustres; el álveo de las corrientes y el lecho de los depósitos naturales de agua; los terrenos salitrosos, el terreno firme comprendido hasta treinta metros después de la línea de marcas máximas o a la del cauce permanente de los ríos y lagos y los estratos o depósitos de las aguas subterráneas".

En la Ley 217 están contenidos 22 artículos que tratan de regular diferentes aspectos del recurso agua; sin embargo, los mismos han carecido de aplicación debido a la ausencia de una institución que se haga cargo de la implementación y resguardo del recurso.

La Política Nacional de los Recursos Hídricos (La Gaceta, 2001) se basa en una gestión por cuencas hidrográficas como fundamento para el manejo integrado del recurso agua en Nicaragua. Además, establece la importancia de que el agua sea un patrimonio nacional de dominio público para satisfacer las necesidades básicas de la población respetando los principios de equidad social y de género. Asimismo prevé el impacto del cambio climático al establecer en su artículo 2: "Son objetivos de la Política Nacional de los Recursos Hídricos el uso y manejo integrado de los recursos hídricos en correspondencia con los requerimientos sociales y económicos del desarrollo y acorde con la capacidad de los ecosistemas, en beneficio de las generaciones presentes y futuras, así como la prevención de los desastres naturales causados por eventos hidrológicos extremos".

La historia legislativa de regulación del recurso alcanza su mayor grado normativo en septiembre del año 2007, fecha en que se aprueba y promulga la primera ley que regula de manera integral el recurso hídrico y se convierte en el primer instrumento legal válido para el manejo sostenible del recurso.

Esta ley establece un marco normativo integral para las aguas nacionales que es acorde con la Política Nacional de administrar, conservar, desarrollar, usar, aprovechar sostenible y equitativamente así como preservar en cantidad y calidad los recursos hídricos existentes en el país (C. García, Presidente Comisión Medio Ambiente Asamblea Nacional). La ley General de Aguas Nacionales (Ley 620) y su reglamento ponen énfasis en la gestión integrada del recurso a partir de las cuencas, subcuencas y microcuencas hidrográficas e hidrogeológicas del país. El componente más importante de la Ley es la creación de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el artículo 24, el cual señala: "Se crea la Autoridad Nacional del Agua (ANA) que será el órgano descentralizado del Poder Ejecutivo en materia del agua, con personería jurídica propia, autonomía administrativa y financiera y que tendrá facultades técnicas-normativas, técnicas-operativas y de control y seguimiento, para ejercer la gestión, manejo y administración en el ámbito nacional de los recursos hídricos, de conformidad a la presente Ley y su reglamento". La ANA (art. 25) es la responsable de proponer al Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), para su aprobación, la conformación de los organismos de cuenca. Otras funciones de la ANA son organizar y coordinar el Sistema de Información de los Recursos Hídricos, el cual tiene como función determinar la disponibilidad de las aguas nacionales en cantidad y calidad, así como establecer el inventario de los usos y usuarios del recurso. Este sistema abarca información geográfica, meteorológica, hidrológica, hidrogeológica e incluye el manejo de los bancos de datos, la operación y mantenimiento de las redes y la difusión de la información obtenida (La Gaceta, 2007b).

Otro aspecto importante de la Ley 620 es el reconocimiento de la importancia del lago Cocibolca, el lago más grande de Centroamérica y el lago tropical más grande de las Américas, como reservorio nacional de agua potable con el objeto de impedir que siga la contaminación de sus aguas. Como resultado, se creó la "Comisión de De-

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS
FORO CONSULTIVO

sarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago Cocibolca y el Río San Juan" (Gaceta, 2007a), la cual tiene como función elaborar, aprobar y dar seguimiento al Plan de Acción y de Ordenamiento Territorial para la Gestión de la Cuenca (Montenegro, 2009).

Por otra parte, es importante añadir que los Planes de Desarrollo Municipal incluyen un componente adicional a la gestión del agua, ya que por medio de la Ley de Municipios (Ley 40) se establece en el artículo 6 que "los gobiernos municipales tienen competencia en todas las materias que incidan en el desarrollo socio-económico, en la conservación del ambiente y los recursos naturales de su circunscripción territorial". Además, la Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales de Nicaragua (art. 83) establece que los gobiernos autónomos y municipalidades pueden determinar en el área de su jurisdicción las cantidades máximas de extracción de agua.

En 2010 se estableció la Autoridad Nacional de Agua que actualmente está desarrollando la base para aplicar la Ley 620.

9. Referencias

1. Agenda 21-Nicaragua. Aspectos del desarrollo sostenible referentes a los recursos naturales en Nicaragua. http://www.un.org/esa/agenda21/natlinfo/countr/nicara/natur.htm#toxic
2. Altamirano, M. y Bundschuh, J. (2009). Natural arsenic groundwater contamination of the sedimentary aquifers of southwestern Sébaco Valley, Nicaragua. Geoquímica del arsénico en América Latina.
3. Altamirano, M. (2005). Distribución de la contaminación natural por arsénico en las aguas subterráneas de la subcuenca suroeste del valle de Sébaco, Matagalpa-Nicaragua. http://www.cira-unan.edu.ni/media/documentos/MaxAltamirano.pdf
4. Álvarez Castillo, José Antonio (1994). Niveis de contaminacao das águas da Bacía do rio Atoya por resíduos de pesticidas organoclorados e organofosforados aplicado na cultura do algodão Bacía de rio Atoya Chinandega, Nicaragua America Central. Tesis de Maestría (Universidad Federal do Paraná Brasilia).
5. Andre, L., Rosen, K. Rosen, K. y Torstendahl, J. (1997). Minor field study of mercury and lead pollution from gold refining in central Nicaragua. Department of Environmental Engineering, Lulea University of Technology, Lulea.
6. Argüello, O. (2008). Revisión y actualización de la estrategia del sector de agua potable y saneamiento, 2008-2015, Nicaragua/Informe final. Managua, julio de 2008.
7. Banco Mundial (2001). Recurso hídrico per cápita por año de los países centroamericanos y otros países de referencia. www.aguayclima.com/agua/inicio.htm
8. BCN (2009). Banco Central de Nicaragua. Nicaragua en cifras. http://www.bcn.gob.ni/publicaciones/nicaraguacifras/Nicaragua%20en%20cifras%202007%20WEB.pdf
9. BCN (2008). Banco Central de Nicaragua. Anuario de Estadísticas Económicas 2001-2008. http://www.bcn.gob.ni/publicaciones/anuario/Anuario%20estadistico%202008.pdf
10. Briemberg, J. (1994). An investigation of pesticide contamination of groundwater sources for urban water distribution systems in the Pacific Region of Nicaragua. Final Report 3, CIDA Awards for Canadians.
11. Calderón, H. (2003). Numerical modeling of the groundwater flow system in a sub-basin of the Leon-Chinandega aquifer, Nicaragua. MSc Thesis. University of Calgary, Calgary, Alberta.
12. CATHALAC, PNUD, GEF (2008). Síntesis regional: Fomento de las capacidades para la Etapa II de adaptación al cambio climático en Centroamérica, México y Cuba. Edición final (E. Sempris, M. Chiurliza, Joel Pérez, R. Carrillo y M. Tuñon [eds.]).
13. CCO (2001). Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América, Distrito de Mobile y Centro de Ingeniería Topográfica Regionalización. Biofísica de tres regiones del Pacífico de Nicaragua. http://www.sam.usace.army.mil/en/wra/Nicaragua/WRA%20SPANISH.pdf
14. CAPS Nicaragua (2009). http://capsnicaragua.blogspot.com
15. Carvalho, Fernando P., Villeneuve, J. P., Cattini, Chantal, Tolosa, Inmaculada, Montenegro Guillén, S., Lacayo, M. y Cruz, A. (2002). Ecological risk assessment of pesticide residues in coastal lagoons of Nicaragua. The Royal Society of Chemistry, Journal of Environmental Monitoring, 4, 778/787.
16. Castillo Hernández, E., Calderón Palma, H., Delgado Quezada, V., Flores Meza, Y. y Salvatierra, T. (2006). Situación de los recursos hídricos en Nicaragua. Boletín Geológico y Minero. (Situation of Water Resources in Nicaragua). Instituto Geológico y Minero de España, 117 (1):127-146.
17. Catastro e Inventario de Recursos Naturales (1973). Ministerio de Economía, Industria y Comercio.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

18. Centro Humboldt (2001). Caracterización hidrogeológica, hidroquímica, bacteriológica y de plaguicidas en las aguas subterráneas del municipio de Posoltega. Managua, Nicaragua.
19. CEPAL, GTZ (2009). Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe: una reseña. http://www.eclac.cl/dmaah/noticias/paginas/6/34886/libro-cc.pdf
20. CEPAL (1999). Nicaragua: evaluación de los daños ocasionados por el huracán Mitch, 1998. Sus implicaciones para el desarrollo económico y social y el medio ambiente.
21. CEPIS-OPS (2002). Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias. Tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina, Inventario regional del manejo de las aguas residuales. Convenio IDRC-CEPIS 2000-2002.
22. CIA, The World Factbook. https://cia.gov/library/publications/the-world-factbook
23. CIRA/IAEA (1999). Proyecto ARCAL XXXI. Caracterización de los acuíferos para la gestión sustentable de los recursos hídricos subterráneos en áreas urbanas. Informe de Nicaragua: Estudio Isotópico y de la Contaminación del Acuífero León-Chinandega, Nicaragua. Informe final.
24. CIRA/UNAN (2009). Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos (Informe final de la Primera Campaña de Muestreo, Proyecto "Evaluación del Impacto de los Lixiviados del Basurero de la Ciudad de Managua, La Chureca, a las Aguas del Lago Xolotlán, al Acuífero Afectado y a la Laguna Acahualinca". CIRA/UNAN, Managua.
25. CIRA/UNAN (2008). Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos. Informe final de Evaluación y monitoreo de la calidad del agua del lago de Managua, Proyecto de apoyo a la ejecución del Programa de Saneamiento Ambiente del Lago y la Ciudad de Managua, Contrato de Préstamo BID 1060/SF-NI.ENACAL e INETER.
26. CIRA/UNAN, 2007. Análisis de la relación entre las presiones antropogénicas y el estado de la contaminación del lago Cocibolca de Nicaragua. Integración de datos biológicos, físicos y químicos con datos geoespaciales e información de la cuenca hidrográfica del lago Cocibolca. CIRA/UNAN-Fundación Ciudad del Saber.
27. CIRA/UNAN (1997). Plaguicidas organoclorados en sangre de madres del Departamento de Chinandega, Cuadra Leal, J., Cruz Granja, A. y Lacayo, M. Informe.
28. CIRA/UNAN (1999a). Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos. Diagnóstico de la calidad toxicológica de las aguas y suelos y calidad bacteriológica de las aguas del municipio de Posoltega. Managua, Nicaragua.
29. CIRA/UNAN (1999b). Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos. Proyecto ARCAL XXXI. Caracterización de los acuíferos para la gestión sustentable de los recursos hídricos subterráneos en áreas urbanas. Informe Nicaragua. Estudio isotópico y de la contaminación del acuífero León-Chinandega. Managua, Nicaragua.
30. CIRA/MEL/DIPS (1996-1998). Fate, Cycling and Environmental Effects of Agrochemical Residues from Cotton Culture in Coastal Lagoon Environments of Nicaragua. First year, Second year, Third year, and Final Reports.
31. CONAGAN (2009). Comisión Nacional Ganadera de Nicaragua. Comunicación personal con el Gerente General de CONAGAN, Dr. René Blandón.
32. CONAGUA y WWC (2006). Comisión Nacional de Agua y World Water Council, Datos de extracción de agua en Centroamérica. Presentado en el Foro Mundial del Agua México, 2006.
33. Cruz Granja, Adela (1995). Pesticidas organoclorados na gordura corporal de mulheres Nicaraguenses. Tesis de Maestria Universidad de Brasilia.
34. Delgado, V. (2003). Groundwater Flow System and Water Quality in a Coastal Plain Aquifer in Northwestern Nicaragua. MSc Thesis. University of Calgary, Calgary, Alberta.
35. ENACAL (2008a). Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios. Plan de Desarrollo Institucional 2008-2012: Estrategia sectorial de agua propuesta por ENACAL, diciembre de 2008. Managua. http://www.enacal.com.ni/media/imgs/informacion/LIBRO%20ENACAL%20CAMBIO%20ENERO-05.pdf
36. ENACAL (2008b). Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios. Revista. Informe de Gestión 2008, diciembre de 2008. Managua. http://www.enacal.com.ni/media/imgs/informacion/LIBRO%20ENACAL%20CAMBIO%20ENERO-05.pdf
37. ENACAL (2007). Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios. ABC sobre el recurso agua y su situación en Nicaragua. Segunda edición. http://www.enacal.com.ni/media/imgs/informacion/ABCdelAgua1.pdf
38. ENACAL (2005). Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios. Efluentes in-

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

dustriales que se descargan al alcantarillado sanitario de Managua. Gerencia Ambiental. Unidad de Vertidos Industriales, agosto de 2005.

39. ENDESA (2007). Encuesta Nicaragüense de Demografía y Salud, 2006-2007. http://www.ops.org.ni/index.php?Itemid=34&func=fileinfo&id=524&option=com_remository
40. FAO-CEPAL (2009). Los recursos hídricos de Nicaragua. http://coin.fao.org/medias/fao-nic-recursoshidricos-capal-pdf
41. FAO (1992). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Estudio Subsectorial del Riego Privado. Vol. II de II (Anexo 4, 5, 6, 7).
42. FAO-Aquastat (2005). Groundwater to surface water renewal ratio calculated from total annual internally generated groundwater and surface water volumes in the Aquastat database. www.fao.org/ag/agl/aglw/aquastat/main/lvOct05
43. FAO-AQUASTAT (2003). Water Resources, Development and Management Service, Information System on Water and Agriculture, Land and Water, General Summary Latin America and the Caribbean. www.fao.org/AG/agl/aglw/aguastat/regions/lac/index3.stm
44. Fekete, B., Vörösmartz, C. y W. Grabs (2002). Global Composite Runoff Fields, CSRC. UNH. Deichmann, U., Gridded Population of the World. http://www.ciesin.org/datasets/gpw/globaldem.doc.html
45. Flores, S. (2005). Flujo de macronutrientes (fósforo y nitrógeno) del Subsistema Hidrológico Lago Cocibolca: Estimación de carga superficial en relación al uso del suelo. Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN). Managua, Nicaragua.
46. González, H. C. (2006). Identificación de bosques y sistemas agroforestales importantes proveedores de servicios ecosistémicos para el sector agua potable en Nicaragua. Tesis para optar al grado de *Magíster Scientae* en Agroforestería Tropical. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
47. GWP-CA (2006). Asociación Mundial para el Agua, Capítulo Centroamérica. Situación de los Recursos Hídricos en Centroamérica: Hacia una Gestión Integrada. Ed. Virginia Reyes G., 3ª Ed., San José, C.R.
48. Hydrological Bulletin (1991). Limnology of Lake Xolotlán (Lake Managua), Nicaragua. Journal of the Netherlands Hydrobiological Society. Vol.25(2), 1991.
49. IEA-MARENA (2001). Informe Estado del Ambiente en Nicaragua 2001.
50. INAA (1999). Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (NTON 09003-99). Normas técnicas para el diseño de abastecimiento y potabilización del agua. Managua.
51. INEC (2006). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Informe del VIII Censo de Población y IV de Vivienda, Censo 2005. Managua.
52. INEC (2005). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Encuesta de Hogares para la Medición de Empleo. Informe general.
53. INEC (2005). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Informe de VIII Censo Poblacional y IV de Viviendas, 2005-2006. Revista.
54. INEC (2003). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Compendio Estadístico 2000-2002.
55. INETER (2006). Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Boletín Hidrogeológico.
56. INETER (2004). Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Proyecto de Mapificación Hidrogeológica e Hidrogeoquímica de la Región Central de Nicaragua.
57. INETER (2000). Estudios hidrológicos e hidrogeológicos en la región de Chinandega-León-Nagarote (acuífero de Occidente). Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales-Ministerio Agropecuario y Forestal (MAGFOR).
58. INETER. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Datos sobre la hidrología de Nicaragua. http://www.ineter.gob.ni/Direcciones/Recursos%20Hidricos/index.html
59. INETER (1997). Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Dirección General de Meteorología. Perspectivas de las precipitaciones en Nicaragua ante un evento ENOS, Documento técnico. Gutiérrez, M.
60. INETER/OIEA (1997). Estudio hidrogeológico del acuífero de Occidente. OIEA-INETER. NIC/8/009. Informe interno.
61. INETER (1994).Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Clasificación de humedad disponible en Nicaragua. http://www.ineter.gob.ni/Direcciones/meteorologia/estudios/clasificacion%20de%20humedad.htm
62. INETER (1989). Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Estudio hidrogeológico e hidroquímico de la región Pacífico de Nicaragua.
63. INIDE (2006). Instituto Nacional de Información de Desarrollo. Compendio estadístico 2003-2004 y Anuario Estadístico 2006.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

64. INIDE (2005). Perfil y características de los pobres en Nicaragua 2005. Instituto Nacional de Información de Desarrollo, Encuesta de Hogares sobre Medición de Nivel de Vida.
65. International Water Management Institute (2007). The Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture, System Wide Initiative on Water Management (SWIM). (www.iwmi.cgiar.org/assessment)
66. IPCC (2007). Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos del Cambio Climático. Cambio climático 2007, Informe de síntesis. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
67. Jiménez García, Mario, Montenegro Guillén, Salvador y Yoshiaki Yasuda (2007). Contaminación por mercurio en el lago Xololtán y la salud de poblaciones humanas que habitan en zonas costeras.
68. Jiménez García, Mario, Montenegro Guillén, Salvador y Yoshiaki Yasuda. Contaminación por mercurio en Nicaragua. (2009). El caso de la empresa Pennwalt. Universidad y Ciencia, UNAN-Managua, Año 4, No. 7, julio-diciembre de 2009.
69. Kokusai, Kogyo (1993). Resumen del Estudio de Suministro de Agua en Managua.
70. Krásný, J. (1995). Hidrogeología de la zona Pacífica de Nicaragua. Servicio Geológico Checo-INETER. Informe interno.
71. Lacayo Romero, Martha (1995). Pesticidas organoclorados no leite humano de maes Nicaragüenses. Tesis de Maestría, Universidad de Brasilia.
72. Lacerda, L.D. (2003). Updating global Hg emissions from small-scale gold mining and assessing its environmental impacts. Environmental Geology, 43, 308-314.
73. La Gaceta (2007a). Diario Oficial de la República de Nicaragua, No. 159. Ley No. 626, Ley que Crea la Comisión de Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago Cocibolca y del Río San Juan. Publicada el 21 de agosto de 2007.
74. La Gaceta (2007b). Diario Oficial de la República de Nicaragua, No. 169. Ley No. 620, Ley General de Aguas Nacionales. Publicada el 4 de septiembre de 2007.
75. La Gaceta (2001). Diario Oficial de la República de Nicaragua, No. 233, Decreto No. 1072001 del Presidente de la República, La Política Nacional de los Recursos Hídricos. Publicado el 7 de diciembre de 2001.
76. La Gaceta (1996). Diario Oficial de la República de Nicaragua, No. 105. Ley 217, Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales de Nicaragua. Publicada el 6 de junio de 1996.
77. La Gaceta (1995). Diario Oficial de la República de Nicaragua, No. 118. Decreto No. 33-95, Disposiciones para el Control de la Contaminación Proveniente de las Descargas de Aguas Residuales Domesticas, Industriales y Agropecuarias. Publicado el 26 de junio de 1995.
78. La Gaceta (1958). Diario Oficial de la República de Nicaragua, No. 83, Ley General sobre Explotación de las Riquezas Naturales. Publicada el 17 de abril de 1958.
79. Losilla, M., H. Rodríguez, Schosinsky, G., Stimson, J. y Bethune, D. (2001). Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central, Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José.
80. MAGFOR (2008). Ministerio Agropecuario y Forestal de Nicaragua. Subprograma Desarrollo y Reactivación del Riego para Contribuir a la Seguridad Alimentaria en Nicaragua. Octubre de 2008.
81. MAGFOR (2004). Ministerio Agropecuario y Forestal de Nicaragua. Situación actual en el uso de plaguicidas e importaciones autorizadas. Dirección del Registro Nacional y Control de Insumos Agropecuarios. http://www.inta.gob.ni/guias/uso_plaguicidas
82. MAGFOR (2002). Ministerio Agropecuario y Forestal. Dirección General de Estrategias Territoriales, Mapa forestal.
83. MAGFOR (1997). Ministerio Agropecuario y Forestal. Sistema de Información Geográfica, Nicaragua, potencialidades y limitaciones de sus territorios.
84. MARENA (2009). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Segunda Comunicación Nacional. Ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, versión prensa, presentación julio de 2009.
85. MARENA (2008a). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Informe Técnico Nicaragua Cuenca No. 64. Proyecto "Fomento de las capacidades para la Etapa II de adaptación al cambio climático en Centroamérica, México y Cuba". PAN10–00014290.
86. MARENA (2008b). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Escenarios de cambio climático de Nicaragua a partir de los resultados del modelo

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

PRECIS (Centella, A., Bezanilla, A. [eds.]). Proyecto Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, NIC10–00036532. Oficina Nacional de Desarrollo Limpio, MARENA.

87. MARENA (2008c). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Segundo inventario nacional de gases de efecto invernadero, Nicaragua, Año de referencia 2000.
88. MARENA (2007). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Propuesta Plan Ambiental de Nicaragua 2005–2011. Borrador final. Gobierno de Nicaragua. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, marzo de 2007.
89. MARENA (2005a). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Informe de Evaluación de la vulnerabilidad actual de los sistemas recursos hídricos y agricultura en la Cuenca No. 64. Oficina Nacional de Desarrollo Limpio. Proyecto regional: Fomento de las capacidades para la Etapa II de adaptación al cambio climático en Centroamérica, México y Cuba.
90. MARENA (2005b). Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales. Plan Nacional de Erradicación de la Basura, noviembre de 2005.
91. MARENA (2004a). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Informe Estado del Ambiente en Nicaragua 2003. Segundo informe GEO.
92. MARENA (2004b). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Sistema Nacional de Información Ambiental, SINIA, Imágenes del Satélite Landsat, 2001-2003.
93. MARENA (2004c) Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Bases de la Política Nacional sobre la Gestión Integral de los Residuos Sólidos, Nicaragua, julio de 2004.
94. MARENA (2004d). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Primer inventario nacional de fuentes y emisiones de dioxinas y furanos. Nicaragua.
95. MARENA (2003). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Plan de Acción Nacional ante el Cambio Climático. Proyecto Primera Comunicación Nacional ante el Cambio Climático [S. Heumann, G. Wilson V., F. Picado T. (eds.)]. PNUD-NIC/98/G31–MARENA.
96. MARENA (2003). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Informe Estado del Ambiente en Nicaragua. Managua, Nicaragua.
97. MARENA (2001). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Informe Estado del Ambiente en Nicaragua. Managua, Nicaragua.
98. MARENA–PNUD (2000). Evaluación de la vulnerabilidad y adaptación de los recursos hídricos de Nicaragua ante el cambio climático. Cruz Meléndez, O. et al. Proyecto Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, PNUD–NIC/98/G31–MARENA.
99. Marín Ruiz, J. (2007). Insuficiencia renal crónica en Nicaragua. Presentación en Congreso Multidisciplinario de Investigación Ambiental 2007.
100. MEM (2008). Ministerio de Energía y Minas. Potencial y aprovechamiento de los recursos reno vables en Nicaragua.
101. MIFIC (2006). Ministerio de Fomento, Industria y Comercio. Propuesta de la Política Industrial de Nicaragua. Proyecto NI-10-00046784 (versión preliminar).
102. MINSA (2007). Ministerio de Salud. Boletín epidemiológico, semana 51, año 2007. http://www.minsa.gob.ni.
103. MINSA (2003). Ministerio de Salud. Situación epidemiológica de la leptospirosis en Nicaragua, Semana Epidemiológica, No. 40, año 2003.
104. Montenegro, S. (2009). Nicaragua, un país con agua y sed. Conferencia magistral. El Guacal 2, 2009.
105. Montenegro, S. (2009). Nicaragua-Plan de Gestión del Gran Lago Cocibolca, Aplicación de Criterios GIRH en la Organización del Plan de Gestión. http://www.gwpcentroamerica.org/uploaded/content/category/1924515248.pdf y http://ww w.gwptoolbox.org/index.php?option=com_case&id=216&Itemid=41
106. Montenegro Guillén, S. y Jiménez García, M. (2009). Residuos de plaguicidas en agua de pozos en Chinandega, Nicaragua. Universidad y Ciencia, UNAN-Managua. Año 4, No. 7, julio-diciembre de 2009.
107. Montenegro Guillén, S. y Jiménez García, M. (2007). Presencia y concentración de residuos de plaguicidas y contaminantes biológicos en el agua de pozos para consumo humano en localidades de antiguas plantaciones bananeras en el occidente de Nicaragua. Proyecto CNU. Informe final 1.
108. Montenegro Guillén, S. (2006). Gran Lago Cocibolca, ¿reserva nacional de agua potable para Nicaragua? www.ecoportal.net/content/view/full/59427

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

109. Montenegro Guillén, S. (2003). Lake Cocibolca/ Nicaragua. In Lakenet (ed.) World Lake Basin Management Initiative, Regional Workshop for Europe, Central Asia and the Americas, held at St. Michael's College, Vermont, June 18-21, 2003.
110. Nicaraguan Research Center for Aquatic Resources (CIRA/UNAN) and National Institute for Minamata Disease, Japan (2007). Final Report on Environmental Contamination from Mercury in Lake Xolotlán, Nicaragua: Human Health Risk Assessment to Interamerican Development Bank.
111. OPS (1996). Organización Panamericana de la Salud. Vigilancia Ambiental. Fundación W.K. Kellogg. Serie HSP-UNI/Manuales operativos PALTEX.
112. OPS-OMS (2004). Organización Panamericana de Salud. Estrategia sectorial de Agua Potable y Saneamiento de Nicaragua, noviembre de 2004.
113. OPS/OMS-DANIDA (2002). Diagnóstico sobre la exposición y efectos del uso de los plaguicidas en la Región Autónoma del Atlántico Norte, RAAN. Serie Diagnósticos 16. Proyecto Plagsalud. Organización Panamericana de la Salud-Organización Mundial de la Salud, Nicaragua, febrero de 2002.
114. ONU (1974). Organización de Naciones Unidas. Investigaciones de aguas subterráneas en la región de la costa del Pacífico. Zona de Chinandega. Vol. I y II. New York.
115. PANic (2001). Plan Ambiental de Nicaragua para los años 2001-2005. Gobierno de Nicaragua.
116. Parello, F., Aiuppa, A., Calderon, H., Calvi, F., Cellura, D., Martinez, V., Militello, M., Vammen, K., Vinti, D. (2008). Geochemical characterization of surface waters and groundwater resources in the Managua area (Nicaragua, Central America). Applied Geochemistry, doi: 10.1016/j.apgeochem.2007.08.006
117. PARH (1997). Plan de Acción de los Recursos Hídricos de Nicaragua. Evaluación rápida de los recursos hídricos.
118. PHIPDA (2003). Plan Hidrológico Indicativo Nacional y Plan Anual de Disponibilidad de Agua, 2003. Diagnóstico de los recursos hídricos por cuenca hidrográfica.
119. Picado, F. (2008). Fluvial transport and risk of mercury in a gold mining area. Tesis Doctoral de la Universidad de Lund, Suecia, Departamento de Ecología, Ecología Química y Ecotoxicología.
120. PROCUENCA SAN JUAN (2004a). Informe técnico final sobre agua y clima. Enfrentando la variabilidad del clima en una cuenca transfronteriza de América Central: la Cuenca del Río San Juan. Proyecto PROCUENCA. http://www.oas.org/sanjuan/spanish/documentos/dialogo/dialogo/04-tecnical_report/03-BasinDescription.html
121. PROCUENCA-SANJUAN (2004b). Integración de los estudios básicos del Proyecto "Formulación de un Programa de Acciones Estratégicas para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y el Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Río San Juan y su Zona Costera".
122. Programa Conjunto del Milenio (OMS/UNICEF) de Seguimiento del Abastecimiento de Agua y del Saneamiento (PCM) (2010). Progresos en materia de saneamiento y agua. Informe de actualización.
123. PNUD (2007-2008). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Informe sobre Desarrollo Humano, 2007-2008.
124. PNUD (2006). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Informe sobre Desarrollo Humano. Más allá de la escasez: poder, pobreza y la crisis mundial del agua.
125. PNUMA-MARENA (2000). Reducción del escurrimiento de plaguicidas al Mar Caribe. Informe Nacional de Nicaragua. Proyecto GEF (Global Environment Facility). Dirección General de Control Ambiental. Dirección de Vigilancia y Control Ambiental.
126. Proyecto RepCar (2009). Proyecto "Colombia, Costa Rica y Nicaragua: Reduciendo el Escurrimiento de Plaguicidas al Mar Caribe" (GEF-REPCar), "Monitoreo del Escurrimiento de Plaguicidas al Caribe Nicaragüense". http://cep.unep.org/repcar/coastal-monitoring
127. Proyecto RepCar (2010). Proyecto Reduciendo el Escurrimiento de Plaguicidas al Mar Caribe. Informe de país sobre importaciones de plaguicidas correspondiente al período 2004-2009, Nicaragua.
128. SINIA (2008). Sistema Nacional de Información Ambiental. Medio ambiente en cifras: Nicaragua 2004-2007. Managua. http://www.sinia.net.ni
129. SINIA-MARENA (2009). Borrador del Informe Estado del Ambiente.GEO, 2007-2008. http://www.sinia.net.ni
130. Telmer, K., Costa, M., Angélica, R. S., Araujo, E. S. y Marice, Y. (2006). The source and fate of sediment and mercury in the Tapajós River, Pará, Brazilian Amazon: Ground-and space-based evidence. Journal of Environmental Management, 81, 101-113.
131. UNICEF-ASDI (2004). Contribución al estudio de cinco zonas contaminadas naturalmente por arsénico en Nicaragua, octubre de 2004.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

132. UNICEF, ENACAL, MINSA (2005). Evaluación rápida de la calidad del agua de bebida. Informe final.
133. Vammen, K., Pitty y J., Montenegro Guillén, S. (2006). Evaluación del proceso de eutrofización del lago Cocibolca, Nicaragua y sus causas en la cuenca. Eutrofización en América del Sur, consecuencias y tecnologías de gerencia y control. Instituto Internacional de Ecología. Interacademic Panel on International Issues, 35-58.
134. Vargas, O. R. (2007). Centroamérica: Las Metas del Milenio, Centro de Estudios de la Realidad Nacional (CEREN).
135. Velásquez, G. (1994). Diagnóstico da contaminacão ambiental gerada pela atividade mineraria sobre os Rios Súcio, Mico e Sinecapa, Nicaragua. MSc Dissertation, Centro de Geociencias, Univesidade Federal do Para, Belém.
136. WWAP (2006). UN-Water/World Water Assessment Programme. Water, a shared responsibility. The United Nations World Water Development Report 2.
137. Weyl, R. (1980). Geology of Central America. Beiträge zur Regionalen Geologie der Erde, Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Science Publishers, Stuttgart.
138. World Bank: Agricultural Land Use; Selected Countries (2001).
139. Yale Center for Environmental Law & Policy (2010) Environmental Performance Index 2010. http://epi.yale.edu/

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Región Ancash, cerca de la mina Pachapaqui, Perú
Fotografía de Julio Kuroiwa Zevallos

PARA USO RESTRINGIDO
PARA CONSULTA

Recursos hídricos en el Perú

Una visión estratégica

Julio M. Kuroiwa
Director del Laboratorio Nacional de Hidráulica.
Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

PARA USO RESTRINGIDO

1. Introducción

Este artículo resume la situación actual de la disponibilidad de recursos hídricos en el Perú. Se ha incluido una breve descripción de la distribución espacial de los recursos hídricos y la población. Los usos del agua y tendencias futuras han sido explicados cuantitativamente. Los desastres relacionados con el agua se describen brevemente. Los esfuerzos que ha realizado el Gobierno del Perú recientemente para fortalecer las autoridades que ejercen control sobre el manejo del agua nacional, regional y local han sido comentados. Se han resumido, asimismo, las implicancias de las nuevas leyes relacionadas al agua. Finalmente, se presentan avances de las investigaciones realizadas por algunas universidades como ejemplos de trabajos realizados en el campo de los recursos hídricos.

CONSULTIVO

2. El recurso hídrico

El Perú, con un área de 1 285 216 km^2 y una población de 28 220 764 millones de habitantes (a octubre de 2007), se encuentra ubicado en el centro de la costa oeste de Sudamérica. La presencia de la corriente peruana (localmente conocida como la Corriente de Humboldt), la cordillera de los Andes y la selva amazónica han creado una gran diversidad de climas dentro del país y una distribución muy desigual de los recursos hídricos.

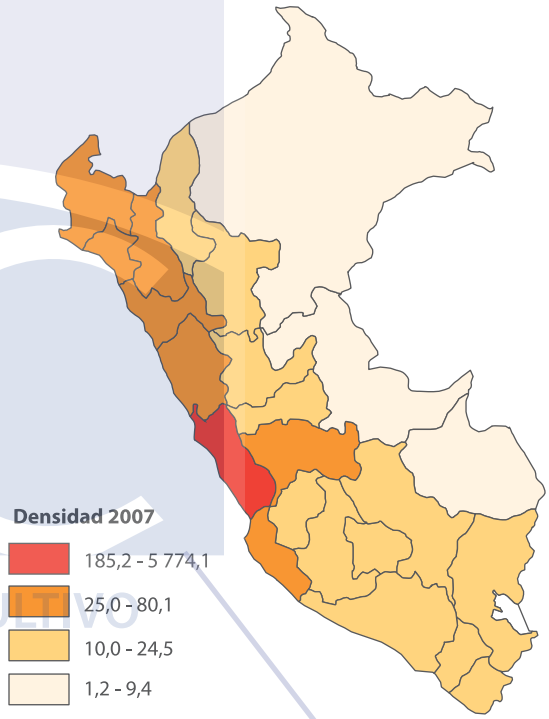
El antiguo Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) identificó 106 cuencas hidrográficas. Tres macrocuencas contienen las cuencas identificadas como la cuenca del Pacífico, la cuenta del Atlántico y la cuenca del lago Titicaca, las cuales se presentan en la Figura 1.

Figura 1. División del Perú en vertientes: Pacífico, Atlántico (amazónica) y Titicaca

La cuenca del Pacífico está compuesta por sistemas hidrográficos localizados en la vertiente occidental de los Andes. La mayoría de ríos son de corta longitud y de fuerte pendiente. La mayoría de las divisorias se encuentran por encima de los 5 000 m sobre el nivel del mayor, y la mayoría de los cursos de agua tienen menos de 150 km de longitud. La cuenca del Atlántico (llamada también cuenca amazónica) está compuesta por un sistema de ríos que se encuentra en la vertiente oriental de los Andes y transporta agua al río Amazonas o a un tributario mayor de éste. La cuenca del lago Titicaca es un sistema cerrado que incluye además otras dos subcuencas en Bolivia y termina en dos lagos: lago Poopó y el lago Salado de Coipasa.

Aunque las cifras hagan pensar que el Perú es un país con abundantes recursos hídricos con un promedio de 77 534 m³/hab./año, éstos están distribuidos en forma muy desigual. La mayoría de la población peruana vive a lo largo de la cuenca del Pacífico. La Figura 2 muestra la distribución de la densidad de la población. Los tonos más oscuros muestran la mayor densidad poblacional por región. La

Figura 2. Distribución de la densidad de la población en el Perú (nótese que la población disminuye en dirección este)



Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (2007)

Cuadro 1. Distribución de área, población y recursos hídricos en el Perú

Cuenca	Área (1 000 km²)	Disponibilidad hídrica (Mm³/año)	Disponibilidad hídrica (%)	Población	Población (%)	Disponibilidad hídrica (m³/hab./año)
Pacífico	279,7	37 363	1,8	18 315 276	65	2 040
Amazónica	958,5	1 998 752	97,7	8 579 112	30	232 979
Titicaca	47,2	10 172	0,5	1 326 376	5	7 669
Total	1 285,2	2 046 268	100,0	28 220 764	100	72 510

ANA, 2009, basado en INRENA, 1995

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

costa peruana es una zona muy árida, con áreas hiperáridas en la costa sur y central a semiáridas en la costa norte. La precipitación es virtualmente cero a nivel del mar, y cerca de la cabecera de cuenca está en el orden de 900 mm/año. La mayor parte de la precipitación ocurre entre mediados de noviembre y mediados de abril. La Figura 3 muestra un paisaje típico de la costa.

El Cuadro muestra que aunque la disponibilidad anual del agua para la cuenca del Pacífico es sólo 37 363 millones de metros cúbicos (Mm^3), que representa 1,8% de la disponibilidad de agua para el país, 65% de la población vive en esta área, lo que resulta en una disponibilidad media de 2 040 m^3/hab./año en promedio. Sin embargo, algunas ciudades tienen una disponibilidad menor a 1 000m^3/hab./año. Por ejemplo, la cuenca del río Rímac, donde se ubica Lima, tiene una disponibilidad de sólo 148,6 m^3/hab./año, que está muy por debajo del umbral de escasez hídrica. Lima es la segunda ciudad más grande del mundo ubicada en un desierto, después de El Cairo. Sin embargo, esta última tiene como fuente de abastecimiento al río Nilo, el cual proporciona una disponibilidad hídrica mucho mayor a la que el río Rímac proporciona a Lima.

La cuenca amazónica, que también incluye parte de la sierra peruana, tiene una disponibilidad hídrica de 1 998 752Mm^3 anuales, que constituye 97,7% de los recursos hídricos de la nación. Con una población de 8 579 112 habitantes, el índice hídrico es de 232 979 m^3/hab./año. Este valor es aproximadamente 114 veces la disponibilidad hídrica en la cuenca del Pacífico.

El lago Titicaca es parte de un sistema cerrado formado por cuatro cuencas mayores: lago Titicaca (T), río Desaguadero (D), lago Poopó (P) y el lago Salado de Coipasa (S). Estas cuatro cuencas forman el sistema TDPS, y de ellas, el lago Titicaca, que tiene un área de 8 400 km^2, es el lago más grande de Sudamérica (www.unesco.org/water/2009).

El área del lago Titicaca dentro de territorio peruano es de 47 200 km^2. La población en esta área es de 1 326 376 habitantes, que representa el 5% del total de la población peruana. El volumen anual de escorrentía superficial es de 10 172 000 m^3, que representa el 0,5 % de los recursos hídricos anuales del Perú. La disponibilidad anual en la cuenca del Titicaca es de 7 669 m^3/hab./año.

Figura 3. Paisaje típico de la costa central

PARA USO RESTRINGIDO
CURSO CONSULTIVO

Figura 4. Vista de un paisaje de la sierra a altitudes medianas

3. Usos del agua en el Perú

El consumo anual de agua en el Perú es aproximadamente de 20 072 millones de metros cúbicos por año (Mm^3/año), de los cuales 80% se emplean en actividades agrícolas, 18% son usados en servicios de agua potable y alcantarillado y usos industriales y 2% es empleado en la industria minera. El uso no consuntivo, que incluye la generación de energía eléctrica, se estima en 11 139 Mm^3/año.

Actividades agrícolas

El potencial de tierras que pueden ser empleadas para actividades agrícolas es de 6 411 000 hectáreas. Sin embargo, sólo 1 729 000 hectáreas están siendo irrigadas. En la costa se riegan 1 080 000 hectáreas, pero sólo 836 000 son explotadas para propósitos comerciales. La sierra peruana y la selva peruana tienen el 18% y el 5% de las tierras agrícolas del Perú, respectivamente. Las principales dificultades para desarrollar la agricultura en las zonas andinas son la topografía accidentada, la escasez de agua y el clima, en particular cuando las áreas se encuentran por encima de los 3 500 msnm. La capa delgada del suelo, que es fácilmente erosionable cuando el suelo ha sido alterado por arado, y el clima muy cálido son las principales causas para impedir el desarrollo agrícola en la selva, particularmente en las partes más bajas. Las eficiencias promedio fluctúan entre 35 y 40%.

Agua para uso doméstico urbano e industrial

Los servicios de agua potable y alcantarillado son proporcionados por 45 empresas proveedoras de servicios (EPS) que han sido autorizadas por SUNASS, la Superintendencia Nacional de Servicios Sanitarios. Estas empresas operan en 114 de las 194 provincias. Las provincias son subdivisiones de las regiones. En Lima Metropolitana, 86,9% de la población tiene acceso a servicios de agua potable y 69,5% está conectado a la red de alcantarillado. El gobierno peruano está construyendo una nueva planta de tratamiento de agua, aguas arriba de la existente, y está expandiendo el servicio a comunidades que no cuentan con el mismo. La meta era proporcionar completa cobertura del servicio de agua para el año 2011, con el fin de cumplir en parte con las Metas del Milenio. En pequeños poblados, donde la población es de menos de 2 000 habitantes, las juntas administradoras cubren en parte los costos del servicio con una contribución mensual.

Figura 5. Paisaje a una altitud a 4 200 m.s.n.m. en la sierra central

Uso industrial

La mayor parte de las actividades industriales se llevan a cabo en Lima y algunas ciudades grandes ubicadas a lo largo de la costa del Perú. El consumo de agua en actividades industriales es de 1 103 Mm^3/año en la cuenca del Pacífico, 92% del uso total industrial. El uso industrial es de 49 Mm^3/año en la vertiente del Atlántico, que representa el 7% del total. La cuenca del lago Titicaca consume 3 Mm^3/año, que es el 1% del consumo anual industrial. Las principales actividades que consumen agua son las siguientes: la industria del cuero, textiles, producción de bebidas, producción de comida, manufactura del papel y refinerías de petróleo.

Uso minero

Perú es el principal productor de plata del mundo con 111,6 millones de onzas de mineral en el año 2006. También es el tercer productor de zinc, con una contribución del 12% de la producción total mundial, y el quinto productor de oro, pues produjo 203 268 kg en el año 2006. También está entre los 10 principales productores de plomo, tungsteno, cadmio, bismuto, telurio, molibdeno y otros metales. Actualmente, las exportaciones mineras constituyen el 45,9% de las exportaciones.

El uso del agua en la industria minera ha crecido a medida que la producción mundial ha crecido, y la demanda de metales se encuentra en niveles sin precedentes. El orden de magnitud del consumo de agua en actividades mineras es de 206,8 Mm^3/año, de los cuales 73% se consume en la cuenca del Pacífico y 26% en la cuenca del Atlántico. El restante 1% se usa en la cuenca del lago Titicaca.

Generación de energía

El potencial de generación de energía está directamente relacionado con la disponibilidad de recursos hídricos y la topografía del área que se ha considerado para desarrollo energético. En un proyecto la persistencia de los caudales y la diferencia de elevación entre el nivel del agua en la cámara de carga y el nivel de agua en la salida son componentes que permiten estimar la potencia bruta disponible. En 1969 se empezó a desarrollar un estudio para evaluar el potencial para la generación de energía hidroeléctrica en el Perú que fue conducida por el Consorcio Lahmeyer–Salzgitter. Este estudio fue auspiciado por la ex República Federal Alemana a través de la Sociedad Alemana de Cooperación (GTZ, por sus siglas en alemán), el Banco

PARA USO RESTRINGIDO

Figura 6. Paisaje de la selva baja, que es una zona muy húmeda

Internacional para la Reconstrucción y el Desarrollo (IBRD) y el gobierno peruano. La evaluación consideró centrales hidroeléctricas que pudieran producir 20 MW o más. No se consideró estudiar lugares en la selva baja debido a la escasez de datos confiables de planos topográficos y de información hidrológica, a las condiciones geológicas desfavorables y a los efectos dañinos para el medio ambiente causados por la inundación de grandes áreas naturales. Se estimó que el potencial teórico para la generación de energía era de 200 000 MW. El estudio fue actualizado en 1979 por el Ministerio de Energía y Minas (MEM). En ambos casos, los informes mencionaron que una de los principales problemas era la escasez de datos. El Cuadro 2 resume el número de centrales hidroeléctricas y su potencial para generación de energía.

Cuadro 2. Distribución de centrales hidroeléctricas por rangos de potencias generadas

Potencia generada	Número de centrales hidroeléctricas
Más de 500 MW	1
Entre 100 y 500 MW	9
Entre 50 y 100 MW	4
Entre 10 y 50 MW	10
Menos de 10 MW	9

Es necesario mencionar que ELECTROPERU (la empresa de generación de electricidad del gobierno peruano) desarrolló estudios preliminares para la generación de energía en centrales hidroeléctricas, particularmente en aquellos lugares que dependían de la energía térmica en mayor proporción. Los lugares de la selva baja, ubicados en la llanura amazónica, usan mayormente energía térmica debido a la falta de información hidrológica en localidades adecuadas y a la falta de una conectividad adecuada. Por ejemplo, el proyecto Napo-Mazán consiste en derivar agua del río Mazán, un tributario del río Amazonas, y derivarlo a una central hidroeléctrica. La energía se genera debido a la diferencia en la elevación entre el río Mazán y el río Amazonas, que es de aproximadamente 6 m. Este proyecto podría suministrar energía a la ciudad de Iquitos, la capital de la Región Loreto, y otras ciudades en la Amazonía. En la actualidad se están desarrollando numerosos proyectos para la generación de energía. Una gran cantidad de empresas han solicitado licencias para el desarrollo de proyectos y, debido a la gran demanda de energía, se espera que se construyan nuevas centrales en el corto y mediano plazo.

Harald Federicksen (1996) señaló que es importante no desperdiciar el tiempo en lograr soluciones reales para resolver los problemas generados por la escasez de agua. Según Federicksen, hay cuatro puntos que se deben tomar en cuenta:

a. El escaso tiempo para tomar medidas preventivas.
b. Las medidas de mitigación limitadas que se encuentran disponibles para mitigar los efectos de la escasez de agua.
c. La competencia por fondos y asignación de recursos.
d. La poca habilidad para mitigar las sequías cuando éstas ocurren.

PARA USO RESTRINGIDO

Este último punto es precisamente el principal problema relacionado con la generación de energía hidroeléctrica. La mayoría de las centrales hidroeléctricas en el Perú son "de paso". Esto significa que se capta agua directamente del río, sin ser almacenada en una cantidad significativa, y es derivada a la central. El agua usada para generación se devuelve al curso de agua (o a otro) aguas abajo. Esto significa que la producción de energía en el Perú es muy vulnerable a las sequías, aunque se han construido nuevas centrales térmicas en los últimos años debido a la alta demanda de energía. Por lo tanto, hay una necesidad inmediata de aumentar la capacidad de generación de energía.

4. Aspectos ambientales y contaminación del agua

Las actividades humanas tienen un impacto en los recursos hídricos superficiales y subsuperficiales. Las actividades agrícolas, construcción de infraestructura, usos industriales, mineros, municipales y pastoreo tienen un impacto en el ambiente.

FORO CONSULTIVO

Las actividades agrícolas contribuyen a la contaminación de los cursos de agua. El uso de pesticidas y fertilizantes en los campos de cultivo causa la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Durante la estación de lluvia, los residuos de fertilizantes y pesticidas son arrastrados, y al mezclarse éstos con la escorrentía superficial, la calidad del agua disminuye a medida que ingresan a los cursos de agua. Por ejemplo, se ha reportado contaminación por agroquímicos en el lago Chinchaycocha, ubicado en los Andes centrales del Perú. En este lago han sido extraídos totorales (juncos locales) como forraje para alimentación de ganado. El ganado también contribuye a la compactación

de los humedales que rodean el lago, lo que destruye el hábitat de las especies nativas. Las actividades mineras asimismo tienen una fuerte influencia en la disminución de fauna nativa en este lago.

Los acuíferos son igualmente vulnerables a la explotación excesiva. La elevación de la napa freática disminuye cuando la tasa de demanda es mayor que la tasa de recarga. En áreas costeras, el abatimiento del acuífero puede causar intrusión salina, como ocurre en el acuífero de La Yarada, cerca de la frontera chileno-peruana.

Las actividades mineras en el Perú preceden a la Conquista Española. Se han encontrado joyería de oro, plata y cobre y artefactos de metal de hasta más de 3 000 años de antigüedad. Sin embargo, las actividades mineras se intensificaron durante la Colonia y la época Republicana. Durante los siglos XIX y XX se han realizado grandes inversiones para la explotación de sitios mineros. Al principio del siglo XX la inversión era principalmente privada, aunque hubo inversión extranjera. En la década de los 60 se creó CENTROMIN PERÚ, la empresa estatal de minería, después que se produjo la expropiación de varios asientos mineros. Aunque la actividad minera —en la que los principales inversionistas son aquéllos que conducen operaciones mineras en países del primer mundo y siguen sus estándares de control de calidad en la producción y en el cuidado del medio ambiente— está muy regulada en la actualidad, los pasivos mineros del pasado han permanecido a lo largo del territorio peruano y es necesario implementar medidas de mitigación para disminuir la contaminación de los cursos de agua. Las actividades mineras no reguladas han dejado sitios mineros sin tratamiento de cierre. Algunos relaves están expuestos al medio ambiente y son erosionados durante la estación húmeda, lo cual rápidamente disminuye la calidad del agua. La Figura 7 muestra un relave abandonado en la margen izquierda del río Santa, en los Andes Centrales del Perú, en la Región Ancash. Otros problemas que existen son las canteras abandonadas y los drenajes ácidos de minas antiguas que se están resolviendo de manera gradual en aquellos sitios donde nuevos propietarios, que están obligados a asumir el pasivo dejado por concesionarios previos, están realizando inversiones.

En el Perú prácticamente no existen plantas de tratamiento de aguas servidas de gran tamaño. Por ejemplo, varios colectores entregan agua proveniente de los desagües de Lima al Océano Pacífico. Las aguas servidas son predominantemente domésticas e industriales. Los volúmenes y porcentajes de aguas servidas tratadas y sin tratar anuales se muestran en el Cuadro 3.

Se puede apreciar que una gran cantidad de agua residual no es tratada. En la mayoría de los casos las aguas servidas son directamente descargadas en los cursos o cuerpos de agua y de esta manera se contamina el ambiente.

Una de las primeras grandes plantas de tratamiento de aguas residuales, PTAR Taboada, se va a construir en el Callao, la ciudad costera contigua a Lima, y tratará una parte de los desagües que provienen de la ciudad capital. Una empresa española ganó la licitación para ejecutar la obra en el año 2009. Se ha culminado el cierre financiero y el 20 de julio de 2010 se han iniciado las obras preliminares. SEDAPAL, la empresa de agua potable y alcantarillado de Lima, construirá otras plantas en los años siguientes de acuerdo con información disponible en su página web (www.sedapal.com.pe, 2011).

De acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud (OPS), 80% de la ocupación de hospitales se debe al consumo de agua contaminada. Debido a la falta de una cultura del agua, la mayoría de las empresas de agua potable de las ciudades y pueblos arrojan las aguas servidas en cuerpos y cursos de agua. Este problema se vuelve particularmente crítico en ciudades como Lima, que tiene 8 millones de habitantes, y Arequipa, que tiene 1 millón de habitantes. Los efluentes de ambas ciudades contaminan los ríos Rímac y Chili, respectivamente, de tal manera que los indicadores de calidad del agua son sobrepasados largamente. La contaminación reduce el volumen de agua de buena calidad y produce un aumento sustancial en el costo de tratamiento para obtener agua potable. En pueblos pequeños los problemas se agudizan porque no existen planes para el tratamiento de aguas residuales. Para cumplir uno de los 8 Objetivos del Milenio y reducir la mortalidad infantil, es necesario disminuir los niveles de contaminación ocasio-

Cuadro 3. Volúmenes totales anuales de aguas servidas con tratamiento y sin tratamiento

Aguas servidas (residuales) producidas por servicios de saneamiento	Volumen por año (m^3/año)	Caudal equivalente (m^3/s)	Tratamiento (%)
Con tratamiento	217 253 807	6,89	29,10
Sin tratamiento	530 027 896	16,81	70,90
Total	**747 281 703**	**23,70**	**100,00**

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 7. Relave abandonado en la margen izquierda del río Santa, en la región Ancash, en los Andes Centrales del Perú

nados por la población y las actividades agrícolas, mineras e industriales. Éste es un tema clave para reducir la pobreza en el país.

5. Agua y sociedad

La sociedad peruana es tan diversa como su geografía. El Perú cuenta con tres idiomas oficiales. El español es un idioma oficial del Perú como lo son el quechua y el aymara, donde son las lenguas predominantes. Se han reconocido 33 lenguas aborígenes (que se hablan mayormente en la selva amazónica) y que son parte del legado cultural de la nación. La visión sobre el tema agua es muy diversa. La escasez de agua dulce en la costa y en la sierra y el aumento del uso de este recurso han llevado a conflictos entre usuarios. El Perú ha creado un sistema para defender los derechos ciudadanos contra los abusos del gobierno o grandes empresas privadas o instituciones llamada la Defensoría del Pueblo (www.defensoria.gob.pe). Esta institución informa todos los meses sobre los conflictos que ocurren en el Perú. La mayoría de los casos está relacionada con la defensa del medio ambiente (51% de los casos en mayo de 2009) y la mayoría de estas denuncias está relacionada con el uso del agua.

En las selvas alta y baja los conflictos surgen debido a la oposición de varios grupos nativos que han sido testigos de los desequilibrios que se producen por actividades humanas no reguladas. Sin embargo, hay lugares que han sido tomados por mineros informales y cuyas actividades no han sido controladas por el gobierno. Los invasores no tienen oposición por parte de los nativos que aceptan los beneficios monetarios de la explotación ilegal del oro y otros minerales. Los daños al medio ambiente son muy severos porque los mineros informales usan mercurio en los procesos de extracción y no lo recolectan después. (El Comercio, abril de 2009).

En la región de Madre de Dios los mineros informales han deforestado 150 000 hectáreas de bosques primarios, lo que afecta además a los humedales cercanos. El Ministro del Ambiente, el doctor Antonio Brack, calificó los daños causados por los mineros informales como "monstruosos". En el año 2009 siete ministerios empezaron a evaluar el daño causado por los mineros. El 19 y 20 de febrero de 2011, en una operación ejecutada por la Marina de Guerra del Perú, se destruyeron 12 dragas que extraían material del lecho del río para después procesarlo y obtener oro. Esto ha causado el rechazo de algunas organizaciones no gubernamentales y regionales, aunque la noticia fue bien recibida por la población en general.

Figura 8. Fotografía del glaciar Yanamarey entre el año 1982 y 2005 (Morales Arnao, 1982, 1997 y 2005)

Hay lugares en el Perú en los que las aguas superficiales y subterráneas están naturalmente contaminadas. Uno de estos lugares se encuentra cerca de las partes más altas de la frontera Perú-Chile. La población, que vivía en pequeñas comunidades rurales, estaba expuesta al agua con altos niveles de arsénico. Rodríguez (2007) propuso soluciones tecnológicas sencillas que pueden ser fácilmente aplicadas por los pobladores de esta área.

6. Eventos extremos: sequías y avenidas en el Perú–Reducción del riesgo de desastres de origen climático

Los grupo de trabajo I al III han propuesto en los informes del año 2007 que la temperatura media del planeta aumentará entre 1.5 y 4ºC durante el siglo XXI (IPCC, 2007). Por lo tanto, se espera que el desastre climático conocido como El Niño sea más severo y más frecuente en las décadas siguientes. El Niño 1982 causó inundaciones extremadamente severas en el noroeste del país y sequía en el Altiplano Peruano-Boliviano, que se encuentra a más de 4 000 msnm. Estos dos efectos del mismo fenómeno causaron pérdidas equivalentes al 6.2% del Producto Bruto Interno (PBI).

Para reducir los efectos de eventos extremos en las zonas urbanas del Perú, se inició en el año 1998 el Programa de Ciudades Sostenibles (PCS) y se enfocó en el primer atributo de una ciudad sostenible: la seguridad. El mejor argumento para convencer al Jefe del Comité Ejecutivo para la Reconstrucción de El Niño (CEREN), que a la vez era el Primer Ministro del Perú, era que los mapas de inundaciones del Niño 1997-98 eran prácticamente una copia al carbón del fenómeno El Niño de 1982-83 en las principales ciudades afectadas por inundaciones, como Tumbes, Piura, Talara, Piura, ubicadas en el noroeste del país.

Una de las funciones de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) es contribuir a la reducción de desastres relacionados con los recursos hídricos. Sin embargo, otras instituciones, como el Centro Nacional para Planeamiento Estratégico del Perú (CEPLAN), también colaboran con esta tarea. Este centro ha nombrado a un especialista en la Oscilación Sur El Niño (ENSO, por sus siglas en inglés) para reducir sus impactos negativos futuros.

Se han observado tendencias negativas en los patrones de precipitación en Chile y en parte de la costa oeste de Sudamérica. El sur del Perú podría verse afectado por la disminución de disponibilidad de agua. Se han observado tendencias positivas en la Amazonía, lo que podría conllevar a inundaciones más frecuentes en las franjas ribereñas.

Los glaciares andinos están desapareciendo debido al aumento de la temperatura del aire y a una tendencia a la disminución de precipitaciones. La Figura 8 (Morales Arnao, 1982, 1997, 2005) muestra la evolución del glaciar Yanamarey en el lapso de 23 años. Este mismo fenómeno se ha observado en todos los glaciares de los Andes peruanos. Por lo tanto, las reservas de agua en forma de hielo y nieve están disminuyendo a un ritmo muy rápido y esto podría afectar adversamente la disponibilidad de agua en el futuro cercano.

7. Marco institucional

La importancia que los políticos, empresarios y la sociedad en general le han dado a los recursos naturales del Perú se refleja en su escudo que muestra una vicuña, el árbol de la quina y una cornucopia que contiene monedas de oro, los cuales representan a los reinos animal, vegetal y mineral, respectivamente. Esto también refleja la importancia que han tenido los recursos naturales en la vida económica del Perú. En efecto, el Perú ha sido un proveedor de materias primas de países industrializados durante aproximadamente 200 años.

UNA URGE ESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

El Perú es un país unitario. Su constitución establece que los recursos naturales, renovables o no, son propiedad del Estado y su explotación es otorgada en concesión al sector privado, si es que todas las condiciones y requisitos se cumplen (Constitución del Perú, 1993). Una gran cantidad de los ingresos y las exportaciones del Perú se basa en la explotación de sus recursos naturales, en particular de la actividad minera, pesca a gran escala y otras.

La agricultura y la industria alimenticia se están volviendo particularmente importantes también. La falta de planificación y control en actividades económicas han causado desastres ambientales que han causado la contaminación de suelos y agua de muchas cuencas. La contaminación del aire también ocurre como consecuencia del acarreo de contaminantes. Los evidentes daños causados al medio ambiente y la necesidad de contar con un ente que se encargara del cuidado y la preservación del mismo llevaron a la creación del Ministerio de Ambiente en el año 2008. A continuación se mencionan las instituciones que en los últimos años tuvieron a su cargo el cuidado de los recursos hídricos en el Perú.

Instituto Nacional de Recursos Naturales

Antes de la creación de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) estuvo a cargo de realizar y promover las acciones necesarias para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables, la conservación de la diversidad biológica silvestre y la protección del medio ambiente rural.

Este instituto era parte del Ministerio de Agricultura y el Superintendente de Recursos Hídricos estaba a cargo de planificar las asignaciones de agua y coordinar el uso de este recurso por los usuarios. El INRENA también ha conducido investigaciones hidrológicas para determinar la disponibilidad de los recursos hídricos por cuenca. Varios funcionarios del INRENA participaron en la publicación de un documento no oficial llamado "Estrategia Nacional para la Gestión de los Recursos Hídricos Continentales del Perú" en el que se incluyeron los puntos de vista de siete ministerios: a) Agricultura, b) Defensa, c) Economía y Finanzas, d) Energía y Minas, e) Vivienda, Construcción y Saneamiento, f) Salud y g) Producción.

Debido al crecimiento poblacional y a nuevas actividades económicas, el uso del agua ha aumentado en años recientes. Otros problemas, como el aumento de la contaminación del agua sumado a la menor disponibilidad y a la competencia por el uso del agua, han causado cada vez mayores conflictos entre los usuarios. Por este motivo, los funcionarios del gobierno y la sociedad en su conjunto exigieron la creación de una Autoridad Nacional del Agua que pudiera administrar los recursos hídricos desde un punto de vista integral. Esta nueva institución se creó en marzo de 2008 por Decreto Legislativo 997. El Sistema Nacional de Recursos Hídricos fue creado poco tiempo después.

Autoridad Nacional del Agua

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) es la institución gubernamental encargada de liderar las acciones necesarias para asegurar el uso sostenible del agua por todos los sectores, cuenca por cuenca, dentro de un marco de manejo integrado de los recursos naturales. Se establecen alianzas estratégicas con autoridades regionales y locales, así como con los actores sociales y económicos que están involucrados en la problemática del agua.

La principal función de la ANA es producir las políticas y la estrategia nacional de los recursos hídricos y formalizar los derechos del agua; promover la distribución equitativa del agua, y actuar como facilitadora para la solución de conflictos entre los usuarios. La ANA (2009) recientemente publicó el Libro "Política y Estrategia Nacional de los Recursos Hídricos del Perú" que proporciona un análisis general de la situación de los recursos hídricos y propone cursos de acción para resolver los problemas generados de la distribución desigual de los recursos hídricos, su escasez y usos múltiples. Este documento se basó en Anónimo (2004), que fue motivado e impulsado por funcionarios del INRENA (Figura 9).

Sistema Nacional de Recursos Hídricos

El Sistema Nacional de Recursos Hídricos (SNRH) fue creado por Decreto Legislativo 1081 en septiembre de 2008. Su objetivo principal es asegurarse que todos los sectores del gobierno nacional, regional y local, que tiene cualquier tipo de autoridad sobre asuntos del agua y los usuarios que pueden ser individuos, asociaciones o empresas, trabajen en forma coordinada para asegurar que los recursos hídricos sean usados en una forma sostenible y efectiva considerando los criterios de cantidad, calidad y oportunidad de las intervenciones. Las siguientes instituciones, agencias y participantes privados son parte del SNRH:

a. ANA
b. Ministerio del Ambiente
c. Ministerio de Agricultura
d. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
e. Ministerio de Salud
f. Ministerio de la Producción

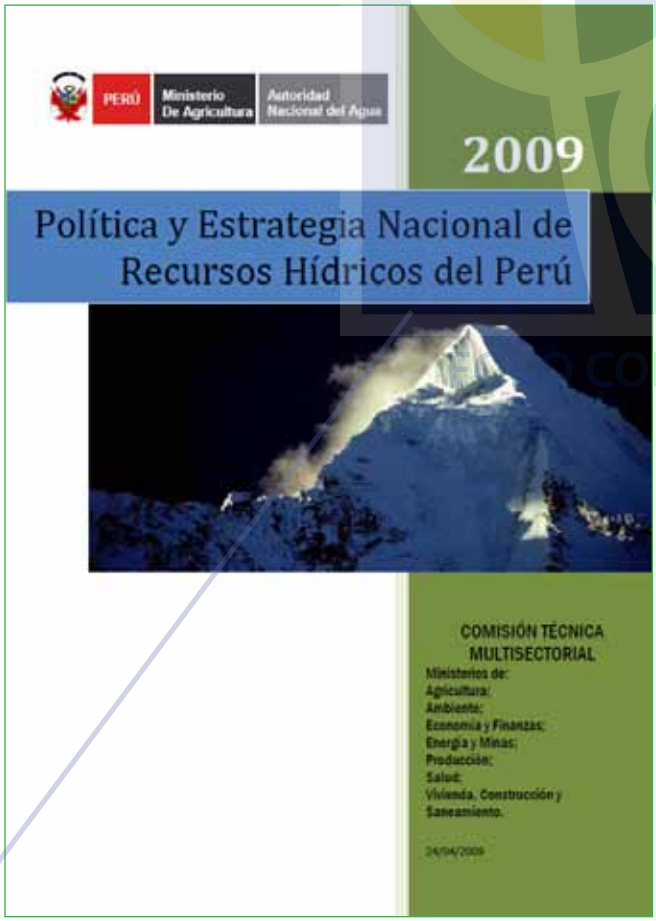
PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

g. Ministerio de Energía y Minas
h. Agencias públicas que están relacionadas con el manejo del agua a niveles locales y regionales
i. Consejos de Cuencas
j. Operadores públicos y privados
k. Juntas de Usuarios

Ley de Recursos Hídricos-Ley Nº 29338 de marzo de 2009

La nueva Ley de Recursos Hídricos del Perú ha sido publicada en marzo de 2009. Esta nueva ley establece que la ANA es la autoridad técnica y normativa que regula el uso del agua en el Perú. El Tribunal Nacional de Resolución de Controversias Hídricas es parte de la ANA, sus sentencias son finales y sólo pueden ser apeladas a través de procedimientos judiciales. Se han establecido también los Consejos de Cuenca. Estos organismos participan en la planificación y coordinación de los usos del agua. Pueden cubrir una o dos regiones, en cuyo caso cada región propondrá los suficientes miembros para que todos los sectores de la sociedad estén equitativamente representados por esta autoridad.

Figura 9. Documento publicado por la ANA (2009)



Las juntas de usuarios también están reguladas. Ellas operan, administran y mantienen la infraestructura de distribución del agua; deciden cómo va a ser distribuida, y cobran por el uso del agua.

Los derechos de las comunidades campesinas e indígenas también han sido reconocidos por esta ley. El agua puede ser usada de acuerdo a sus necesidades, costumbres y tradiciones. Estas organizaciones tienen los mismos derechos y obligaciones que las juntas de usuarios.

Las prioridades en el uso del agua están claramente definidas. La primera prioridad la tiene el uso primario, es decir, el consumo directo de seres humanos cuando el agua es extraída directamente de la fuente. El uso poblacional, que se refiere al abastecimiento de agua y saneamiento de centros poblados, tiene la segunda prioridad. La tercera prioridad es el uso productivo, que es el relacionado con actividades económicas como la agricultura, ganadería, minería, industrias manufactureras, etc.

8. Esfuerzos recientes en investigación en recursos hídricos

En el año 2005 se creó el Consorcio Universitario de Investigación en Recursos Hídricos (CUI-RH). Este consorcio estuvo compuesto por ocho universidades calificadas por el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación del Perú (CONCYTEC). Esta institución es un organismo del gobierno que promueve las investigaciones científicas y tecnológicas del país. Las siguientes fueron las universidades calificadas: Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Universidad Nacional Agraria-La Molina (UNALM), Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH), Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), Universidad Nacional de Trujillo (UNT), Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), Universidad Nacional San Agustín de Arequipa (UNSAA) y Universidad Nacional San Antonio Abad del Cuzco (UNSAAC). Estas universidades fueron calificadas de acuerdo con su producción en investigación. El CUI-RH organizó tres encuentros de tal manera que las universidades que pertenecían al consorcio pudieran presentar sus proyectos presentes y futuros. Otras organizaciones, como organizaciones regionales y nacionales, participaron y presentaron sus contribuciones, así como los problemas relacionados con el agua que se presentan en sus jurisdicciones.

PARA USO RESTRINGIDO
NO CONSULTIVO

CONCYTEC también ha actuado como un facilitador para producir ProHidro, el Plan Nacional para Investigación en Ciencia, Tecnología e Innovación en Recursos Hídricos. Los miembros de ProHidro son docentes e investigadores universitarios, administradores públicos y privados de los recursos hídricos, así como funcionarios en el ámbito local, regional y nacional.

Los miembros de ProHidro identificaron cinco líneas de investigación:

a. Disponibilidad del agua
b. Manejo integrado de los recursos hídricos
c. Abastecimiento de agua y alcantarillado
d. Calidad del agua
e. Manejo de riesgos

PARA USO RESTRINGIDO

Las líneas de investigación han sido divididas en áreas de investigación y, finalmente, también se han propuesto proyectos de investigación. La principal dificultad para poder llevar a cabo estos proyectos reside en la falta de datos hidrológicos y meteorológicos confiables. Algunos ejemplos de proyectos de investigación que están siendo llevados a cabo por académicos peruanos se presentan en la siguiente sección.

Desde el año 2009 las universidades UNALM, UNI y UNMSM han organizado tres Congresos Nacionales del Agua en los que se ha tratado la problemática del agua en forma multidisciplinaria. La presidencia y la sede de estos eventos recayeron en cada una de estas universidades en el orden mencionado. En estos congresos se han presentado temas relacionados con la hidrología, la hidráulica, la gestión de los recursos hídricos, la problemática social y el medio ambiente, así como la institucionalidad. Han participado docentes de las universidades del país y del extranjero, funcionarios públicos que desarrollan investigaciones, miembros de varias ONG, consultores privados, operadores de servicios de agua potable y alcantarillado, juntas de usuarios y empresas del sector privado.

FORO CONSULTIVO

Investigaciones en disponibilidad del agua

El principal objetivo de esta área es evaluar la disponibilidad presente y futura de los recursos hídricos en las cuencas. Se están llevando a cabo varios proyectos de investigación en esta línea.

La UNALM está estudiando la disponibilidad de los recursos hídricos en la Cordillera Blanca, donde el aumento continuo de la temperatura ha ocasionado el retroceso de los glaciares. Asimismo, se están estudiando las relaciones precipitación-escorrentía en la Amazonía peruana. Ambos proyectos están siendo financiados en parte por el gobierno francés.

La UNI se encuentra estudiando las relaciones precipitación-escorrentía en varias zonas ecológicas del Perú. El área del Perú y la diversidad de climas hacen que sea necesario estudiar los recursos hídricos en diferentes condiciones geográficas.

Hay una escasez de registros de precipitación y escorrentía en tiempo real. Por lo tanto, las estimaciones de caudales se tienen que desarrollar a partir de información generada en cuencas que tienen información disponible o de mejor calidad que aquéllas en las que se quiere desarrollar algún proyecto. Dos estudiantes de posgrado han concluido recientemente sus tesis de maestría. En la primera de ellas se demostró que es posible predecir descargas diarias basadas en precipitaciones diarias en una cuenca con datos limitados usando modelos conceptuales como el modelo tanque y el NAM.

La UNMSM está llevando a cabo una investigación en recursos hídricos subterráneos en zonas costeras. El objetivo es estudiar soluciones potenciales para impedir la intrusión de agua salina en los pozos cercanos a la línea costera.

Investigaciones en calidad del agua

El propósito de esta área de investigación es desarrollar conocimientos para mejorar la capacidad de monitorear parámetros de calidad del agua, reducir la contaminación en el agua y preservar la calidad del agua.

Un equipo liderado por el doctor Guy Carvajal ha estado trabajando en el desarrollo de metodologías para lograr la reducción de los niveles de contaminación de arsénico, cadmio y plomo en aguas contaminadas usando filtros de arena. Se emplea una mezcla de magnesio, arena y esporas marinas. Las esporas marinas oxidan el magnesio, el cual crea una barrera que atrapa los metales pesados. Los resultados muestran que después de dos horas de filtrado, la concentración de los metales pesados citados disminuye por debajo de los límites permisibles por la Organización Mundial de la Salud (OMS). El doctor Carvajal es un microbiólogo genetista que trabaja como docente en la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la UNI.

El doctor Juan Rodríguez, de la Facultad de Ciencias de la UNI, ha desarrollado un método para remover el arsénico

del agua. El agua superficial y subterránea es contaminada por los suelos que tienen altos contenidos de arsénico en las áreas rurales del sur del Perú, cerca de la frontera con Chile. El agua contaminada es vaciada en una botella de plástico en la que hay un alambre de acero. Se expone al sol después de agregarle gotas de limón al agua. Esto induce la precipitación del arsénico. El arsénico es removido del fondo de la botella y correctamente desechado.

Investigaciones en asuntos sociales del agua

La PUCP ha desarrollado numerosas investigaciones en el campo de los recursos hídricos relacionados con la gestión del agua en el ámbito regional y local. Entre otras investigaciones, han analizado casos de estudio sobre la contaminación en el valle del río Huatanay (Cusco) y conflictos generados por usuarios en microcuencas.

9. Conclusiones

a. El Perú tiene una distribución desigual de recursos hídricos y de población. Ha habido una fuerte tendencia a poblar la costa, que es un área muy seca. La disponibilidad hídrica por habitante es una de las más bajas del mundo.
b. La mayoría del uso consuntivo es agrícola, seguido del uso poblacional y de actividades industriales y minería. El consumo de esta última actividad está creciendo debido a una mayor actividad minera.
c. La contaminación de cuerpos y cursos de agua es un problema que debe ser resuelto. Los pasivos dejados por actividades humanas pasadas, efluentes de la red de alcantarillado no tratados y actividades económicas no reguladas están dañando seriamente los recursos hídricos del Perú.
d. Los eventos extremos relacionados con el agua afectan la vida y la economía del Perú. Por ejemplo, en el fenómeno Oscilación Sur El Niño de 1983 ocurrieron inundaciones en la costa norte del Perú y en el sureste ocurrieron sequías muy severas que causaron la muerte de ganado y el empobrecimiento de los campesinos.
e. Los glaciares del Perú están desapareciendo en los Andes peruanos. Esto puede afectar significativamente la disponibilidad del agua en el futuro cercano.
f. Las leyes y regulaciones relacionadas con el agua han cambiado rápidamente en los últimos tres años para resolver la problemática del manejo del agua en forma integral. El Ministerio del Ambiente y la Autoridad Nacional del Agua (ANA) fueron creados en 2008. La Ley de Recursos Hídricos y el Sistema Nacional de Recursos Hídricos fueron creados en 2009.
g. La nueva Ley de Recursos Hídricos confiere el poder a la ANA para regular el uso del agua nacional. También proporciona un marco en el cual las autoridades nacionales, regionales y locales y los usuarios pueden usar el agua en una forma sostenible, efectiva y eficiente. Se han establecido las funciones de las juntas de usuarios. Asimismo los usos tradicionales y ancestrales de comunidades campesinas y grupos étnicos minoritarios han sido reconocidos.
h. Se han hecho esfuerzos de investigación en el Perú en el área de recursos hídricos. La mayoría de ellos se ha concentrado en algunas universidades de mayor tamaño. Las principales áreas de investigación son disponibilidad del agua y calidad del agua. La principal dificultad para llevar a cabo investigaciones en disponibilidad del agua es la falta de datos confiables.

10. Reconocimientos

El autor quisiera expresar su agradecimiento a la doctora Blanca Jiménez Cisneros por su invitación a escribir este artículo y la guía que nos proporcionó para desarrollarla. La invitación del doctor Roger Guerra-García, de la Academia de Ciencias del Perú, a participar en los encuentros de puntos focales también se agradece. El autor desea expresar su gratitud a la doctora Katherine Vammen y a la doctora Natalia Andricioli Periotto por invitarlo a participar en el encuentro de IANAS en Nicaragua en el año 2009. Asimismo, se agradece la invitación de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Argentina en la persona de su presidente, el doctor Eduardo Charreau, a participar en la reunión de IANAS en el año 2010. Parte de este artículo ha tomado datos e información proporcionados en Anónimo (2004) y ANA (2009). Asimismo se han recogido ideas expresadas por sus autores en varios eventos. Algunos de éstos fueron facilitados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología del Perú (CONCYTEC). El ingeniero Marco Salazar actuó como facilitador en varios de ellos. Se agradece igualmente el aporte de la doctora Nicole Bernex que proporcionó material bibliográfico al autor de este artículo. El profesor Julio Kuroiwa H. aportó ideas para este trabajo y revisó parcialmente este artículo.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

11. Referencias

1. ANA (2009). Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos del Perú. Autoridad Nacional del Agua. Lima, Perú.
2. ANA (Autoridad Nacional del Agua): http://www.ana.gob.pe/
3. Anónimo (2004). Estrategia Nacional para la Gestión de los Recursos Hídricos Continentales del Perú. Documento no oficial. Ministerios de Agricultura; Defensa; Economía y Finanzas; Energía y Minas; Vivienda, Construcción y Saneamiento; Salud; Producción.
4. Frederiksen, Harald (1996). Water Crisis in Developing World: Misconceptions about Solutions. Journal of Water Resources Planning and Management. Vol. 122. Nº 2. American Society of Civil Engineers.
5. INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales): http://www.inrena.gob.pe/
6. Intergovernmental Panel on Climate Change (2008). Climate Change and Water. IPCC Technical Paper VI.
7. Kuroiwa, Julio y Romero, Fernando (2008). *Potencial Hidroeléctrico y Energías Renovables en el Perú*. Capítulo del libro Seguridad Energética en el Perú. Consejo Departamental de Lima. Colegio de Ingenieros del Perú.
8. MEM (1968, 1979). Evaluación del Potencial Hidroeléctrico Nacional. Ministerio de Energía y Minas. Lima, Perú.
9. MEM. Revista *En Cifras*. agosto de 2008. Ministerio de Energía y Minas. Lima, Perú.
10. MEM. Revista *En Cifras*. diciembre de 2007. Ministerio de Energía y Minas. Lima, Perú.
11. MEM. Revista *En Cifras*. diciembre de 2006. Ministerio de Energía y Minas. Lima, Perú.
12. Rodríguez, Juan (2007). Talk on Reduction of Arsenic in Southern Peru. University Consortium–Water Resources Research. National Hydraulics Laboratory.
13. SEDAPAL (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima): http://www.sedapal.com.pe/obras/proyobras.php

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

El Salto Jimenoa, Jarabacoa, República Dominicana
Fotografía de Valery Danilov (http://www.panoramio.com/photo/16160592)

USO RESTRINGIDO
FORO CONSTITUTIVO

Agua potable y saneamiento en la República Dominicana

R. Osiris de León
Academia de Ciencias de la República Dominicana

USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

1. Introducción

Desde la antigüedad hasta nuestros días, los seres humanos se han emplazado a orillas de los principales ríos, fruto de que el agua es absolutamente indispensable para la vida, y no hay forma alguna de poder vivir sin esa molécula que al unir dos átomos de hidrógeno con un átomo de oxígeno también une a los individuos que comparten un mismo espacio vecino a una corriente fluvial.

Hace poco más de 5,000 años, las dinastías egipcias comenzaron a crecer y florecer exclusivamente a orillas del caudaloso río Nilo, el cual vio gobernar a decenas de faraones que emplazaron sus palacios, sus templos, sus monumentos y hasta sus tumbas en las vecindades del río Nilo, pues a veces sólo quien vive en el desierto le da el verdadero valor al agua como fuente de vida.

Durante el siglo pasado, la población mundial se triplicó mientras el consumo de agua se sextuplicó. Se estima que para el año 2025 unos 460 millones de personas vivirán en países con problemas de agua porque los 6,000 millones de habitantes del planeta hoy utilizan el 54% del agua dulce disponible en ríos, lagos y acuíferos subterráneos, y aunque el 70% del planeta está cubierto de agua, de ese volumen apenas el 3% es agua dulce, con la limitante de que las dos terceras partes del agua dulce están congeladas en los casquetes polares, por lo que solamente queda disponible para el consumo el 1% del total. Mientras, la población crece y crece y la contaminación del agua también crece y crece.

Sin embargo, el acelerado crecimiento de la población y las limitaciones económicas de las grandes mayorías motiva que cientos de miles de personas vivan a orillas de ríos, arroyos y cañadas sin adecuados servicios de agua potable y sin servicios de alcantarillados sanitarios, lo que provoca una creciente contaminación de las aguas superficiales que convierte a ríos, arroyos y cañadas en verdaderas cloacas urbanas que hace que los pueblos dispongan cada día de menos cantidad de agua potable. Lo anterior implica altos costos de tratamiento y altos precios de comercialización que en el futuro podrían convertir al agua potable en un bien sólo disponible al alcance de los ricos.

La falta de alcantarillados sanitarios ha llevado a ciudades como Santo Domingo a disponer las aguas de los inodoros a través de pozos filtrantes que descargan las heces fecales en las mismas aguas subterráneas que captamos a través de pozos tubulares, mientras la gente pobre, que vive a orillas de ríos, arroyos y cañadas y que generalmente defeca a orillas de los ríos por no tener letrinas, contamina las aguas superficiales con bacterias (*Vibrio cólera, Escherichia coli, Salmonella*) y de esa forma se transmiten las enfermedades como el cólera, la salmonelosis y la amebiasis, al extremo de que hoy la República Dominicana está en alerta roja por la presencia del cólera en los principales ríos del país.

De igual modo, la lucha social y ambiental nacional en contra de la instalación de una operación minera cementera que contaminaría las limpias y voluminosas aguas subterráneas de la región hidrogeológica de Los Haitises —lucha en la cual el pueblo venció al gobierno— evidenció que República Dominicana comienza a crear conciencia sobre la necesaria protección de la calidad del agua, pero hace falta conciencia gubernamental para administrar adecuadamente las aguas residuales, las basuras y el crecimiento urbano a orillas de ríos, arroyos, cañadas, lagos y lagunas, y conciencia empresarial para frenar la depredación y la contaminación.

2. Aguas subterráneas de la planicie costera oriental

Al evaluar las aguas dulces vemos que el 68.7% se encuentra congelada en glaciares y casquetes polares y no está disponible; el 0.26% está en los lagos; el 0.006% está en los ríos; el 0.043% está en la atmósfera y en la biomasa, y un importantísimo 30.10% está en los acuíferos subterráneos. Es decir, que del total de aguas dulces disponibles, el 96% son aguas subterráneas, las cuales, en las últimas décadas, han sido sobreexplotadas y severamente contaminadas, lo que ha creado incertidumbre sobre el futuro del agua.

Es conocido que la inmensa mayoría de países depende en gran medida de la explotación de las aguas subterráneas, las que han sido sobreexplotadas por el crecimiento habitacional, por la agricultura, por el turismo y por la industria en general, sobreexplotación que ha producido un acelerado abatimiento de los niveles freáticos y un extraordinario avance de la intrusión salina en las zonas costeras, principalmente en las zonas turísticas.

Ése es el caso de la Planicie Costera Oriental, el principal acuífero existente en la República Dominicana, donde gracias al proceso de drenaje vertical que se da en las calizas arrecifales cavernosas que integran esta extensa planicie que corre desde Santo Domingo hasta Cabo Engaño, hay una recarga neta del orden de los 1,100 millones de metros cúbicos (Mm^3) de agua anualmente.

En la zona de Boca Chica y La Caleta, los niveles estáticos están muy próximos al nivel medio del mar y pocas veces están por encima de la cota 1 msnm, lo que explica las importantes y extensas cuñas de intrusión salina existentes en toda la zona, donde el gradiente hidráulico en muchos tramos es inferior al 0.1%.

Dentro de estas calizas, las transmisibilidades son muy variables, pues en algunos casos son superiores a los 8,000 m^2/día, con coeficientes de almacenamiento variables entre 0.002 y 0.15.

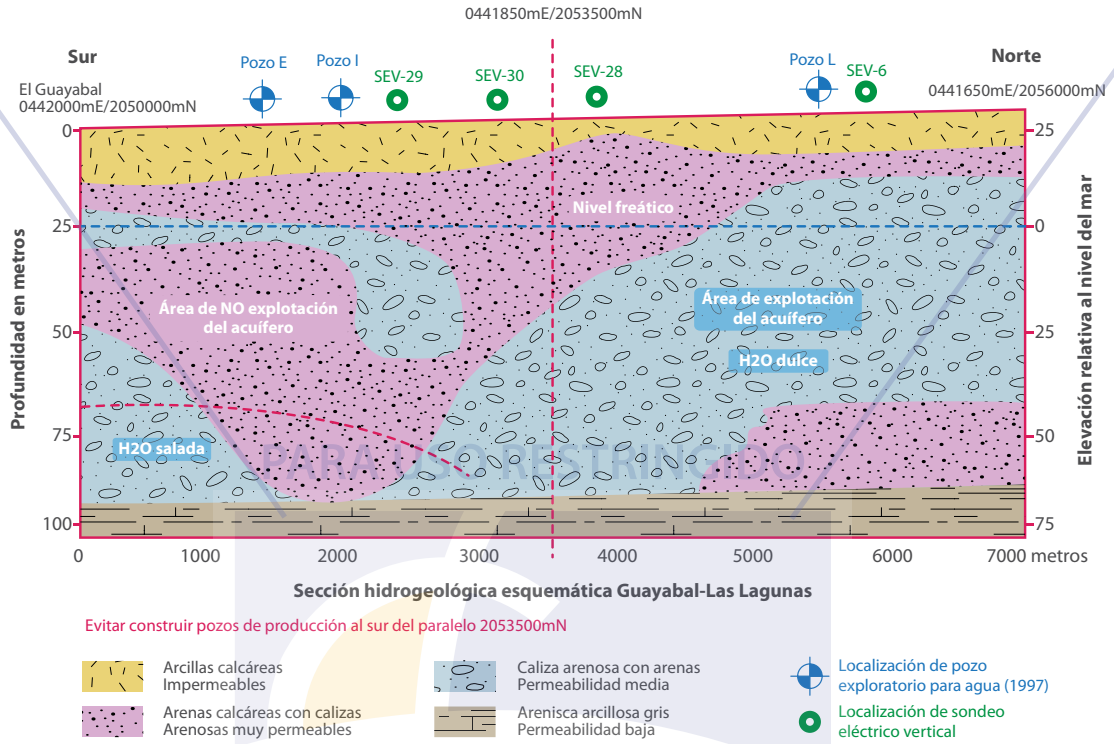
Generalmente los abatimientos del nivel freático son mínimos para grandes volúmenes de extracción de agua, lo que evidencia el gran potencial del acuífero, aunque la explotación de este acuífero se ve limitada por el alto riesgo de intrusión salina antes referido.

Un estudio hidrogeológico, realizado hace varios años por Geofitec, S. A. y que cubría el área noreste de Boca Chica, concluía que:

a. El acuífero Brujelas-Casuí, localizado al noreste de Boca Chica, está cubierto por un horizonte superior de naturaleza arcillosa el cual varía entre 1 y 48 m de espesor, con un espesor promedio cercano a los 13 m (Figura 1).
b. Esta cobertura arcillosa impide una recarga directa al acuífero, lo que indica que toda la recarga del acuífero proviene de las zonas norte, noreste y noroeste, es decir, de la zona de Los Haitises.
c. El nivel freático de la zona noreste de Boca Chica

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 1. Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo. Estudio hidrogeológico del acuífero Brujelas-Casuí.



Preparado para Harsa-Sanhiplan, por Geofitec, S.A., geofísica R. Osiris de León, H. Adames y N. Díaz, agosto de 2001

está próximo a los 24 metros de profundidad, por lo que actualmente el nivel estático fluctúa entre los 0.5 y 1.5 msnm.

d. Por debajo del nivel freático, la estratigrafía está constituida mayormente por arenas calcáreas, clastos calizos, calizas a veces arenosas y, en muy reducida proporción, materiales arcillosos impermeables, y se aprecia que los materiales arenosos están en mayor proporción, lo que favorece ampliamente la permeabilidad y la transmisibilidad del acuífero.

3. Calidad de las aguas subterráneas de la planicie costera

Intrusión salina por sobreexplotación del acuífero

Lo más preocupante en el acuífero de la Planicie Costera Oriental es la sobreexplotación de las aguas subterráneas costeras, principalmente en Boca Chica y en Bávaro. Al noreste de Boca Chica la intrusión salina, que ha avanzado 15 km tierra adentro, ha inutilizado las aguas subterráneas de esa extensa franja costera. Y en el polo turístico de Bávaro la intrusión salina por exceso de bombeo ha avanzado más de 3 km, lo que pone en peligro tanto el futuro abastecimiento de agua potable a este importante polo turístico regional como la propia expansión del polo. Hoy día se extrae más agua subterránea que la recarga neta recibida por el acuífero, lo cual constituye la causa de la intrusión salina que impone una limitante para el abastecimiento de agua subterránea a los futuros proyectos turísticos de la zona. La Figura 2 muestra en punteado las zonas de intrusión salina.

En el Cuadro 1 se muestran los resultados de estudios recientes realizados por nosotros en Boca Chica.

Las aguas muestreadas en los sondeos indican que los niveles de cloruros están por debajo de los estándares internacionales, es decir, por debajo de 250 ppm, lo que indica claramente que en esta área no se ha producido el efecto de intrusión salina que caracteriza la zona noreste de Boca Chica donde hay exagerados niveles de cloruros registrados a profundidades del orden de los 65 y 70 m en los pozos, y en donde los valores llegaron a alcanzar 8,000 y 9,500 ppm de cloruros totales.

El valor del potencial de hidrógeno (pH) está dentro de lo normal para aguas subterráneas almacenadas en los poros de las rocas calizas, ya que varía entre 8.1 y 8.5 mientras

FORO CONSULTIVO

Figura 2. Mapa hidrogeológico simplificado

Fuente: Según Acuater, 2000

PARA USO RESTRINGIDO

que la demanda biológica de oxígeno varía entre 5 y 21, lo que sugiere algún bajo nivel de contaminación orgánica.

4. El conflicto sociedad-gobierno por la protección del agua de los Haitises

Desde el 15 de abril de 2009, cuando fuimos consultados respecto a la pertinencia o no de la instalación de una planta de cemento Portland en la región hidrogeológica de Los Haitises, dijimos públicamente que de acuerdo con los estudios hidrogeológicos que habíamos desarrollado para el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI) en el período 1981-1983, dentro del Plan Nacional de Investigación, Aprovechamiento y Control de las Aguas Subterráneas (PLANIACAS), la región de los Haitises no admite ningún tipo de industria y menos una cementera.

En múltiples conferencias, entrevistas y artículos que escribimos y publicamos en el año 2009, dijimos que la región cárstica de Los Haitises (Figura 3), con una extensión superficial de unos 1,617 km², constituye uno de los ecosistemas de paisajes geomorfológicos de domos calizos y sumideros de aguas superficiales más importantes del país y del mundo, donde las lluvias anuales promedian cerca de 1,700 mm/m², y que esas aguas se infiltran rápidamente gracias a la alta permeabilidad de las rocas calizas y al extenso sistema de cavernas que se intercomunican subterráneamente.

FORO CONSULTIVO

Figura 3. Vista aérea de la región cárstica de Los Haitises

Dijimos, y escribimos en la prensa, que por sus grandes reservas de aguas subterráneas no contaminadas el ecosistema cárstico de Los Haitises representa la principal alternativa para el futuro suministro de agua potable para unos 5 millones de habitantes de la ciudad de Santo Domingo y toda la región este del país, y que cualquier actividad industrial que se desarrollare allí, especialmente una cementera que explotaría la roca caliza mediante el uso de explosivos elaborados con base en nitrato de amonio y fuel oil, contaminaría rápidamente las aguas subterráneas, y que eso había que evitarlo.

Manifestamos públicamente, una y otra vez, que por tal motivo la cementera Estrella autorizada por el gobierno y por el Ministro de Medio Ambiente debía ser emplazada en otro lugar, alejado de Los Haitises, porque en la República Dominicana hay miles de lugares donde se puede instalar

una cementera sin degradar la calidad de las aguas subterráneas, mientras una encuesta Gallup reflejaba que el 85% de la población rechazaba la instalación de esa cementera.

Para detener la instalación de la cementera interpusimos un Recurso de Amparo ante el Tribunal Contencioso, Tributario y Administrativo, el cual fue tan contundente en su estructura analítica, que la juez Sarah Henríquez Marín falló a nuestro favor ordenando detener los trabajos de instalación de esa cementera, lo que obligó al Presidente de la República, Leonel Fernández, a solicitar la opinión técnica del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Ante tan delicado encargo, el PNUD se auxilió del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y de más de una decena de especialistas internacionales, quienes luego de escuchar a todas las partes que opinaban al respecto, incluida la Academia de Ciencias, y de estudiar la realidad hidrogeológica de la zona concluyeron, en noviembre de 2009, que el proyecto de la cementera en Los Haitises "NO ERA VIABLE", lo cual constituyó un rotundo triunfo de una sociedad que se enfrentó al gobierno para proteger la calidad de sus aguas subterráneas y la gente salió a las calles en todo el país a celebrar el rechazo de la cementera.

Un año después del informe del PNUD que rechazó la cementera en Los Haitises, el Director Ejecutivo del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI), ingeniero Frank Rodríguez, dijo públicamente que el gobierno había realizado una nueva investigación hidrogeológica en la región de Los Haitises, mediante la utilización de trazadores isotópicos radiactivos, la cual fue realizada con la asistencia técnica y financiera de la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA), un organismo de las Naciones Unidas con sede en Ginebra, Suiza, y en coordinación con la Comisión Nacional de Energía.

Frank Rodríguez dijo que "La región de Los Haitises tiene un suelo compuesto principalmente por roca caliza de alta permeabilidad, que ocasiona que las aguas de lluvia se infiltren casi en su totalidad, impidiendo que las mismas circulen en fuentes superficiales, por lo que para la obtención del recurso se tiene que recurrir a la extracción de aguas subterráneas". Tal y como habíamos dicho en el año 2009.

También dijo que "El principal hallazgo obtenido hasta ahora ha sido que en esa zona cualquier sustancia contaminante se transmite rápidamente, afectando los cuerpos de agua interconectados, ya que la velocidad de transmisión es de apenas siete horas, lo que pone en evidencia la alta vulnerabilidad del agua localizada en el subsuelo". Similar a lo que habíamos dicho en el año 2009.

Cuadro 1. Estudios realizados en Boca Chica

Parámetros	Muestra M1	Muestra M2
Alcalinidad (mg/L como C_aCO_3)	260.00	120.00
Cinc (mg/L)	0.10	0.03
Cloruros (mg/L)	210.00	205.00
Coliformes totales (CFU/100 Ml)	10.00	6.00
Color (U Pt.Co)	45.00	4.00
Cromo hexavalente (mg/L Cr^{+6})	ND	ND
DBO 5 (mg/l DBO 5)	21.00	5.00
DQO (mg/L)	78.00	13.00
Dureza total (mg/L como C_aCO_3)	425.00	240.00
Fosfatos (ppm)	0.01	ND
Hierro (mg/L)	0.20	0.10
Nitratos (ppm)	0.01	0.02
Nitritos (ppm)	ND	ND
Nitrógeno amoniacal (ppm)	0.02	ND
pH	8.50	8.10
Sólidos suspendidos (mg/L)	825.00	334.00
Sulfatos (mg/L)	0.03	0.02
Total de sólidos disueltos (mg/L)	**402.50**	**390.50**

Pero lo más importante que ha dicho el Director del INDRHI es que "Esos resultados nos permiten afirmar que las aguas residuales por actividades agrícolas o de ganadería deben ser controladas y evitarse las actividades de tipo industrial, que acarrearían serios problemas a este singular ecosistema. Cualquier tipo de intervención o explotación en esta zona tendría consecuencias muy negativas sobre la calidad de las aguas, que se extenderían a las cuencas de los ríos en la Planicie Costera Oriental, la parte baja del río Yuna y parte de la cuenca del río Ozama". Similar a lo que habíamos dicho en el año 2009.

5. Contaminación orgánica de las aguas superficiales y subterráneas

En la ciudad de Santo Domingo se puede ver que cada vez que se construye una torre, un multifamiliar, una vivienda sencilla, una urbanización o una industria, nadie se preocupa por la construcción de un alcantarillado sanitario que recoja las aguas servidas y las lleve hasta una planta

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 4. Contaminación de las aguas por basuras y lixiviados

de tratamiento, sino que simplemente se construyen dos pozos, uno vecino del otro, y se utiliza el primero para descargar las aguas cargadas de heces fecales de los sanitarios hasta las aguas subterráneas, y el segundo para extraer las mismas aguas subterráneas que acabamos de contaminar con nuestras aguas negras, y nadie dice nada ni hace nada frente a esta gravísima contaminación de nuestro recurso natural más vital.

Sectores residenciales tan ricos como Naco, Piantini, Evaristo Morales, La Julia, Bella Vista, Serallés y Los Cacicazgos, por sólo citar algunos ejemplos, no disponen de alcantarillado sanitario, y sus aguas negras, cargadas de coliformes fecales, son descargadas diariamente al subsuelo a través de pozos filtrantes que drenan hacia el mismo acuífero desde donde extraen, a través de pozos, las aguas que consumen. Eso quiere decir que los ricos de la ciudad de Santo Domingo se cepillan y se bañan con las mismas aguas negras que previamente han descargado desde sus baños e inodoros hacia el subsuelo.

Cada vez que se toca este tema frente a las autoridades, la respuesta es que un alcantarillado sanitario que cubra toda la ciudad Capital costaría 1,500 millones de dólares que no están disponibles, aunque el gobierno ha invertido cerca de 2,500 millones de dólares en las primeras dos etapas del Metro de Santo Domingo sin que esta inversión haya resuelto ni vaya a resolver el problema del transporte urbano.

Es bien sabido que el agua contaminada por falta de alcantarillados sanitarios diariamente mata a unas 30,000 personas en todo el mundo, y que esa misma agua contaminada anualmente mata por diarrea a 4 millones de niños en todo el mundo, de los cuales 1.5 millones son hindúes.

a. En América Latina sólo el 6% de las aguas residuales son tratadas adecuadamente, mientras el restante 94% se convierte en fuente de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas (Figura 4), lo que ha provocado el resurgimiento del cólera, al extremo que más de 400,000 casos han sido reportados.

No en vano se dice que el ser humano bebe el 80% de sus enfermedades, y las enfermedades hídricas producen 25 millones de muertes anualmente, de las cuales la tercera parte corresponde a países del tercer mundo, como el nuestro, y si no hay más muertes hay que agradecerlo al uso intensivo del cloro como agente desinfectante de las aguas contaminadas.

Quizás la contaminación de nuestras aguas superficiales y subterráneas obedece al nuevo mercado privado del agua, el cual anualmente comercializa cerca de 150,000 millones de botellas de agua purificada, donde Italia y Francia son los líderes del consumo de ese líquido embotellado, y quizás por eso los organismos internacionales, como el Fondo Monetario Internacional y el Banco Mundial, en lugar de exigir a los países emergentes que inviertan en la

construcción de alcantarillados sanitarios, les exigen y los obligan a privatizar los servicios del agua, ya que el agua representa el gran negocio del presente y del futuro.

6. El agua y el cólera del 2011 en la República Dominicana

En octubre de 2010, meses después de un devastador terremoto, la hermana República de Haití fue afectada por la bacteria del *Vibrio cólera* que mató a unas 5,000 personas en apenas seis meses.

Como Haití y la República Dominicana comparten la misma isla Hispaniola, la permanente migración transfronteriza transportó la bacteria hacia la República Dominicana, donde la falta de alcantarillados sanitarios ha llevado a ciudades como Santo Domingo a disponer las aguas de los inodoros a través de pozos filtrantes que descargan las heces fecales en las mismas aguas subterráneas que captamos a través de pozos tubulares, mientras la gente pobre, que vive a orillas de ríos, arroyos y cañadas y que generalmente no tiene letrinas y defeca al aire libre, a orillas de los ríos, contamina las aguas superficiales con bacterias (*Vibrio cólera, Escherichia coli, Salmonella*) y de esa forma se transmiten las enfermedades como el cólera, la salmonelosis y la amebiasis, porque las demás personas de la vecindad utilizan esas mismas aguas contaminadas con el vector que transmite la enfermedad.

El hacinamiento a orillas de ríos y arroyos y la proliferación de pozos filtrantes en la ciudad de Santo Domingo crean las condiciones adecuadas para la proliferación de esta vieja enfermedad hídrica, y aunque desde octubre y noviembre de 2010 estuvimos advirtiendo a través de todos los medios de comunicación sobre la expansión del cólera a través del agua contaminada, las autoridades subestimaron la gravedad del problema y de repente el país se ha visto severamente afectado por esta epidemia, al extremo de que el Ministerio de Salud Pública advirtió en la última semana de mayo de 2011 que los principales ríos del país están contaminados con la bacteria del *Vibrio cólera* y que la gente debe abstenerse de consumir esas aguas y debe, incluso, abstenerse de bañarse en ellas (Figura 5).

Las bacterias se transmiten a través del agua, principalmente en aquellos lugares donde por la ausencia de letrinas la gente defeca a orillas de los ríos y arroyos, y en aquellos lugares donde la inexistencia de alcantarillados sanitarios conlleva la construcción de pozos filtrantes que drenan las bacterias de las heces fecales hacia las mismas aguas subterráneas que aprovechamos a través de pozos y manantiales. También donde la gente marginada drena su inodoro a través de una tubería de PVC que descarga las heces fecales en los ríos y arroyos vecinos. Desde hace años, nosotros hemos venido diciendo que por falta de alcantarillados sanitarios nuestros ríos, arroyos y cañadas han sido convertidos en verdaderas cloacas urbanas y que eso multiplica las enfermedades hídricas, por lo que es urgente invertir recursos en la construcción de alcantarillados sanitarios y en la construcción de plantas de tratamiento de aguas servidas.

Recordemos la peste del cólera que mató a decenas de miles de personas en la ciudad de Londres, en el año 1854, debido a que las aguas del río Támesis fueron contaminadas con las heces fecales de los mismos ciudadanos londinenses, y recordemos también el famoso caso de la epidemia de cólera de 1991 en el Perú.

Ante el indetenible avance del cólera en la República Dominicana, es importante que las autoridades de Salud Pública y de las instituciones rectoras de las aguas y el saneamiento básico eduquen a la población sobre los graves problemas de salud ocasionados por la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas con la bacteria del *Vibrio cólera* como resultado de la ausencia de suficientes letrinas en las zonas marginadas y de adecuados alcanta-

Figura 5. Noticia sobre la contaminación de los ríos

6

NACIONALES

Germán cita compromiso del PLD

Preocupación. El ministro de Salud recorrió varios hospitales del país para cerciorarse de que el protocolo se está cumpliendo

Ríos Ozama e Isabela también están contaminados por cólera

Salud Pública recomienda a moradores aledaños a esas fuentes fluviales no usar aguas

ALGO MÁS

DETALLES

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

rillados sanitarios, porque la realidad es que las aguas superficiales y subterráneas se contaminan fácilmente en los lugares donde no hay adecuados servicios sanitarios.

Una persona con cólera que defeque y descargue el inodoro puede contaminar a las demás personas de su entorno cuando los líquidos del pozo filtrante contaminan las aguas captadas por el pozo vecino.

Las autoridades gubernamentales deben distribuir cloro gratuito en todos los focos de contaminación del cólera para que las personas echen cinco gotas de cloro por cada galón de agua, o un cuarto de litro de cloro por cada 1,000 galones de agua de una cisterna, como forma de prevenir la enfermedad, en especial si la cisterna también recibe agua de pozo. Eso quiere decir que si la cisterna almacena 2,000 galones de agua, hay que echarle medio litro de cloro, pero si almacena 4,000 galones de agua, hay que echarle un litro de cloro.

7. Las presas y sus conflictos sociales y ambientales

La construcción de represas, tanto en República Dominicana como en todas partes del mundo, ha sido motivo de múltiples controversias que han puesto en afloramiento las diferencias de criterios entre los ecologistas preservacionistas y los ambientalistas partidarios del desarrollo sostenible.

La controversia está cimentada en que el ser humano ha recibido una multiplicidad de recursos naturales y debe ser capaz de aprovecharlos sin deteriorarlos, sin contaminarlos y sin degradarlos, de forma tal que las futuras generaciones puedan disponer de esos mismos recursos en igualdad de condiciones, y eso no siempre se logra, ya que muchas veces ese mismo ser humano actúa condicionado por las necesidades y urgencias del presente y se olvida por completo del futuro, no por egoísmo generacional, sino por circunstancias sociales que no puede controlar ni mucho menos obviar.

Y es ahí donde entra el agua, que es el recurso natural más especial, ya que la estructura biológica del ser humano lo obliga a depender en términos absolutos del agua dulce, la cual representa apenas el 2.8 % del agua total disponible sobre el planeta, aunque sólo puede disponer de un 0.60% presente en el subsuelo y de un 0.03% existente en fuentes superficiales, que son las de más fácil acceso, las de más fácil contaminación y al mismo tiempo las que más fácilmente llegan al mar si no se logra su previa captación para utilización.

Una vez que una gota de agua dulce llega al mar ya no es posible su utilización a bajo costo, al menos dentro de ese ciclo hidrológico, y es necesario esperar a que nuevos volúmenes sean evaporados para recargar las nubes y esperar nuevas lluvias estacionales que recarguen ríos, arroyos y acuíferos. Pero esa espera puede ser larga, como ocurre en la actualidad, porque la sequía amenaza toda la región del Caribe, los intensos y largos fuegos consumen nuestras reservas forestales de los parques nacionales, y la incertidumbre se posa sobre quienes dependen del agua para producir alimentos y saciar la sed.

Afortunadamente, en República Dominicana todavía nadie está muriendo de sed porque sus 18 principales presas almacenan 2,200 Mm^3 de agua; aportan agua potable a 3 millones de personas; irrigan 62,000 hectáreas de tierras cultivables, y disponen de una capacidad de generación de 452 MW, que al año totalizan unos 1,000 GW/h, es decir, 1,000 millones de kW/h, sin necesidad de petróleo y sin contaminar el medio ambiente con gases que producen efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO_2).

Los ambientalistas, conocedores del sistema nacional de presas y sus entornos, reconocen que las presas aportan a la sociedad y al medio ambiente más beneficios que perjuicios —ahí están los ejemplos de la presa de Valdesia, que aporta 6 m^3/s de agua (137 millones de galones diarios) para los que viven en Santo Domingo; y las presas de Tavera-Bao (Figura 6), que aportan 4.5 m^3/s, equivalentes a 103 millones de galones por día, para las ciudades de Santiago y Moca—, aunque ninguna de esas presas fue construida para suplir dichos acueductos y pese a que las mencionadas presas fueron objeto de oposición y duras críticas en el momento inicial de su construcción.

Sin las presas de Tavera y Valdesia no dispondríamos de agua en Santo Domingo, Santiago y Moca, ni los agricultores de Baní, San Cristóbal y el Cibao Occidental dispondrían de agua para el riego de más de 30,000 hectáreas mediante los canales Marcos A. Cabral, Nizao-Najayo y PRYN, ni dispondríamos de los 204 MW instalados en las turbinas hidroeléctricas de Jiguey-Aguacate-Valdesia, ni de los 100 MW instalados en las turbinas hidroeléctricas de Tavera sin usar petróleo caro y sin contaminar el ambiente. Debemos preferir el uso del agua, el sol o el viento para generar energía eléctrica en lugar de usar un petróleo costoso y altamente contaminante al liberar CO, CO_2 y SO_2. De igual modo, la presa de Monción fue originalmente

PARA USO RESTRINGIDO FORO CONSULTIVO

cuestionada porque represaría las aguas del río Mao; afectaría la flora regional, y desplazaría a los campesinos de la zona. Sin embargo, hoy día el acueducto de la Línea Noroeste es una realidad gracias a las aguas almacenadas en dicha presa, y en el futuro los resultados serán todavía mucho más convincentes. Por eso cada gota de agua debe ser almacenada y racionalmente administrada en períodos de sequía como los que vivimos actualmente, y por eso es fundamental invertir recursos en la construcción de represas que nos permitan almacenar los excedentes de agua de los períodos lluviosos para racionarlos en los períodos de larga sequía.

Dentro del concepto de producción de energía limpia y barata, es necesario priorizar la construcción de nuevas centrales hidroeléctricas en las cuencas del Alto Yaque del Norte, Alto Yaque del Sur, Alto Yuna y Macasía-Artibonito con financiamiento externo garantizado con la propia producción eléctrica, y diseñar un nuevo plan de expansión del sistema eléctrico nacional sustentado en fuentes energéticas no petroleras, en la protección al medio ambiente y en un crecimiento de la capacidad instalada directamente proporcional al crecimiento de la demanda nacional.

Nuestras cuencas altas están protegidas por parques nacionales, pero la protección no es simplemente para la preservación, sino para garantizar el desarrollo sostenible, y las presas garantizan no sólo el desarrollo sostenible de la nación, sino la protección de los mismos parques nacionales, porque cuando las llamas consumieron los bosques de pinos de los parques nacionales Armando Bermúdez y José del Carmen Ramírez, fue preciso recurrir a las aguas almacenadas en la presa de Sabaneta para abastecer a los helicópteros que intentaban sofocar las llamas que durante semanas permanecieron incontrolables y devoraron más de 100,000 tareas de verdes pinos. De nuevo las presas hicieron su aporte.

8. El problema social y ambiental de la crecida del lago Enriquillo

El lago Enriquillo, el lago Sumatra y la laguna de Cabral son los tres lagos remanentes de un antiguo canal marino que comunicaba a la bahía de Neiba con la bahía de Puerto Príncipe, en un pasado geológico en que la sierra de Bahoruco era una alargada isla calcárea separada del resto de la isla Hispaniola.

El empuje hacia el lado norte de la microplaca tectónica de Bahoruco generó efectos compresionales en la zona de Jimaní y creó un promontorio intermedio en forma de plegamiento anticlinal, el cual dividió el canal marino en dos grandes bahías, mientras los posteriores levantamientos tectónicos de la plataforma sur y la deposición de grandes volúmenes de gravas, arenas y arcillas en el lugar donde el río Yaque del Sur desembocaba en la bahía de Neiba cerraron gradualmente la entrada oriental del canal marino.

De esa forma, el canal marino quedó convertido en dos grandes lagos, uno del lado oriental y otro del lado occidental; pero la alta tasa de evaporación de la región, la cual es del orden de los 2,500 mm/m²/año, motivaron que la

Figura 6. Presa de Tavera y su interconexión con la presa de Bao

PARA USO RESTRINGIDO

mayor parte del agua de estos lagos salados se evaporara y sólo quedaran las aguas acumuladas en las tres principales depresiones topográficas regionales: Enriquillo, Sumatra (Azuei) y Cabral (Figuras 7 y 8).

El lago Enriquillo recibe grandes caudales subterráneos provenientes de los manantiales de Las Barías, en La Descubierta; Boca de Cachón, al noreste de Jimaní; La Zurza, al oeste de Duvergé, y Las Marías, al este de Neiba, del mismo modo que recibe caudales superficiales del río Las Damas, río Barreras, río Bermesí, río Panzo, río Guayabal y los canales de riego de su extremo oriental. Todos con caudales muy variables que dependen del régimen pluviométrico estacional y que en estos últimos dos años han totalizado cerca de 1,100 Mm3/año.

PARA USO RESTRINGIDO

Pero el lago Enriquillo, por ser una cuenca endorreica muy profunda que hoy está 36 m por debajo del nivel medio del mar, sólo puede perder agua mediante el proceso de evaporación, pues al tener una superficie cercana a los 300 km^2, es decir, cerca de 300 Mm^2, y cada m^2 evapora anualmente unos 2,500 mm, o sea, unos 2.5 m de columna de agua, evapora alrededor de 750 Mm^3/año de agua, y siempre que la recarga neta anual sea inferior a este valor, el lago Enriquillo va a descender de nivel, pero si la recarga neta es superior a los 750 Mm^3/año, como ha sido en estos dos años, entonces el nivel del lago va a subir y va a recuperar los espacios y las tierras vecinas que siempre le han pertenecido, desde mucho antes de que el ser humano habitara por primera vez sobre estas tierras inhóspitas.

Sin embargo, las fuertes precipitaciones pluviales caídas sobre la región suroeste del país durante el paso de la tormenta Noel, a finales de octubre de 2007, descargaron 700 mm de lluvias en apenas cinco días, en un valle donde la precipitación promedio es del orden de los 450 mm/año, lo que provocó una gran escorrentía de los ríos que drenan hacia esos lagos y una sustancial recarga de los acuíferos cavernosos de las sierras de Neiba y de Bahoruco, acuíferos que drenan, subterráneamente, parte de sus aguas hacia estos lagos. A esto se suma el hecho de que al abrir por varios días los desagües de las presas de Sabaneta y Sabana Yegua, los caudales del río Yaque del Sur se incrementaron extraordinariamente, en algunos casos hasta 350 m3/s, y como desde hace varios años gran parte del agua del río Yaque del Sur ha sido desviada hacia la laguna de Cabral y desde ahí drena hacia la porción oriental del lago Enriquillo, esto también contribuyó a que dicho lago subiera de nivel.

Pero hay que tener cuidado al decir que el incremento del nivel del lago Enriquillo se debe fundamentalmente a los aportes del río Yaque del Sur, al deterioro de las obras hidráulicas que sirven de control de avenidas en la zona y a la entrada de grandes volúmenes de sedimentos, pues eso no se corresponde con el patrón geológico e hidrogeológico regional, ya que si se eliminara o desviara por completo el río Yaque del Sur, el lago seguiría subiendo en la misma proporción en que los caudales subterráneos regionales siguieran subiendo fruto de las lluvias que recargan los acuíferos vecinos, y la mejor demostración de todo ello es que en los últimos años el lago Sumatra, el cual estaba en la cota 15 msnm, ha subido hasta la cota 19 msnm, es decir, ha subido 4 m, al igual que el lago Enriquillo, el cual

Figura 7. Imágenes satelitales de la laguna Caimán (pequeña de la izquierda), los grandes lagos Sumatra (izquierda), Enriquillo (centro) y la laguna Cabral (derecha)

Figura 8. Inundaciones en Lago Enriquillo

ha subido desde la cota menos 40 m hasta la cota menos 36 m, y no hay forma posible de que el río Yaque del Sur suba sus aguas hasta el lago Sumatra, cuyo nivel superior sigue estando 55 m más alto que el del lago Enriquillo.

También hay que tener cuidado al decir que el incremento del nivel del mar, fruto del derretimiento de glaciares polares, es el responsable del incremento del nivel del lago Enriquillo, porque si el lago Sumatra y el lago Enriquillo han estado subiendo en igual proporción, cómo explicar el incremento del lago Sumatra que hoy está 19 msnm. ¿Cómo subió el nivel del lago Sumatra?

Tampoco debemos decir que las fallas tectónicas regionales que definen el graben del lago Enriquillo permiten que el agua del lago Sumatra fluya subterráneamente hacia el lago Enriquillo, porque entonces el lago Sumatra habría bajado de nivel mientras el lago Enriquillo habría estado subiendo permanentemente de nivel en una trasferencia de caudales, y lo cierto es que ambos lagos han subido simultáneamente.

De igual modo, decir que la pequeñita y poco profunda laguna de Caimán de apenas 4 km² —ubicada al noroeste del lago Sumatra— es la responsable del crecimiento desmedido de los grandes lagos Sumatra y Enriquillo es no tener idea de los reducidos volúmenes de agua que recibe esta lagunita de Caimán ni de los grandes volúmenes de agua que reciben y almacenan los lagos Sumatra y Enriquillo, porque el lago Sumatra es 25 veces más extenso que la laguna de Caimán y el lago Enriquillo 75 veces más, es decir, que ambos lagos juntos totalizan un área 100 veces mayor que la de la laguna de Caimán.

Siempre que el lago Enriquillo reciba un caudal superior a 750 Mm³/año por año ha de subir de nivel, y siempre que el lago Sumatra reciba un caudal superior a 288 Mm³/año ha de subir de nivel, indistintamente de cualquier teoría ilógica que sea planteada sólo por opinar.

El lago Enriquillo siempre ha tenido períodos de crecimiento vinculados a fenómenos meteorológicos como huracanes y tormentas que han aportado grandes caudales superficiales y subterráneos, y luego ha tenido períodos de descenso vinculados con largas sequías regionales, pero siempre recupera su espacio.

La solución a este grave problema hídrico regional del lago Enriquillo, el cual preocupa al gobierno y al país, especialmente a la gente que vive en sus alrededores y que hoy ven sus casas, carreteras y parcelas totalmente inundadas (Figura 9), es reubicar a los agricultores, a los ganaderos y a los habitantes de la zona fuera de la franja de inundación máxima del lago, preferiblemente en la zona de El Limón de Jimaní y en la zona Tamayo-Galván, porque si no se puede reubicar el lago, entonces habrá que reubicar a la gente, ya que las fluctuaciones del lago van a seguir de forma permanente.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

9. El problema de las basuras que contaminan las aguas

Otro grave problema nacional es la disposición final de nuestros desechos sólidos urbanos e industriales (basuras), ya que nuestras basuras son depositadas en vertederos a cielo abierto (Figura 10), lo que produce contaminación ambiental, incendios, malos olores, proliferación de ratas e insectos, etc. Sin embargo, la tendencia moderna, dentro del ordenamiento territorial, es la disposición final de los desechos sólidos urbanos en rellenos sanitarios construidos sobre un suelo completamente arcilloso, a fin de garantizar la impermeabilidad absoluta del subsuelo y de esa forma evitar que los lixiviados, o líquidos contaminantes, se infiltren y contaminen las aguas subterráneas, ya que esas aguas constituyen las reservas para las futuras generaciones y es preciso protegerlas de todo tipo de contaminación.

La ciudad de Santo Domingo produce diariamente alrededor de 3,500 toneladas de desechos sólidos, de las cuales un tercio corresponde al Distrito Nacional y dos tercios a la provincia de Santo Domingo. Estas basuras, que están integradas mayormente por papel, cartones, metales, plásticos, vidrios, cerámicas, textiles, maderas, vegetales descompuestos, etc., deben ser preclasificadas, recogidas de manera oportuna y efectiva, y procesadas para su máximo aprovechamiento, y las no aprovechables deberán ser dispuestas de forma correcta en un relleno sanitario que cumpla con los estándares ambientales vigentes.

En promedio, cada ciudadano produce alrededor de 1 k de basuras diariamente, y esta permanente generación de desechos sólidos implica un grave problema de contaminación ambiental que debe ser resuelto estimulando la clasificación primaria de las basuras en los hogares, en los comercios, en las industrias, en las escuelas y en los centros de asistencia médica, a fin de minimizar la cantidad de basuras que requiere disposición final y simplificar la correcta utilización de la porción aprovechable.

Como se estima que en las basuras hay 45% de materia orgánica (restos de comida y jardinería), 20% de papeles y cartones, 15% de envases metálicos y 20% de otros materiales, la preferencia de hoy debe ser el reciclaje de las basuras, actividad que puede convertirse en una próspera industria en la que las comunidades de escasos recursos económicos participen como operadores y beneficiarios del proceso, mientras que el ayuntamiento lo haga como gestor y propulsor de ese mismo proceso.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Figura 9. Oficinas de agricultura fronteriza inundadas por las crecidas del lago Sumatra, al oeste de Jimaní

Figura 10. Vertedero de basuras en la ciudad de Puerto Plata

Los materiales orgánicos son susceptibles de convertirse en fertilizantes que mejoren la productividad de los suelos agrícolas sin riesgos de contaminación del suelo y el subsuelo; los metales irían a plantas de fundición para su reutilización a bajo costo; los vidrios irían a plantas de trituración para su comercialización y reutilización; los materiales plásticos irían a plantas procesadoras, y todo lo que no pueda ser procesado ni aprovechado sería entonces depositado en un relleno sanitario de sustrato arcilloso natural con el fin de garantizar que los lixiviados no contaminen las aguas subterráneas vecinas.

Para garantizar la efectividad de este plan se buscaría lograr que cada hogar o establecimiento escolar o comercial tuviera cuatro botes de basura: uno para papel y cartón, otro para plásticos y vidrios, otro para tapas, hojalatas, latas, chatarras metálicas, etc., y otro para desechos orgánicos tales como desperdicios de alimentos. Como estímulo especial se establecería que los hogares, industrias, escuelas y comercios que clasifiquen sus basuras pagarían una tarifa equivalente al 50% de la tarifa que pagarían quienes no clasifiquen sus basuras, y que los camiones recolectores estarían provistos de diferentes compartimientos con acceso para cada tipo de basura, incluidas las no clasificadas.

El reciclaje de las basuras generaría empleos dignos; mejoraría la calidad de vida en sectores marginados; facilitaría que pequeños empresarios puedan acceder a fuentes de materias primas baratas y renovables; disminuiría en alrededor de 75% la disposición final de las basuras; permitiría cubrir parte de los costos de recolección y transporte de las basuras, y reduciría significativamente la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.

FORO CONSULTIVO

10. La iglesia, el agua y el medio ambiente

En fecha 21 de octubre de 2010 fuimos invitados por la Conferencia del Episcopado Dominicano, la Pastoral Universitaria y la Pastoral Ecológica a dictar la conferencia central del Foro titulado "Ecología y Medio Ambiente: Realidad, Desafíos y Compromiso", para presentar allí un diagnóstico realista de la situación ambiental actual de la República Dominicana.

En nuestra disertación expresamos que la República Dominicana se encuentra hoy en una verdadera emergencia

ambiental debido al alto nivel de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, producto del manejo irracional de los desechos sólidos y líquidos procedentes de las residencias, las industrias, los hoteles, la agropecuaria y la minería irresponsable.

Mostramos que las ciudades dominicanas carecen de alcantarillados sanitarios, y que por tal razón las descargas de las aguas negras residenciales van al subsuelo a través de improvisados pozos filtrantes que drenan hacia las mismas aguas subterráneas que aprovechamos a través de pozos tubulares, lo que produce una severa contaminación de las aguas subterráneas con altos niveles de bacterias coliformes que generan múltiples enfermedades gastrointestinales cuyo tratamiento es muy costoso para el Estado dominicano.
Dijimos que casi todos los ríos del país han sido convertidos en verdaderas cloacas urbanas que reciben todas las aguas cloacales residenciales e industriales, las aguas ácidas generadas por la minería a cielo abierto y gran parte de las basuras, y que basta ver los altos niveles de contaminación de los ríos Ozama, Isabela, Haina, Margajita, Yuna, Camú, Yaque del Norte, Yaque del Sur, Higüamo y Duey.

Expusimos que muchas alcaldías entienden que el mejor lugar para depositar las basuras es la orilla del río más cercano, pues de esa forma, cada vez que haya una crecida del río, éste arrastraría las basuras hacia aguas abajo, lo que calificamos como una barbaridad y una irracionalidad de los gobiernos municipales.

Enfatizamos que la ausencia de un Plan de Ordenamiento Territorial es una violación al artículo 30 de la Ley Ambiental 64-00, y que esa falta de ordenamiento provoca que decenas de miles de personas pobres se emplacen en las orillas de nuestros ríos, con lo cual contaminan severamente esas aguas y se exponen a los altos peligros derivados de las inundaciones generadas por las vaguadas, tormentas y huracanes.

Planteamos que mientras los programas de reforestación son muy tímidos y se concentran en las orillas de las carreteras para que la gente crea que hay una voluntad de repoblar los bosques, los aserraderos han vuelto a multiplicarse en todas nuestras cordilleras –aunque esta vez reciben el nombre de planes de manejo forestal autorizados por los funcionarios ambientales– y que ello disminuye el régimen de lluvias.

Señalamos que el Ministerio de Medio Ambiente aplica una política totalmente errada en lo concerniente a las extracciones de agregados de ríos y de canteras secas, pues san-

Fotografía 8. Aguas ácidas que salen constantemente desde las instalaciones de la Barrick Gold

PARA USO RESTRINGIDO

ciona a las escasas empresas que aplican correctas políticas de sostenibilidad ambiental al extraer agregados sólo en las terrazas de los ríos, por encima del nivel freático, y al nivelar y reforestar los suelos minados, mientras permiten todo género de libertades a las empresas que depredan los cauces de los ríos, abren lagunas freáticas para sacar agregados por debajo del nivel del agua subterránea y contaminan las aguas.

Reiteramos que el Ministerio de Medio Ambiente se comporta como una agencia recaudadora y no como una agencia reguladora, y que casi todas las decisiones de esa cartera son contrarias a los intereses ambientales del país. Citamos como ejemplos el caso de la cementera de los Haitises y el caso de la licencia ambiental irregular con que se ampara a la empresa minera Barrick Gold. Asimismo indicamos que, en términos ambientales, el país está totalmente desprotegido.

Esa conferencia fue dictada en presencia de monseñor Agripino Núñez Collado, Rector de la Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra; del Rvdo. Ramón Alonso, Rector de la Universidad Católica de Santo Domingo; de monseñor Nicanor Peña, obispo de la Diócesis de La Altagracia, Rector de la Universidad Católica del Este y Vicepresidente de la Conferencia del Episcopado Dominicano, y de monseñor Jesús María de Jesús Moya, obispo de la Diócesis de San Francisco de Macorís y Presidente de la Comisión Nacional de la Pastoral Universitaria.

También estuvieron presentes el Rvdo. Francisco Antonio Jiménez R., Secretario General de la Conferencia del Episcopado Dominicano y Secretario Ejecutivo de la Comisión Nacional de la Pastoral Universitaria; el Rvdo. Fausto Ramón Mejía, Rector de la Universidad Católica del Cibao; el Rvdo. Ramón Alfredo de la Cruz, Rector de la Universidad Católica Nordestana; el Rvdo. José Goris, Rector del Seminario Santo Tomás de Aquino; el Rvdo. Francisco Escolástico, S.J, Rector del Instituto Especializado de Estudios Superiores Loyola, y Jovanny Krawinkel, Secretario General de la Pastoral Ecológica.

El hecho de que una parte importante de la jerarquía de la iglesia católica haya convocado a esta importante jornada sobre Ecología y Medio Ambiente, y el hecho de que los principales obispos comprometidos con la preservación del medio ambiente dominicano y la calidad de las aguas hayan estado presentes en nuestra conferencia indica que la iglesia católica se siente en el deber de buscar la verdad sobre la situación ambiental nacional y desea velar por la preservación de nuestro hábitat, pero muy especialmente por la calidad del agua que consumimos.

11. Contaminación de las aguas por las operaciones mineras

En los análisis de las aguas ácidas y cargadas de metales pesados que salen de la mina de oro y plata administrada por la empresa minera Barrick Gold se encuentra que el pH del agua es 2.1, que la conductividad eléctrica del agua tiene un valor de 4,580 µS/cm, y que el contenido de hierro es superior a los 2,000 mg/L. Estos resultados indican que estas aguas están contaminando las aguas de la presa de Hatillo (Figura 11), la presa más grande del país, la cual almacena cerca de 440 Mm^3 de agua y de ella depende toda la zona arrocera del bajo Yuna. Además, en el futuro cercano, la ciudad de Santo Domingo requerirá cerca de 8 m^3/s de esta presa.

USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Embalse Clavellinos, Estado Sucre, Venezuela
Fotografía tomada por el Dr. Ernesto González

PARA USO RESTRINGIDO

Manejo de los recursos hídricos en Venezuela

Aspectos generales

Ernesto J. González[1] y María Leny Matos[2]

[1]Laboratorio de Limnología, Instituto de Biología Exerimental de la Universidad Central de Venezuela. Punto Focal Nacional de Venezuela-IANAS, Programa de Aguas.
[2]Hidroven, Laboratorio de Plancton.

FOROS RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Palabras clave: recursos hídricos, problemas y manejo de recursos hídricos, instrumentos legales, normas regulatorias, Venezuela

1. Introducción

Venezuela cuenta con abundantes recursos hídricos distribuidos en siete sistemas hidrográficos y 16 regiones hidrográficas. El país tiene más de 100 embalses, los cuales se han construido con la finalidad de satisfacer diversos propósitos: suministro de agua potable y para las industrias, riego, control de inundaciones, recreación y generación de energía hidroeléctrica. Dentro de las cuencas hidrográficas venezolanas se desarrolla una gran cantidad de actividades humanas, las cuales afectan la calidad de las aguas de ríos, lagos y embalses. Algunos de estos problemas son: eutrofización, contaminación, disminución de los flujos de agua, alta demanda de agua para riego, usos industriales y domésticos, entre otros. En Venezuela se han formulado varias normas regulatorias y leyes relacionadas con la conservación del agua y el manejo de los recursos hídricos. También existen varias instituciones relacionadas con la investigación y el manejo de estos recursos que incluyen ministerios, empresas gubernamentales, universidades e institutos de investigación, entre otras. En este trabajo también se discuten algunos casos de buenas y malas prácticas relacionadas con el manejo de los recursos hídricos.

2. El recurso hídrico

Venezuela cuenta con abundantes recursos hídricos, especialmente en la región sur (Rodríguez-Betancourt y González-Aguirre, 2000). Se ha calculado que el volumen de los recursos hídricos es de 1.320 km3 por año (Cañizales *et al.*, 2006). El proceso de ocupación del territorio nacional se ha caracterizado por una concentración poblacional progresiva en el arco Andino-Costero del país y, especialmente, en las grandes ciudades ubicadas en el área Centro-Norte, la cual tiene la menor disponibilidad de agua (Rodríguez-Betancourt y González-Aguirre, 2000; Cañizales *et al.*, 2006).

La demanda de agua en Venezuela está asociada a las actividades de riego, usos urbanos e industriales y la generación de energía eléctrica (Rodríguez-Betancourt y González-Aguirre, 2000). Los usos para la navegación y la recreación representan una demanda relativamente menor, con un carácter no consuntivo.

Para satisfacer la demanda de agua, en Venezuela se han construido 110 embalses (MINAMB, 2006), los cuales tienen usos diversos: suministro de agua potable y para fines industriales, riego, control de inundaciones, recreación y generación de hidroelectricidad (González *et al.*, 2004a; MINAMB, 2006; González *et al.*, 2009a). Sin embargo, el uso incorrecto de los recursos hídricos y las actividades humanas en sus cuencas de drenaje han generado varios problemas, entre ellos, el cultivo de peces sin una evaluación limnológica previa (Infante *et al.*, 1992; 1995), la contaminación agroquímica (Infante *et al.*, 1992) y la eutrofización (González y Ortaz, 1998; Ortaz *et al.*, 1999; González *et al.*, 2004b).

Figura 1. Sistemas hidrográficos de Venezuela

Fuente: Modificado de MINAMB (2006)

Para tratar o resolver algunos de estos problemas se han sugerido algunas medidas de mitigación (por ejemplo, González *et al.*, 2002; Estaba *et al.*, 2006), así como también la creación de áreas protegidas y de normas regulatorias para el control de nutrientes en las aguas servidas (Gaceta Oficial, 1995), con la finalidad de proteger los cuerpos de agua y la calidad de sus aguas.

El propósito de este trabajo es el de presentar una visión general y analizar tanto algunas buenas y malas prácticas como leyes y decretos regulatorios relacionados con el manejo de los recursos hídricos en Venezuela.

3. Venezuela en el mundo

Venezuela está localizada en la región norte de América del Sur entre los 00° 38′ 53″ y los 12° 11′ 46″ de latitud N y los 58° 10′ 00″ y los 73° 25′ 00″ de longitud O (MINAMB, 2006), y cubre un área de 916.445 km². Limita al norte con el Mar Caribe y el Océano Atlántico Norte, al este con Guyana, al sur con Brasil y Colombia y al oeste con Colombia.

Aunque Venezuela está situada completamente en el trópico, su clima varía entre planicies húmedas de baja elevación ("llanos"), donde la temperatura promedio anual alcanza valores tan altos como los 28°C, hasta glaciares y tierras altas ("páramos") con una temperatura promedio de 8°C. Las precipitaciones promedio varían entre 430 mm3 en las regiones semiáridas del noroeste hasta más de 4.000 mm3 en la región sur. La mayor parte de las precipitaciones se presenta entre junio y octubre (estación lluviosa o "invierno"); al resto del año, más cálido y seco, se le conoce como "verano" (estación seca), aunque la variación de temperatura a lo largo del año es poco pronunciada si se le compara con las latitudes templadas (Gobierno en Línea, 2009). Venezuela tiene 24.127.351 habitantes (estimado para el año 2004), especialmente en la región andina y en la región costera, con una densidad poblacional media de 28,9 hab./km2.

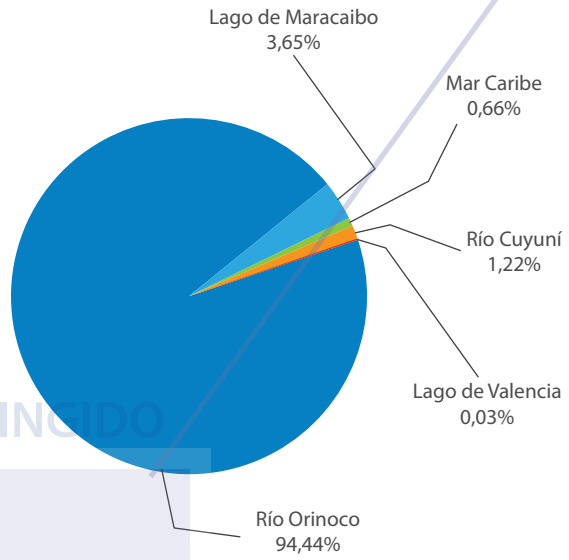
PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Biogeográficamente, Venezuela está situada en la región Neotropical, la cual incluye los dominios Caribe, Amazonas, Guayana y Andino (Cabrera y Willink, 1980); por eso, el país tiene varios pisos altitudinales, varios tipos de vegetación y fauna, y variadas y distintivas cuencas de drenaje.

En Venezuela pueden distinguirse siete sistemas hidrográficos: Mar Caribe, Río Orinoco, Golfo de Paria, Casiquiare-Río Negro, Río Esequibo, Lago de Maracaibo y Lago de Valencia (Figura 1). Entre ellas, el sistema Orinoco es el más importante, ya que agrupa 49 subcuencas que drenan sus aguas hacia el canal principal del río Orinoco, lo que representa el 94,436% del volumen total drenado en las cuencas hidrográficas venezolanas (Figura 2) (Rodríguez-Betancourt y González-Aguirre, 2000), y descarga sus aguas al Océano Atlántico Occidental. Dentro de los sistemas hidrográficos, el del Lago de Valencia es particular, ya que es una cuenca endorreica, la cual recibe aguas de tributarios originados de la región sur de la Cordillera Centro-Norte; esta cuenca hidrográfica representa sólo el 0,029% del volumen total drenado.

Más recientemente, Cañizales *et al.* (2006) distinguieron 16 regiones hidrográficas en la clasificación previa (Figura 3): 1) Lago de Maracaibo-Golfo de Venezuela, 2) Falconiana, 3) Centro-Occidental (Tocuyo-Aroa-Yaracuy), 4) Lago de Valencia, 5) Central (Tuy-Litoral Central), 6) Centro-Oriental, 7) Oriental, 8) Llanos Centrales, 9) Llanos Centro-Occidentales, 10) Alto Apure, 11) Apure, 12) Alto Orinoco, 13) Caura, 14) Caroní, 15) Cuyuní y 16) Delta. Se debe destacar que en las áreas con menor drenaje en el país se localizan las áreas más densamente pobladas, lo cual genera problemas relacionados con el suministro de agua para propósitos diversos.

Figura 2. Porcentajes volumétricos de las principales cuencas hidrográficas de Venezuela



Fuente: Tomado de Rodríguez-Betancourt y González-Aguirre (2000)

Figura 3. Regiones hidrográficas de Venezuela

Fuente: Modificado de MINAMB (2006)

4. Embalses en Venezuela

Para finales de 2006, en Venezuela se contaban 110 embalses operativos (MINAMB, 2006; 2007) distribuidos a lo largo del territorio nacional y construidos para satisfacer fines diversos: suministro de agua para usos domésticos (potable) e industriales, generación de energía hidroeléctrica, riego, recreación, entre otros usos. El Ministerio del Ambiente es el propietario de los embalses nacionales y rige las funciones de estos cuerpos de agua a través de la Dirección General de Cuencas Hidrográficas, de la Dirección de Estudios y Proyectos y de la Dirección de Operación y Mantenimiento de Obras de Saneamiento Ambiental.

Las compañías hidrológicas regionales administran los trabajos que tienen que ver con la conducción, tratamiento y distribución del agua potable a las ciudades, mientras que el Instituto Nacional para el Desarrollo Rural se encarga de los asuntos relacionados con el riego (MINAMB 2007).

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

El Ministerio del Ambiente agrupó los embalses nacionales en ocho circuitos, de acuerdo con su localización geográfica, a fin de planificar el mantenimiento de ellos (Cuadro 1).

5. Algunos problemas relacionados con el manejo de los recursos hídricos

En las regiones hidrográficas de Venezuela se desarrolla un gran número de actividades humanas, las cuales afectan la calidad de las aguas en ríos, lagos y embalses. Algunos de estos problemas son: eutrofización, contaminación, disminución del flujo de agua, alta demanda de agua para riego, usos domésticos e industriales, entre otros.

PARA USO RESTRINGIDO

Eutrofización

La eutrofización ha sido registrada en varios cuerpos de agua en Venezuela, y varios de ellos son empleados para el suministro de agua potable a las principales ciudades del país.

La ciudad de Caracas y su área metropolitana (aproximadamente 4.000.000 de habitantes) recibe agua desde las cuencas de los ríos Tuy y Guárico, a través del "Sistema Tuy" (González *et al.*, 2009a), una compleja red de tuberías que conecta nueve embalses: Camatagua, Lagartijo, Taguaza, Quebrada Seca, Ocumarito, Taguacita, Macarao, La Pereza y La Mariposa. Sólo los embalses Lagartijo, Taguaza y Taguacita se localizan en áreas protegidas; el resto de ellos se encuentran impactados por las actividades humanas que se realizan en sus cuencas de drenaje, lo que se refleja en las consecuencias del proceso de eutrofización: altas concentraciones de fósforo total y de nitrógeno total, altas densidades fitoplanctónicas y de macrófitas (plantas acuáticas superiores), floraciones de cianobacterias y baja calidad de sus aguas (Infante *et al.*, 1992, 1995; Ortaz *et al.*, 1999; González *et al.*, 2003; González, 2008; González *et al.*, 2009a).

Los embalses de la región centro-norte del país también están afectados por otras actividades humanas. El embalse Pao-Cachinche, que se emplea para el suministro de agua potable a las ciudades de Valencia, Maracay y San Carlos (2.000.000 de habitantes) y para el riego con fines agrícolas, recibe tributarios a los cuales se les vierten aguas domésticas sin tratamiento o con tratamiento deficiente de la ciudad de Valencia (1,7 millones de habitantes) y aguas de desecho desde granjas avícolas y porcinas (González *et al.*, 2004a; 2004b). La baja calidad de las aguas y las altas densidades fitoplanctónicas eran características comunes antes de la aplicación del proceso de desestratificación artificial (Estaba *et al.*, 2006). Otro embalse, Suata, el cual se emplea para el riego de campos vecinos, recibe altas cargas de fósforo a través de su tributario principal y de las granjas avícolas que rodean el cuerpo de agua. Las concentraciones de fósforo total alcanzan valores de 2.400 µg/L, lo que produce una alta productividad biológica (González *et al.*, 2009b).

Cuadro 1. Circuito nacional de embalses agrupados según las regiones geográficas para la planificación de su mantenimiento

Circuitos	Estados	Embalses
Nº 1 (17)	Aragua, Carabobo, Miranda, Cojedes y Vargas	Suata, Taiguaiguay, Canoabo, Guataparo, Pao-Cachinche, La Mariposa, Agua Fría, El Guapo, La Pereza, Lagartijo, Ocumarito, Quebrada Seca, Taguacita, Taguaza, Capaya, Pao La Balsa, Petaquire
Nº 2 (23)	Guárico y Anzoátegui (y Aragua)	El Pueblito, Guanapito, Guárico, Jabillal, La Becerra, Santa Rosa, Tamanaco, Taparito, Tierra Blanca, Tiznados, Vilchez, El Cigarrón, Coco 'e Mono, Camatagua, El Andino, El Cují, Guacamayal, La Estancia, La Tigra, La Tigrita, Santa Clara, Vista Alegre, San Miguel
Nº 3 (9)	Sucre, Monagas y Nueva Esparta	Clavellinos, El Pilar, Turimiquire, Guamo, Guatamare, La Asunción, San Juan Bautista, San Francisco de Macanao, San Antonio
Nº 4 (7)	Barinas, Portuguesa, Mérida y Trujillo	Masparro, Boconó-Tucupido, Las Majaguas, Las Mercedes, Las Palmas, Onia, Agua Viva
Nº 5 (19)	Falcón, Lara y Yaracuy	Camare o Pedregal, Cruz Verde, El Cristo, El Isiro, El Hueque III, Las Barrancas, Mamito, Mapara, Tocuyo de La Costa, Atarigua, Dos Bocas, Dos Cerritos, El Ermitaño, El Zamuro, Los Quediches, Cabuy, Cumaripa, Papelón, Durute
Nº 6 (6)	Zulia y Falcón	El Tablazo, Machango, Burro Negro, Socuy, Matícora, Tulé
Nº 7 (9)	Táchira y Mérida	Uribante, La Honda, Doradas, Las Cuevas, Camburito, Caparo, Borde Seco, La Vueltosa, Santo Domingo
Nº 8 (7)	Bolívar	Caruachi, Copapuicito, El Palmar, Macagua, Puente Blanco, San Pedro, Tocoma

Fuente: Modificado de MINAMB (2007)

FORO CONSULTIVO

Los embalses de los llanos venezolanos están influenciados por el uso de fertilizantes en sus alrededores, lo que genera problemas de eutrofización (Infante *et al.*, 1995; González, 2000). El grupo de las Cyanobacteria domina la comunidad del fitoplancton en la mayoría de ellos.

Los embalses de la región occidental de Venezuela también presentan problemas de eutrofización. El embalse Tulé es un cuerpo de agua somero que se emplea para el suministro de agua potable a la ciudad de Maracaibo (aproximadamente 3.000.000 de habitantes), por lo que muestra bajos valores de transparencia y altas concentraciones de nitrógeno (Páez *et al.*, 2001).

Contaminación

Varios embalses reciben tributarios con sustancias contaminantes, los cuales no han sido cuantificados y, por ello, representan graves riesgos para la salud humana.

Ortaz *et al.* (1999) observaron que las aguas residuales de una fábrica de galvanizados se vertían libremente hacia la cubeta del embalse La Pereza. Estos residuos aún no han sido estudiados ni cuantificados.

Las áreas adyacentes al embalse Guanapito (que suministra agua potable a unos 44.000 habitantes de la población de Altagracia de Orituco) se emplean para la ganadería extensiva y el cultivo de hortalizas y frutas, cuyas actividades aportan fertilizantes y biocidas directamente al cuerpo de agua a través de sus tributarios y de la escorrentía (Infante *et al.*, 1992; González *et al.*, 2009a). Las concentraciones de biocidas necesitan ser cuantificadas.

En los sedimentos de varios embalses se han encontrado metales pesados. Álvarez *et al.* (2007) registraron concentraciones de Co, Cr, Cu, Ni y Zn superiores a los valores bases en los embalses Quebrada Seca, Lagartijo y La Pereza. La presencia de esta contaminación en los sedimentos pudiera ser relacionada con el agua bombeada hacia estos embalses desde el río Tuy, el cual recibe altas descargas de aguas domésticas e industriales (González *et al.*, 2009a).

Disminución del flujo de agua y alta demanda de agua

El aumento de la demanda de agua desde las ciudades pudiera tener un impacto negativo sobre los niveles de agua de algunos embalses. Ésta es la situación del embalse Agua Fría, un cuerpo de agua oligotrófico localizado en un parque nacional (área protegida) que provee de agua potable a la ciudad de Los Teques (aproximadamente 172.000 habitantes). Esto pudiera afectar la calidad de sus aguas, ya que la vegetación sumergida pudiera quedar expuesta fuera del agua, lo que conllevaría a su descomposición y al subsiguiente aporte de nutrientes al embalse (González, 2002; González *et al.*, 2009a).

Otro ejemplo lo puede representar el embalse Camatagua, que constituye actualmente la mayor reserva de agua para la ciudad de Caracas. En años recientes, el cuerpo de agua sufrió una disminución significativa de su volumen que afectó el suministro de agua potable a la ciudad de Caracas. Este cambio pudiera ser atribuido a las actividades humanas en su cuenca de drenaje (deforestación, principalmente) y, probablemente, al cambio en los patrones de precipitaciones en la región. Desde el año 2001 hasta el año 2004, el nivel de las aguas permaneció 20 m por debajo de su nivel normal de operación, lo que generó un plan de racionamiento en el suministro de agua potable a la ciudad de Caracas (González *et al.*, 2009a).

6. Instrumentos legales y algunas normas regulatorias para el manejo de los recursos hídricos en Venezuela

En Venezuela existen muchas normas regulatorias y leyes relacionadas con el manejo y la conservación de los recursos hídricos, los cuales constituyen en sí mismos ejemplos de buenas prácticas relacionadas con el manejo de dichos recursos. La principal de ellas es la Constitución Nacional de la República Bolivariana de Venezuela, promulgada en el año 1999. Además de las resoluciones tradicionales de la soberanía nacional sobre sus espacios acuáticos (lacustre y fluvial, mar territorial y aguas marinas interiores), la Constitución Nacional establece artículos relacionados con los aspectos ambientales de los recursos hídricos y de la calidad de las aguas (MINAMB, 2006), y declara todas las aguas del dominio público del Estado, de conformidad con el Código Civil.

Otros ejemplos de leyes importantes se enumeran a continuación (según MINAMB, 2006):

- Ley Forestal de Suelos y de Aguas (1966): contiene una declaración de utilidad pública sobre la protección de las cuencas hidrográficas, las corrientes y las caídas de agua.
- Ley Orgánica del Ambiente (1976): se refiere, de modo holístico, a la protección del ambiente, incluidos los componentes acuáticos y los cuerpos de agua.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

- Ley Penal del Ambiente (1992): establece sanciones para aquellas acciones y actividades que perjudiquen el ambiente.
- Ley de Zonas Costeras (2001): regula la administración, uso y manejo de estas zonas con la finalidad de lograr su conservación y uso sostenible, lo cual incluye la protección de la diversidad biológica, el control de las actividades que pueden deteriorar el ambiente y el control de los contaminantes provenientes de fuentes terrestres y acuáticas, el tratamiento de las aguas servidas, la valoración económica de los recursos naturales, entre otras regulaciones.
- Ley sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos (2001): prohíbe la aplicación aérea de biocidas sobre los cuerpos de agua destinados para el consumo humano, riego y ganadería.
- Ley de Tierras y Desarrollo Agrario (2001): favorece la utilización racional de las aguas que pudieran ser usadas para el riego y la acuicultura.
- Ley Orgánica para la Prestación de los Servicios Públicos de Agua Potable y Saneamiento Ambiental (2001): atribuye competencias a los municipios para el control y la prestación de los servicios de agua.
- Ley Orgánica de los Espacios Acuáticos e Insulares (2002): promueve la cooperación internacional en asuntos relacionados con los cursos de agua y las cuencas hidrográficas transfronterizas.
- Ley de Pesca y Acuicultura (2003): consagra el principio de precaución para la protección del medio acuático.
- Ley Orgánica para la Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio (2005-2006): establece disposiciones que regirán el proceso general para la planificación y gestión de la ordenación del territorio, en concordancia con las realidades ecológicas y los principios, criterios y objetivos estratégicos del desarrollo sustentable.
- Ley de Aguas (actualmente en discusión en la Asamblea Nacional): establecerá las disposiciones que regirán la gestión integral de las aguas como elemento indispensable para la vida, el bienestar humano, el desarrollo sostenible del país y de carácter estratégico e interés de Estado.

Otras normas sublegales, relacionadas con la protección jurídica del agua y de los cuerpos de agua, son:

- Normas sobre la Regulación y el Control del Aprovechamiento de los Recursos Hídricos y las Cuencas Hidrográficas.
- Normas para la Clasificación y Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos (Decreto 883, 1995).
- Normas sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente.
- Normas para Regular las Actividades Capaces de Provocar Cambios de Flujo, Obstrucción de Cauces y Problemas de Sedimentación (1992).
- Decreto que rige el Uso de los Embalses Construidos por el Estado Venezolano y sus Áreas Adyacentes (1991).

El Estado venezolano tiene una preocupación relevante sobre sus recursos hídricos, aunque algunas malas prácticas pueden ser observadas en algunas regiones del país. Otros ejemplos de buenas y malas prácticas relativas al manejo de los recursos hídricos en Venezuela se ilustran en las siguientes secciones.

7. Instituciones relacionadas con el manejo y la investigación de los recursos hídricos

Hay varias instituciones involucradas con el manejo y la investigación de los recursos hídricos en Venezuela. MINAMB (2006) presenta una lista de algunas instituciones ligadas a la Administración Pública Nacional:

- Ministerio del Ambiente. Este Ministerio es la Autoridad Nacional sobre el agua.
- Ministerio de Relaciones Exteriores.
- Ministerio de Planificación y Desarrollo.
- Ministerio de Agricultura y Tierras.
- Ministerio de Salud.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deportes.
- Ministerio de Ciencia y Tecnología.
- Administraciones Públicas Estatales y Municipales: ligadas a las Gobernaciones y Alcaldías.
- Administración Pública Descentralizada y Empresas Gubernamentales: tales como Petróleos de Venezuela (PDVSA), Corporaciones Regionales de Desarrollo, Institutos Autónomos.
- Universidades Nacionales y Centros de Investigación: incluyen un Instituto Limnológico y Laboratorios de Limnología.
- Compañías hidrológicas, compañías privadas que dependen o están adscritas al Ministerio del Ambiente y están vinculadas con las actividades de suministro de agua potable y el saneamiento.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

8. Ejemplos de prácticas relacionadas con el manejo de los recursos hídricos en Venezuela

En Venezuela se pueden citar ejemplos de prácticas exitosas y no tan exitosas en el manejo de los recursos hídricos y la calidad de las aguas. El Estado venezolano, tal como se ha mencionado anteriormente, tiene una preocupación relevante en lo referente a sus recursos hídricos, y ha promulgado varias leyes y normas regulatorias para asegurar la protección de sus recursos naturales (acuáticos) y la calidad de las aguas suministradas para diversos propósitos. Además, el Ministerio del Ambiente ha invertido una gran cantidad de recursos monetarios para recuperar la calidad de las aguas en algunos embalses, así como también ha invertido bastante tiempo en la organización de las comunidades con la finalidad de capacitarlas para resolver sus problemas y proteger sus recursos naturales. Algunos ejemplos se detallan en las siguientes líneas.

8.1 Caso del embalse La Mariposa

El embalse sufre grandes y frecuentes fluctuaciones de su nivel como consecuencia de la alta demanda de agua de la ciudad de Caracas y por el bombeo de agua desde los embalses Camatagua y Lagartijo. Su cuenca está altamente impactada y erosionada, lo cual contribuye directamente con la entrada de altas cantidades de nutrientes y de sedimentos al cuerpo de agua.

En octubre de 2005, el jacinto de agua *Eichhornia crassipes*, también conocido localmente como "bora", comenzó a cubrir la superficie del embalse, lo que afectó aún más la calidad de sus aguas.

Desde enero hasta mayo de 2007 se realizó un proceso de remoción irregular de la macrófita, y debido a esta irregularidad, no tuvo éxito; las plantas cubrieron hasta 85% de la superficie del embalse. En mayo de 2007 se ordenó, desde el Ministerio del Ambiente, la remoción del jacinto de agua. La población de *E. crassipes* fue casi completamente removida en pocos días mediante cosecha mecánica. Sin embargo, la calidad del agua permaneció afectada, tal como puede observarse en el Cuadro 2, debido a que grandes cantidades de materia orgánica, proveniente de las plantas muertas, se acumularon en el lecho del embalse.

Cuadro 2. Calidad de las aguas en el embalse La Mariposa antes, durante y después de la presencia de *Eichhornia crassipes*

	Enero 2001	Enero 2007	Enero 2008
Transparencia (m)	0,7	1,3	0,3
Temperatura (°C)	24,9	24,6	25,2
Oxígeno disuelto (mg/L)	7,0	3,8	2,7
Conductividad (µS/cm)	302	347	416
pH	8,05	7,60	8,13
P total (µg/L)	123	153	308
N total (µg/L)	1.383	844	2.261
Condición	Sin *E. crassipes*	Cubierto con *E. crassipes*	*E. crassipes* removida

PARA USO RESTRINGIDO

La remoción del jacinto de agua fue la acción correcta, pero a fines del año 2008 la macrófita aumentó nuevamente su densidad poblacional a niveles elevados debido a la falta de una remoción sistemática de estas plantas. *E. crassipes* cubrió más del 50% de la superficie del agua nuevamente en febrero de 2009, y un nuevo plan de remoción se está aplicando en la actualidad. Las fuentes de eutrofización aún siguen presentes en el embalse y, por ello, si no es controlada, *E. crassipes* volverá a incrementar su abundancia una y otra vez.

8.2 Caso del embalse Pao-Cachinche

Los tributarios del embalse transportan aguas servidas sin tratamiento previo desde la ciudad de Valencia, además de aguas servidas provenientes de granjas avícolas y porcinas en sus alrededores. Así, los tributarios introducen grandes cantidades de nutrientes hacia el embalse (González *et al.*, 2004a; 2004b). Las floraciones de Cyanobacteria eran comunes durante el período de lluvias. Por todo ello, el embalse fue catalogado como altamente eutrofizado.

FORO CONSULTIVO

Luego de su caracterización limnológica, ejecutada por el Laboratorio de Limnología de la Universidad Central de Venezuela, fue sugerida una medida de mitigación a las compañías hidrológicas. De esta forma, a partir de noviembre del año 2001 se inició el proceso de desestratificación artificial del embalse, el cual controló efectivamente los efectos de eutrofización después de un año de operación continua, lo que representó el primer y exitoso caso de mejoramiento de la calidad de agua de un embalse en Venezuela (Estaba *et al.*, 2006). Los resultados de la desestratificación artificial se enumeran a continuación:

- Aumento de la transparencia del agua.
- Pérdida gradual de la estratificación térmica.
- Disminución de las concentraciones de oxígeno disuelto en el epilimnion (estrato superior de temperatura más elevada) en comparación con los valores previos de sobresaturación.
- Oxigenación del hipolimnion (estrato profundo de temperatura más fría).
- Disminución de los valores superficiales de pH.
- Disminución de las concentraciones de amonio, N-Kjeldahl y fósforo total.
- Homogeneización de las condiciones físicas y químicas.
- Disminución de las proporciones relativas de las cianobacterias.
- Ausencia de floraciones de cianobacterias.
- Aumento de las proporciones relativas de algas verdes (Chlorophyta).

Este caso representó un buen ejemplo de interacción entre científicos, planificadores, compañías hidrológicas y universidades, la cual logró el mejoramiento de la calidad del agua potable suministrada a la población. Sin embargo, el embalse Pao-Cachinche fue luego afectado como consecuencia del aumento del nivel de las aguas del lago de Valencia.

A finales de la década de los 70, el lago de Valencia sufrió un proceso natural de desecación, el cual fue acelerado por las actividades humanas, y así alcanzó su nivel más bajo (402 msnm). Desde entonces, el nivel de las aguas fue elevándose debido al desvío de los cursos de agua vecinos, principalmente el río Cabriales, hacia el lago. Como una consecuencia de este desvío, las aguas del lago de Valencia inundaron áreas agrícolas y urbanas, estas últimas construidas a pesar de que los asentamientos humanos estaban prohibidos en sus alrededores.

Debido a estos hechos, aunados a la presión de la población y de los medios de comunicación, desde noviembre de 2005 se desviaron los ríos Maruria y Cabriales desde el lago hacia la cuenca del río Pao a través del río Paito, uno de los afluentes principales del embalse Pao-Cachinche. La alta carga orgánica contenida en estos cursos de agua causó un nuevo agotamiento del oxígeno hipolimnético en la columna de agua del embalse, lo que revirtió todos los beneficios logrados luego de la desestratificación artificial. Actualmente, también se bombea agua del lago de Valencia directamente al río Paito.

Para mitigar esta situación, debe realizarse un tratamiento efectivo de las aguas servidas antes de que sean descargadas a los tributarios del embalse Pao-Cachinche. Debe imponerse un programa de reducción de nutrientes, con una protección real de la cuenca del embalse.

8.3 Normas regulatorias

Una de las principales normas regulatorias está representada por el Decreto 883, el cual fue promulgado en el año 1995. Entre otras disposiciones, se establecen límites máximos permitidos para las concentraciones de fósforo y nitrógeno en las aguas servidas: 10.000 µg/L para el fósforo total, 40.000 µg/L para el nitrógeno total y 10.000 µg/L para los nitratos + nitritos. Estos límites son excesivamente altos y, por eso, en nada contribuyen a mejorar o proteger la calidad de las aguas de los embalses. Actualmente, este decreto debe ser sometido a revisión.

8.4 Mesas Técnicas del Agua

El gobierno venezolano ha estimulado a las comunidades para que se involucren en el mejoramiento de sus calidades de vida. Las Mesas Técnicas de Agua (MTA) surgieron como una alternativa para la resolución, en una forma participativa, de problemas relacionados con el suministro de agua potable y el saneamiento ambiental en Venezuela. El gobierno venezolano también creó los Consejos Comunales del Agua, donde convergen todas las MTA para presentar sus problemas y proponer sus ideas (Salazar, 2009). Desde el año 1999 se han conformado organizaciones comunales en zonas rurales y urbanas, las cuales han sido llamadas "Mesas Técnicas de Agua" (MTA), que tienen como objetivo el mejoramiento del mantenimiento de los servicios de suministro de agua potable y saneamiento. Estas MTA se han convertido en un mecanismo fundamental en la organización de las comunidades, además de ayudar al desarrollo de una nueva cultura en lo que a la conservación del agua respecta.

Las Mesas Técnicas de Agua (MTA) son buenos ejemplos de participación de la comunidad. Basadas en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, la compañía hidrológica HIDROVEN y sus empresas filiales promovieron la conformación de estas MTA (Arconada, 2005, 2006).

La Constitución Nacional de Venezuela y la Ley Orgánica de Prestación de Servicios de Agua Potable y Saneamiento (LOPSAPS) establecen el marco legal y los mecanismos para la transferencia del manejo de los servicios de agua desde las compañías hidrológicas a los municipios.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

Las compañías hidrológicas, conjuntamente con las MTA, son corresponsables del diagnóstico de problemas, diseño y ejecución de proyectos y del ejercicio de funciones contraloras.

El gobierno venezolano creó el Fondo para el Financiamiento de los Proyectos Comunitarios a fin de darle soporte a estas MTA, las cuales se han convertido en una experiencia pionera en el manejo directo de los recursos financieros para la ejecución de los proyectos relacionados con el suministro de agua potable y el saneamiento. Las comunidades han diseñado estos proyectos por sí mismas. Así, el funcionamiento de las MTA es como sigue: las comunidades se reúnen, presentan sus problemas y exponen sus proyectos, y cuando se otorga el financiamiento, se lleva a cabo el trabajo.

Actualmente, en Venezuela operan más de 6.500 MTA. Algunos de sus logros son:

- Más de 1.200.000 habitantes han sido beneficiados.
- Más de 1.000 proyectos han sido ejecutados con una inversión de más de US$ 100.000.000.
- Inclusión de más de 600.000 habitantes en el sistema nacional de suministro de agua.

Esta estrategia de participación ha contribuido decisivamente con el objetivo principal de extender el acceso de la población al suministro de agua potable y al saneamiento. Además, las comunidades han ido ampliando su intervalo de intereses, ya que inicialmente sólo se preocupaban por los problemas inmediatos de acceso al suministro de agua potable y su calidad, pero ahora también consideran problemas más amplios, incluidos los problemas ambientales en las cuencas de los ríos.

En conclusión, en Venezuela hay un número creciente de comunidades que enfrentan sus propios problemas relacionados con el suministro de agua potable y el saneamiento, lo que aumenta la cobertura nacional de estos servicios (Cuadro 3).

Cuadro 3. Cobertura nacional de servicios de agua potable y saneamiento en Venezuela (1998-2003)

Año	Suministro de agua potable (% de la población)	Recolección de aguas residuales (% de la población)
1998	81,57	63,77
1999	83,66	64,38
2000	85,15	66,96
2001	86,37	68,15
2002	87,65	71,27
2003	89,27	71,69

Fuente: Modificado de Arconada (2005)

9. Conclusiones

Venezuela cuenta con abundantes recursos hídricos y experiencias valiosas para su manejo. Sin embargo, numerosos problemas persisten aún, los cuales deben ser afrontados. Las Academias Nacionales de Ciencias, a través del Programa de Aguas de IANAS, podrían contribuir mediante las siguientes acciones: promoción de mejores relaciones entre los científicos y los entes y las personas responsables de la toma de decisiones; promoción de cursos de especialización nacionales y regionales; promoción del fortalecimiento de las capacidades científicas entre los países; promoción de proyectos conjuntos; elaboración de guías que promuevan un manejo integrado de los recursos hídricos; promoción de los vínculos entre las agencias gubernamentales y las asociaciones profesionales relacionadas con el manejo de los recursos hídricos; promoción de la articulación entre los grupos científicos en las regiones; promoción de estudios que evalúen el valor ambiental del servicio de agua en términos de bienes ambientales y servicios; sensibilización sobre la necesidad de monitoreo sistemático y a largo plazo; sensibilización para incluir como prioridades en las agendas políticas el tratamiento y disposición de las aguas servidas. Todas estas acciones fortalecerían las capacidades nacionales para un manejo adecuado de los recursos hídricos.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

10. Reconocimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a las compañías hidrológicas HIDROVEN e HIDROCAPITAL, las cuales facilitaron la obtención de las referencias bibliográficas para la elaboración de este manuscrito.

11. Referencias

1. Álvarez, M. A., F. Méndez y J. Chirinos (2007). Estudio ambiental preliminar de los sedimentos de tres embalses de la región centro-norte de Venezuela. Ciencia, 15: 259-269.

2. Arconada, S. (2005). La experiencia venezolana en la lucha por un servicio de agua potable y saneamiento encaminado a cubrir las necesidades de la población. En: B. Balanyá, B. Brennan, O. Hoedeman, S. Kishimoto y P. Terhorst. Por un modelo público de agua. Triunfos, luchas y sueños. Transnational Institute, Corporate Europe Observatory y El viejo topo, Amsterdam: 141-146.
3. Arconada, S. (2006). Mesas Técnicas de Agua y Consejos Comunitarios de Agua. Revista Venezolana de Economía y Ciencias Sociales, 12: 127-132.
4. Cabrera, A. L y A. Willink (1980). Biogeografía de América Latina. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa de Desarrollo Científico y Tecnológico. Serie de Biología N° 13. Washington, D. C., 122 pp.
5. Cañizales, A., S. Peñuela, D. Díaz Martín, M. E. Febres, O. Caldera, L. Valderrama y E. Mujica (2006). Gestión integrada de los recursos hídricos en Venezuela. Informe del Proyecto de Gestión Integrada de Hídricos. Vitales. Caracas, 60 pp.
6. Estaba, M. de, E. J. González y M. L. Matos (2006). Desestratificación artificial en el embalse Pao-Cachinche: Primer y exitoso caso de mejoramiento de la calidad del agua en 17 Venezuela. En: J. G. Tundisi, T. Matsumura-Tundisi y C. Sidagis-Galli (eds.). Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gestão. Rede EUTROSUL, PROSUL, Instituto Internacional de Ecologia. São Carlos, Brasil: 439-456.
7. Gaceta Oficial (1995). Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. Decreto 883. República de Venezuela. Caracas.
8. Gobierno en Línea (2009). Venezuela. En: www.gobiernoenlinea.ve/venezuela (consulta: 17 de febrero de 2009).
9. González, E. J. (2000). Nutrient enrichment and zooplankton effects on the phytoplankton community in microcosms from El Andino reservoir (Venezuela). Hydrobiologia, 434(1): 81-96.
10. González, E. J. (2002). Caracterización limnológica de los embalses Agua Fría (Estado Miranda) y Tierra Blanca (Estado Guárico). Proyecto S1–98001361. Etapa I: Caracterización limnológica del embalse Agua Fría (Parque Nacional Macarao, Estado Miranda). Informe técnico presentado al FONACIT. Caracas.
11. González, E. J. (2008). Eutrofización de embalses en Venezuela. Memorias del Instituto de Biología Experimental, 5: 169-172.
12. González, E. J. y M. Ortaz (1998). Efectos del enriquecimiento con N y P sobre la comunidad del fitoplancton en microcosmos de un embalse tropical (La Mariposa, Venezuela). Revista de Biología Tropical, 46: 27-34.
13. González, E. J., M. Ortaz, C. Peñaherrera y M. L. Matos (2002). Eutrofización y manejo de embalses en Venezuela. Caso del embalse Pao-Cachinche. En: A. Fernández-Cirelli y G. Chalar-Marquisá (eds.). El agua en Iberoamérica. De la Limnología a la Gestión en Sudamérica. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CYTED XVII. Aprovechamiento y Gestión de Recursos Hídricos; Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua; Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires: 81-90.
14. González, E. J., M. Ortaz, C. Peñaherrera, E. Montes, M. L. Matos y J. Mendoza (2003). Fitoplancton de cinco embalses de Venezuela con diferentes estados tróficos. Limnetica, 22: 15-35.
15. González, E. J., M. Ortaz, C. Peñaherrera y A. Infante (2004). Physical and chemical features of a tropical hypertrophic reservoir permanently stratified. Hydrobiologia, 522: 301-310.
16. González, E. J., M. Ortaz, C. Peñaherrera y M. L. Matos (2004). Fitoplancton de un embalse tropical hipereutrófico (Pao-Cachinche, Venezuela): Abundancia, biomasa y producción primaria. Interciencia, 29: 548-555.
17. González; E. J., M. L. Matos y M. Ortaz (2009a). Management and general problems of ten reservoirs in North–Central Venezuela. Interacademy Panel Water Programme Regional Workshop for the Americas.
18. González, E. J., M. A. Álvarez, M. Barrero y H. Finol (2009b). Limnología y efecto de los impactos antrópicos sobre los peces de interés comercial del embalse de Suata (Estado Aragua) y del Lago de Valencia (Estados Aragua y Carabobo). Informe final de la Etapa I del Proyecto de Grupo PG 03.00.6495.2006. Informe técnico presentado al CDCH-UCV. Caracas.
19. Infante, A., O. Infante, T. Vegas y W. Riehl (1992). Proyecto multinacional de medio ambiente y de los recursos naturales. Informe I etapa (embalses Camatagua, Guanapito y Lagartijo, Venezuela, y Las Canoas, Nicaragua). Universidad Central de Venezuela y Organización de los Estados Americanos. Caracas.
20. Infante, A., O. Infante y E. J. González (1995). Proyecto Multinacional de Medio Ambiente y de

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

los Recursos Naturales. Informe final: II etapa (embalses El Andino y El Cují). Universidad Central de Venezuela y Organización de los Estados Americanos. Caracas.

21. MINAMB (2006). Recursos hídricos de Venezuela. Ministerio del Ambiente y Fundambiente. Caracas, 167 pp.
22. MINAMB (2007). Rehabilitación de presas a nivel nacional. Organización para la rehabilitación y mantenimiento de embalses. Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MINAMB). Serie de Informes Técnicos, DGEA/IT/864. No. X-002/P-129/02 Rev. B. Caracas.
23. Ortaz, M., E. J. González, J. Manduca, C. Peñaherrera y E. Montes (1999). Características limnológicas de los embalses La Pereza, Lagartijo, La Mariposa y Quebrada Seca y preservación del zooplancton como controlador de microalgas, mediante técnicas de biomanipulación. Informe técnico presentado a las compañías Hidroimpacto C.A. e Hidrocapital. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
24. Páez, R., G. Ruiz, R. Márquez, L. M. Soto, M. Montiel y C. López (2001). Limnological studies on a shallow reservoir in western Venezuela (Tulé reservoir). Limnologica, 31: 139-145.
25. Rodríguez-Betancourt, R. y J. González-Aguirre (2000). El manejo de los recursos hídricos en Venezuela. Instituto Internacional del Manejo del Agua. IWMI, Serie Latinoamericana N° 18. México, D. F., 42 pp.
26. Salazar, M. C. (2009). Collective Solutions to Water and Sanitation Problems. En: B. Bell, J. Conant, M. Olivera, C. Pinkstaff y P. Terhorst (eds.). Changing the Flow: Water Movements in Latin America. Food and Water Watch, Other Worlds, Reclaiming Public Water, Red VIDA & Transnational Institute, Amsterdam: 36-37.

PARA USO RESTRINGIDO
FORO CONSULTIVO

PARA USO RESTRINGIDO

Esta obra se terminó de
imprimir el mes de marzo
de 2012, con un tiraje de
1,000 ejemplares, en los
talleres de Imagen Maestra

FORO CONSULTIVO