

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

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

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

ISBN: 978-607-9217-04-4

Impreso en México

DIAGNÓSTICO DEL AGUA EN LAS AMÉRICAS

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

COORDINADORES
BLANCA JIMÉNEZ CISNEROS
JOSÉ GALIZIA TUNDISI



Prólogo

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

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.

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 Lacleste
Copresidentes de IANAS

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.

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.

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

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.

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 aguas 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 |

| | |
|---|------------|
| ■ 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 |

| | |
|--|-----|
| 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 sequías | 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 |

| | |
|--|-----|
| 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 |

■ 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 |

■ 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 |

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 escasez 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

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



Laguna Azul, río Celeste, Parque Nacional Volcán Tenorio, Costa Rica
http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Laguna_azul,_Rio_Celeste,_Parq_Tenorio.jpg

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

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 $25,900 \text{ m}^3/\text{hab.}^{-1}/\text{año}^{-1}$) 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

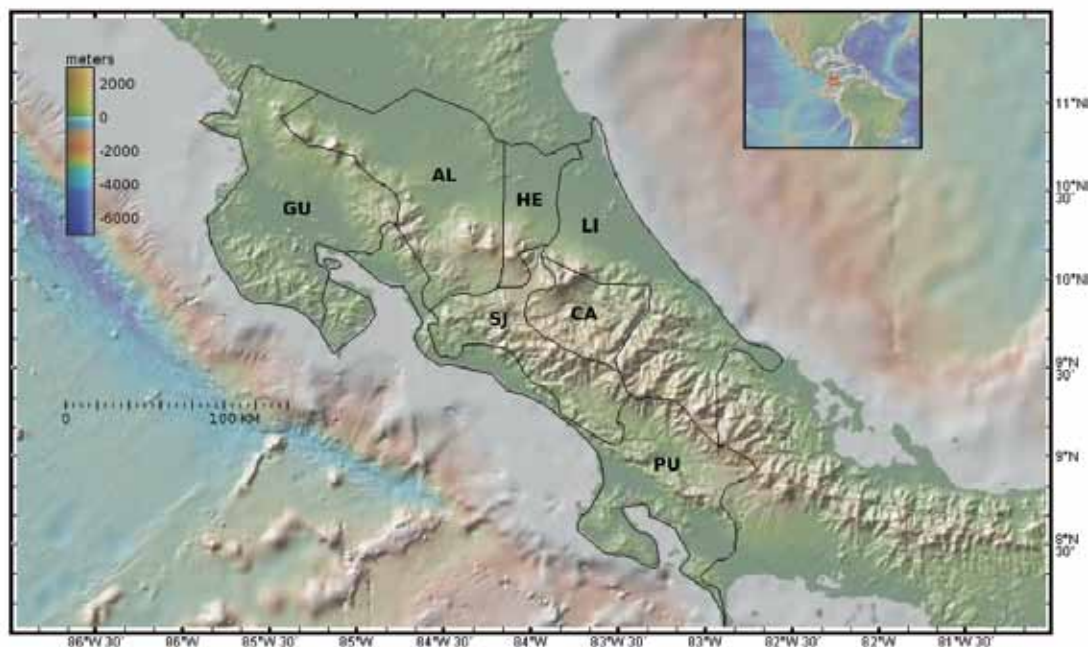
La República de Costa Rica obtuvo su independencia de la Corona Española en 1821 y es considerada la democracia más antigua y sólida de Latinoamérica. Aunque desde su emancipación han habido disturbios del orden institucional (como en el resto de los países de la región), desde 1948 el país ha consolidado 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 continúa 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)

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

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 na-

cional 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 (km ²) |
|----------------------|----------------------|---------------|--------------------------------|
| 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 in-

tegrado 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 |

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):

$$P - E - ETR + \text{error} = 0 \quad (\text{Ecuación 1})$$

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 km³ o 0.5% del ATRHR (Ministerio de Salud *et al.*, 2003) hasta 2.68 km³ 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 m³/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.

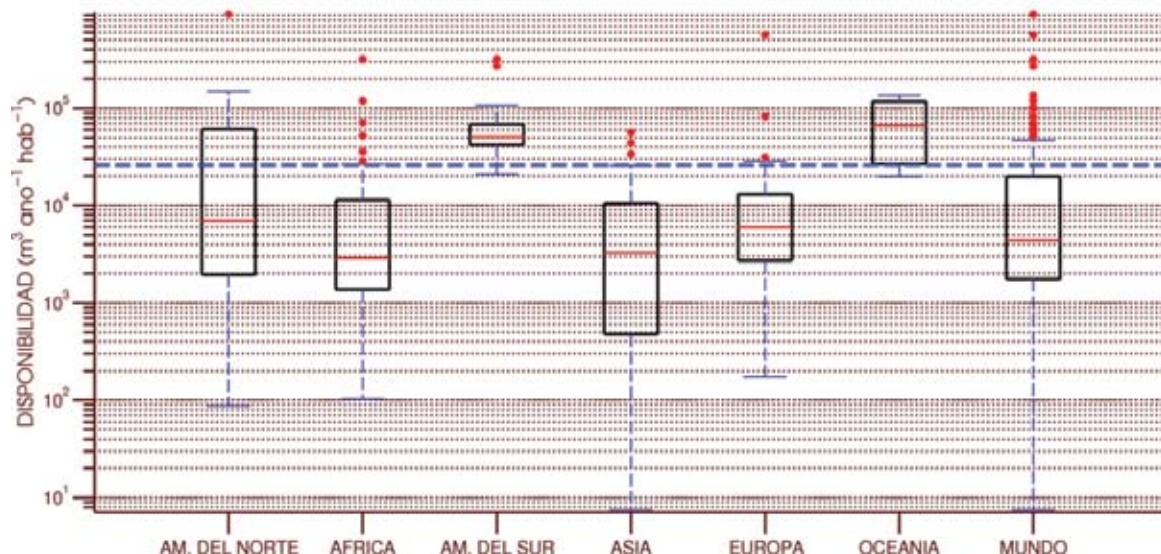
Aproximadamente el doble del volumen de agua que se usa para agricultura es utilizado para generación hidroeléctrica, pero como esta agua es devuelta al río, no se considera en este estudio como parte del consumo anual de 2.68 km³. Hay plantas hidroeléctricas de diferente capacidad en cerca de 38% de 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 km² 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-

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

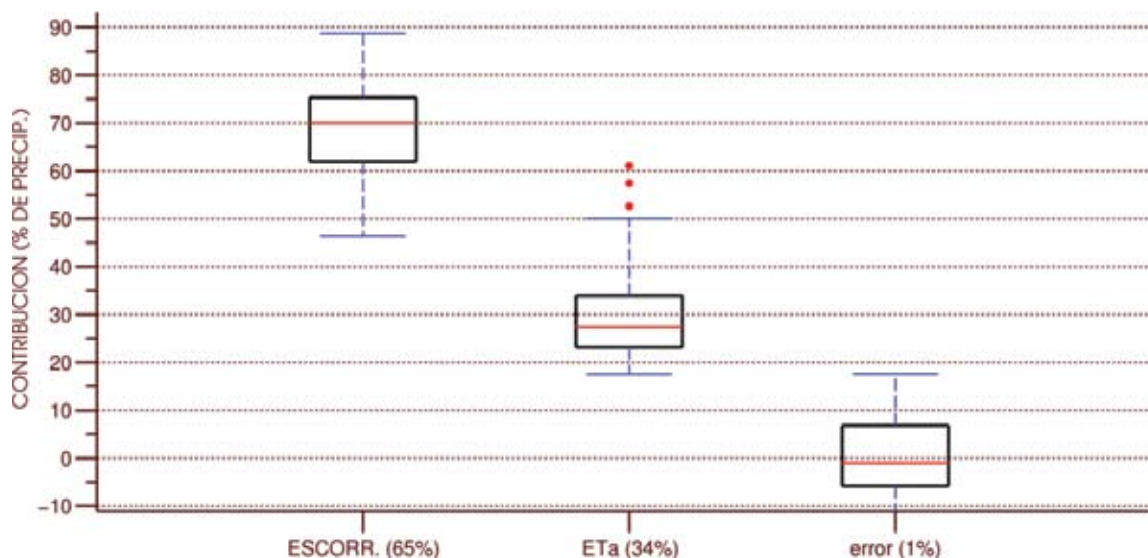
caso de la industria turística, una fracción del agua se usa en proveer recreación, y f) otros usos relacionados. Debido a la falta de plantas de tratamiento, hay un considerable

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·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.)

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

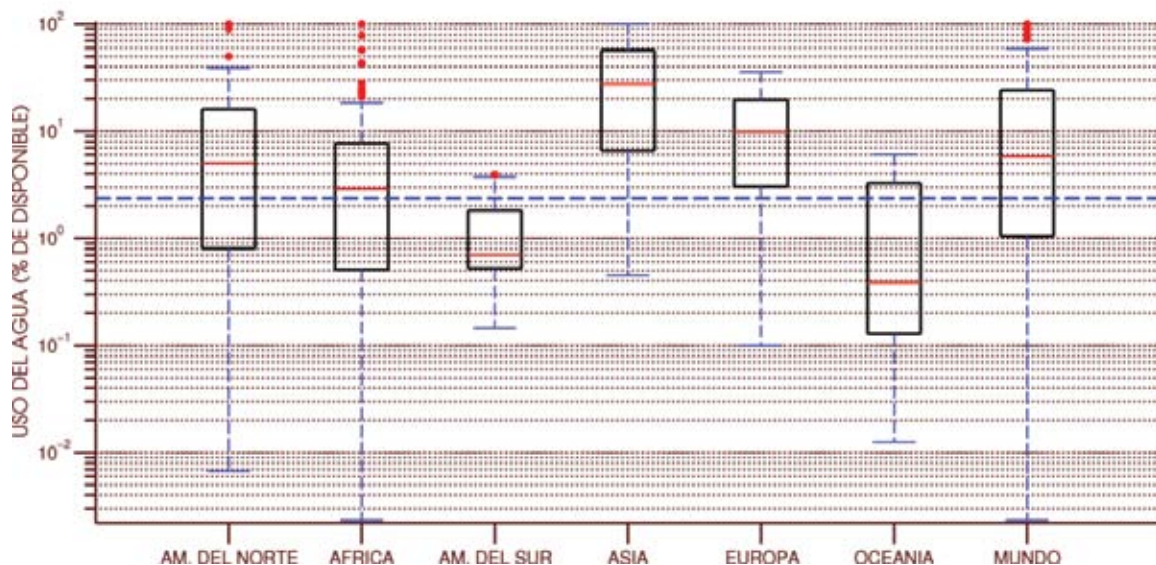
El uso relativamente bajo del agua comparado con el ATRHR y el alto promedio de ATRHR (Figuras 2 y 4) pueden ser indicadores engañosos del potencial de explotación adicional que puede ser sostenible o deseable para cierta región. Por ejemplo, el reporte de 2008 del Estado de la Nación (Programa Estado 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).

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 esfuer-

zos 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,

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

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 & Schmidh (1992):

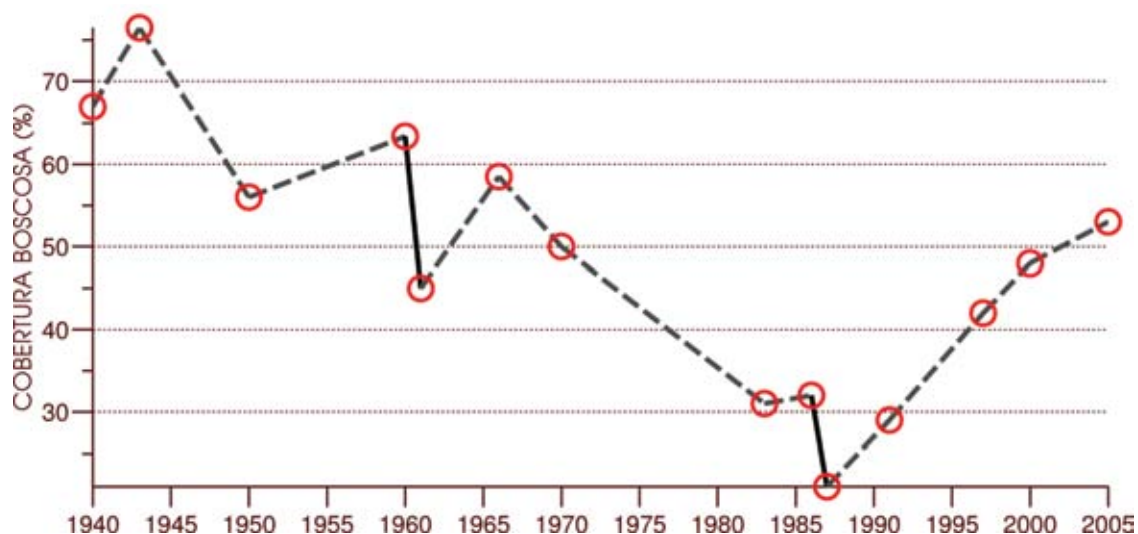
"En resumen, las exportaciones de esta nación (Costa Rica) aumentaron casi 500 por ciento desde los 60 hasta finales de los 80. Adicionalmente, las tierras

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

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 agua¹

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

¹ Mucho del material de esta sección fue obtenido bajo permiso de Salazar (1998)

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.

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 judicial, 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 provisiones en varios artículos relacio-

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 reuso 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.

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.

"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).

"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:

- Las áreas que bordeen nacientes permanentes, definidas en un radio de cien metros medidos de modo horizontal.
- 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.
- 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 cli-

matológicamente 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

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.

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 Scheuentsuhl. 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

- 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.
- 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.
- AyA (2007), *Plan Estratégico Institucional 2007-2015*, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, San José, Costa Rica, 65 pp.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Fernández, W.; R. E. Chacon, y J. W. Megarejo (1996), On the Rainfall Distribution with Altitude in Costa Rica, *Revista Geofísica*, 44, 57-72.
- 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.
- IMN (1985), *Atlas climatológico (1961-1980)*, Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, San José, Costa Rica. <http://www.imn.ac.cr/mapa_clima/atlas_clima/atlas%20clima.html>, Consultado: 1 de enero de 2010.
- 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.
- 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.
- 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.
- Magaña, V.; J. A. Amador, y S. Medina (1999), The Midsummer Drought over Mexico and Central America, *Journal of Climate*, 1577-1588.
- 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.
- MINAET (2009), *Avance Formulación R-PP para Costa Rica*, Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, 24 pp.
- Ministerio de Salud y Organización Panamericana de la Salud (2003), *Calidad del agua potable en Cos-*

- 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 domiciliarias, *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 Desarrollo, 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.