

**HENRY BLANCO**

Ingeniero civil, Universidad Central de Venezuela (UCV), 1990. M.Sc. en Ingeniería Sanitaria, Mención Calidad del Agua, UCV, 1997. Profesor asistente del Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, adscrito a la Planta Experimental de Tratamiento de Aguas, Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, UCV. Cargos académico-administrativos: jefe de la Planta Experimental de Tratamiento de Aguas, jefe de Control de Estudios en la Facultad de Ingeniería y director de la Escuela de Ingeniería Civil. Docencia e investigación en las áreas de calidad del agua; tratamiento para potabilización de aguas; saneamiento ambiental y tratamiento de aguas residuales. Áreas de interés: caracterización de líquidos residuales y residuos sólidos; manejo de plantas potabilizadoras y de tratamiento de líquidos residuales; infraestructura para el saneamiento básico (letrinas); vulnerabilidad en sistemas de abastecimiento de agua, entre otras. Cuenta con más de cuarenta trabajos entre publicaciones y tesis de grado, ha asistido a congresos y participado en comisiones nacionales e internacionales.

**MARÍA VIRGINIA NAJUL**

Ingeniero químico, Universidad Simón Bolívar (USB), Caracas, 1977. M.Sc. en Ingeniería Sanitaria, Mención Calidad del Agua, Universidad Central de Venezuela (UCV), 1980. Profesora agregada del Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, adscrita a la Planta Experimental de Tratamiento de Aguas, Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, UCV. Cargos académico-administrativos: jefe de la Planta Experimental de Tratamiento de Aguas, jefe de Departamento de Ingeniería Sanitaria y actualmente directora de la Coordinación de Extensión de la Facultad de Ingeniería. Docencia e investigación en las áreas de tratamiento de potabilización de aguas, manejo de residuos industriales, aprovechamiento de aguas subterráneas y química ambiental. Las principales áreas de interés incluyen: manejo y aplicación de buenas prácticas en potabilización de aguas; caracterización de aguas y aguas residuales, domésticas e industriales; desarrollo e incorporación de estrategias de producción más limpia; gestión de riesgos y análisis de vulnerabilidad; aprendizaje tecnológico y gestión ambiental para el desarrollo industrial sustentable. Cuenta con más de cincuenta publicaciones, ha asistido a más de veinte congresos y reuniones técnicas nacionales e internacionales, ha sido tutora en más de veinte tesis de grado.

**REBECA SÁNCHEZ**

Ingeniero químico, Instituto Universitario Politécnico de Barquisimeto (UNEXPO), 1977. M.Sc. en Ingeniería Sanitaria, Mención Calidad del Agua, Universidad Central de Venezuela (UCV), 1980. M.Sc. en Investigación de Operaciones, UCV, 1997. Profesora asociada adscrita al Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, UCV, actualmente ejerce el cargo de directora de la Coordinación de Investigación de la Facultad de Ingeniería, UCV. Realiza docencia e investigación en el área de manejo integral de desperdicios (sólidos y líquidos) en el sector municipal e industrial. Las áreas de interés se concentran en: aprovechamiento de residuos sólidos; caracterización de residuos sólidos; gestión de residuos sólidos municipales; modelos de gestión; desarrollo de herramientas para el soporte de decisiones en materia ambiental; evaluación ambiental; tecnologías para el tratamiento de residuos; desarrollo e incorporación de estrategias de producción más limpia; desarrollo de métodos y técnicas aplicables a la evaluación ambiental; aprendizaje tecnológico y gestión ambiental para el desarrollo industrial sustentable y municipal. Cuenta con más de ochenta publicaciones y ha sido tutora de más de treinta tesis de grado.

HENRY BLANCO  
MARÍA VIRGINIA NAJUL  
REBECA SÁNCHEZ

## **CONTENIDO**

- 7.1. Calidad del agua *pág.*255
  - 7.2. Contaminación del agua en Venezuela: casos para la reflexión *pág.*262
  - 7.3. Instrumentos y estrategias de gestión para enfrentar la contaminación de los cuerpos de agua en Venezuela *pág.*274
- Referencias *pág.*281

- 1 Uno de los factores clave para avanzar hacia el desarrollo sustentable, es la disponibilidad de recursos hídricos en condiciones y cantidades suficientes para satisfacer la creciente demanda de agua, no solo para atender las necesidades de los seres humanos, incluyendo los requerimientos de las actividades agropecuarias e industriales, sino también mantener la salud de los ecosistemas (UNESCO, 2012). Ante este planteamiento se impone la necesidad de gestionar los recursos hídricos con un enfoque integral apoyado sobre la base de sus características naturales y tomando en cuenta que es un recurso limitado de usos múltiples, que necesita criterios apropiados para su asignación y protección y debe ser considerado como un bien económico, social y ambiental.
- 2 En este capítulo se revisa el concepto de calidad de agua en el contexto de las tendencias en materia de gestión de los recursos hídricos y se analiza, en primer lugar, la variación de la calidad de los cuerpos de agua como producto de las descargas de las distintas actividades humanas, que superan su capacidad autopurificadora y, en consecuencia, limitan sus posibilidades de uso. Posteriormente se ilustra, mediante la descripción de casos, los problemas causados por la contaminación de cuerpos de agua en Venezuela y finalmente se abordan las herramientas de gestión, referidas a los instrumentos legales y la factibilidad técnica y económica para enfrentar los problemas de contaminación, en el marco de las prácticas preventivas, destacando los avances en Venezuela.

## 7. 1. CALIDAD DEL AGUA

(\*)

«Es común invertir recursos en programas de caracterización de cuerpos de agua que solo llegan hasta generar datos y realizar diagnósticos para un momento específico, sin proponer mejoras y mucho menos ejecutarlas. Lamentablemente los nuevos recursos que se invierten en diagnósticos adicionales sobre el mismo cuerpo de agua no consideran los realizados con anterioridad».

- 3 Definir «calidad del agua» ha sido objeto de largas discusiones, debido a la complejidad de los factores que la determinan (\*).
- 4 Tradicionalmente era considerada casi exclusivamente como un problema de salud pública. En consecuencia, la protección de los cuerpos de agua se dirigía fundamentalmente a evitar la descarga de sustancias tóxicas y organismos patógenos que pudieran afectar su posibilidad de uso para abastecimiento humano. El rol de la gestión era básicamente seleccionar los parámetros a determinar y los valores que garantizaran la salud de las personas, como base de los programas de caracterización, entendidos estos como la captación y análisis de muestras de agua para generar un cúmulo de datos que definieran su calidad.
- 5 Ello se refleja en las «Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos», Decreto 883 (GORV,1995), donde se define: «Calidad de un cuerpo de agua: Caracterización física, química y biológica de aguas naturales para determinar su composición y utilidad al hombre y demás seres vivos». Esta definición luce incompleta ya que el proceso de valoración de la calidad del agua consiste en la evaluación de la naturaleza física, química y biológica del agua relacionada con su calidad natural, los efectos a la salud humana y los otros usos consuntivos, así como la salud del ambiente acuático en sí mismo (UNESCO/WHO/UNEP,1996).
- 6 En la actualidad se prefiere hacer referencia al término calidad del ambiente acuático, definido como el conjunto de concentraciones, especificaciones y distribución de

sustancias orgánicas e inorgánicas que le confieren una cierta condición a la biota acuática en un cuerpo de agua, considerando además los posibles usos intencionales de los recursos hídricos, la necesidad de mantener el equilibrio ecológico en un cuerpo de agua en particular y del ciclo hidrológico en general (FERRARA *et al.*, 2007).

- 7 La determinación de los parámetros de calidad del agua se hace con base en criterios físicos, químicos, biológicos y estéticos que consideran la dinámica de los procesos y elementos que los afectan, así como la capacidad del recurso o del ecosistema para soportar presiones y capacidad de autodepuración. Estos parámetros de calidad se fijan de manera diferenciada, de conformidad con los diversos usos a los que se pretende destinar el recurso: consumo humano, industria, riego, recreación, vida acuática, entre otros (PROSAP, 2010).
- 8 Por ejemplo, características hidráulicas tales como caudal y velocidad son necesarias para entender el comportamiento hidráulico del cuerpo de agua, mientras que para la descarga permiten estimar los aportes máxicos de los contaminantes. En el caso de los constituyentes, su determinación es útil en el conocimiento del origen y potenciales usos del cuerpo de agua, mientras que su conocimiento en la descarga suministra información sobre su agresividad y afectación del medio receptor (\*).

(\*)  
La calidad del agua es un concepto dinámico e implica un juicio de valor sobre el recurso en función del uso. Abarca un amplio rango de composiciones, dependiendo del lugar donde se localice y época del año.

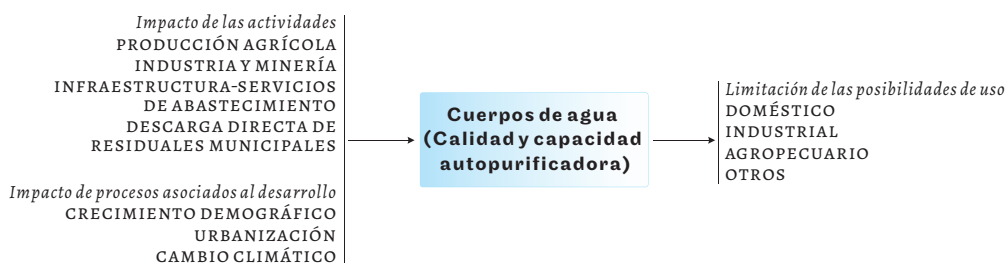
#### **7. 1. 1. CAMBIOS EN LA CALIDAD DEL AGUA. CAUSAS Y EFECTOS**

- 9 La calidad del ambiente acuático muestra variaciones temporales y espaciales debido a factores internos y externos al cuerpo de agua.
- 10 Los factores internos son aquellos relacionados al entorno donde se encuentra el recurso, incluyendo las características geoquímicas e hidrogeológicas de la cuenca, la intensidad de las precipitaciones, el tipo de vegetación y su abundancia, así como la temperatura, entre otros.
- 11 Los factores externos están asociados a la descarga de vertidos artificiales, a través de los cuales se introducen en el medio acuático sustancias o energía, naturalmente ausentes o en cantidades que superan las condiciones originales y que por su naturaleza extraña no pueden ser asimiladas por el cuerpo de agua, provocando efectos perjudiciales como daños a los recursos vivos y a la salud humana, obstáculo a las actividades acuáticas, impedimento del uso del agua en labores domésticas, industriales, agrícolas y otras actividades económicas; así como también la reducción o pérdida de confort.
- 12 Uno de los principales retos que enfrentan los países es el seguimiento y control de la calidad de sus recursos hídricos, a fin de preservarlos y asegurar su disponibilidad en el futuro. Algunos países han orientado sus estrategias hacia el control de las descargas, para lo cual se aprueban normas donde se establecen valores permisibles para los diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos de las descargas puntuales y difusas provenientes de la actividad municipal, industrial o agropecuaria, haciendo énfasis en los principales contaminantes aportados por estos vertidos.

- 13 No obstante y teniendo en cuenta la necesidad de analizar la problemática con un enfoque integral, las nuevas tendencias se orientan a considerar las principales causas de las alteraciones reversibles o irreversibles de la calidad del agua, agrupadas en cuatro grandes categorías: producción agrícola, actividad industrial y minería, infraestructura para el aprovechamiento del agua y la descarga directa de líquidos residuales municipales. Se considera, además, la existencia de procesos que tienen y continuarán teniendo un impacto en la calidad del agua, tales como el crecimiento demográfico, la urbanización y el cambio climático, debiéndose resaltar la amenaza que representa este último como responsable de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico. Las consecuencias de estas alteraciones se reflejan en cambios cuya combinación puede resultar en un efecto sinérgico que redunde en una drástica disminución de la disponibilidad de este escaso recurso.
- 14 La figura 7.1 ilustra el impacto de las descargas producto de las distintas actividades en los cuerpos de agua, alterando la calidad del ambiente acuático, sobrepasando su capacidad amortiguadora y limitando sus posibilidades de uso.

**FIGURA 7.1** Impacto de las descargas en la calidad del ambiente acuático

Fuente: Elaboración propia



- 15 Satisfacer las necesidades de bienes y servicios para el progresivo mejoramiento de la calidad de vida de las personas, obliga a la explotación y transformación de los recursos naturales. Aun cuando ellas se realicen respetando los principios de sustentabilidad ambiental, constituyen una amenaza para la preservación de la calidad de los recursos hídricos. A continuación se destacan los posibles cambios en los cuerpos de agua y, por ende, en su calidad, producto de las descargas de las distintas actividades humanas y procesos globales, señalados anteriormente.

(nota 1)

Enriquecimiento de nutrientes en un cuerpo de agua que no puede ser controlado de forma natural, que causa un crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas, disminuyendo la biodiversidad. El proceso de descomposición de la biomasa generada disminuye los niveles de oxígeno, afectando la vida acuática.

(nota 2)

Mayor a 25 mg NO<sub>3</sub> / l.

– I) **Producción agrícola:** se considera uno de los sectores que más contribuye a la productividad económica, pero también aporta más contaminantes al agua en forma puntual o difusa. Incluye además de los cultivos y actividad ganadera, las operaciones de acuicultura. Se le atribuye el incremento de nitrógeno y fósforo –nutrientes responsables del proceso de eutrofización (nota 1)–, el escurrimiento de plaguicidas a las aguas superficiales y subterráneas, la salinización, así como la erosión y alteración de los patrones de sedimentación de los cuerpos de agua superficiales. Según datos del UNEP GEMS/WATER (2007), en la última década ha incrementado la concentración de nitrato (nota 2) significativamente, en las cuencas hidrográficas más importantes de América, Europa, Australia, África y Mediterráneo oriental.

– II) **Actividad industrial y producción de energía:** esta actividad consume casi el 20% del total del agua extraída a nivel mundial y generalmente retornan a la fuente

(nota 3)

Entre los sectores industriales con mayor potencial de contaminación se incluyen las centrales eléctricas, pulpa y papel, farmacéutico, química, petroquímica y minería, entre otros.

en condición degradada (UN-WWAP, 2009). Entre los contaminantes presentes en las descargas de estas industrias (nota 3) destacan una diversidad de sustancias químicas: solventes orgánicos, biocidas inorgánicos, bifenilos policlorados –PBC por sus siglas en inglés– y asbesto, entre otros; metales, nutrientes, sólidos suspendidos sedimentables, productos farmacéuticos y de cuidado personal, así como los aportes de materia orgánica biodegradable procedentes principalmente de la agroindustria.

A nivel mundial, se estima que la actividad industrial es responsable de la descarga de 300 a 400 millones de toneladas de metales pesados, disolventes, lodos tóxicos y otros desechos al medio receptor (UN-WWAP, 2009). No obstante se debe reconocer que el sector industrial ha venido realizando importantes esfuerzos por reducir la descarga directa de sus líquidos residuales especialmente en los países desarrollados. Un reporte de la OECD señala que sus países miembros redujeron entre 70 y 90% las descargas de metales pesados y químicos persistentes (OECD, 2006).

Los principales problemas de la generación de energía se relacionan con la cantidad de agua requerida para enfriamiento, el calentamiento de los cuerpos receptores y la contaminación de aguas subterráneas durante la perforación de pozos de petróleo y gas.

- III) *Minería*: es otra de las actividades con mayor impacto en la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. Los principales problemas se asocian a las importantes cantidades de agua requeridas para la extracción de minerales y combustibles fósiles, la generación de materiales de desecho, así como aguas de drenaje con pH extremos (fuertemente ácidos o básicos) y contaminadas con metales tales como: plomo, arsénico y zinc; lixiviados de azufre y mercurio u otros metales utilizados en la extracción y procesamiento de los minerales (PALANIAPPAN *et al.*, 2010).
- IV) *Infraestructura*: incluye fundamentalmente las obras construidas –presas–, que alteran el régimen hidrológico natural de cursos de agua, con fines de almacenamiento, recreación y control de inundaciones o sistemas de extracción para suministro de agua para riego y sistemas de abastecimiento. Su construcción afecta el tamaño, distribución y patrones de circulación de los cursos de agua. Las zonas de embalse modifican los regímenes de temperatura en el sistema hídrico y atrapan sedimentos y fuentes de alimentos que antes eran utilizados aguas abajo de la obra. Las obras de extracción de agua reducen los flujos naturales pudiendo ocasionar cambios físicos, químicos y geomorfológicos, que terminan perturbando la productividad biológica y las características de los ecosistemas acuáticos. A pesar de ello, deben colocarse en una balanza los beneficios y los daños, con miras a prevenir los efectos negativos.
- V) *Disposición incontrolada de líquidos residuales municipales*: la falta de sistemas de saneamiento, así como la disposición de líquidos residuales parcial o inadecuadamente tratados, continúa siendo una de las principales causas de contaminación de las aguas. Según cifras de UNICEF-WHO (2008), 2,5 millones de personas en el mundo viven sin servicios apropiados de saneamiento. La incorporación de microorganismos patógenos asociada a estas descargas, así como el aporte de materia orgánica biodegradable, constituyen una amenaza para la preservación de las posibles fuentes de abastecimiento y para la salud de las personas.
- VI) *Crecimiento poblacional, urbanización y desarrollo*: es uno de los procesos de mayor impacto y complejidad en relación con la gestión de los recursos hídricos. El incremento sostenido de la población cada vez más concentrada en zonas urbanas, genera mayores demandas de agua para consumo, así como la necesidad de aumentar la productividad agrícola e industrial y en consecuencia mayores presiones sobre los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Se estima que para el año 2050, la

población mundial superará los 9 mil millones de personas –un aumento de casi la mitad de la población del año 2000–, ocurriendo el mayor crecimiento en los países en desarrollo, que ya sufren de escasez de agua.

Otras estimaciones revelan que a escala mundial el 42% del agua que se utiliza para fines domésticos y municipales, se devuelve al medio receptor, lo que representa aproximadamente el 11% del total de aguas residuales. En países en desarrollo, las inversiones en instalaciones de tratamiento de agua son insuficientes para atender las necesidades impuestas por el ritmo de crecimiento de la población (nota 4), dejando la mayor parte de las aguas residuales sin tratar (PALANIAPPAN *et al.*, 2010).

Este panorama hace suponer que los aportes de contaminantes provenientes de las actividades mencionadas, seguirán aumentando y deteriorando la calidad de los recursos hídricos disponibles, a menos que se adopten medidas y estrategias de gestión efectivas para minimizar las consecuencias de la situación planteada.

–VII) *Cambio climático*: es el fenómeno con mayor impacto sobre los recursos de agua fresca, la calidad del agua y las estrategias de gestión (PALANIAPPAN *et al.*, 2010).

Existe evidencia del incremento de las temperaturas globales superficiales y la aceleración de la tasa de calentamiento. Su aumento, así como cambios en la frecuencia y cantidad de la escorrentía, tienden a producir cambios desfavorables en la calidad de las aguas superficiales que a su vez afectan la salud humana y los ecosistemas.

La temperatura del agua, factor determinante para la calidad de las aguas superficiales, controla la vida acuática, regula la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, e influye en la velocidad de las reacciones químicas y biológicas. Como resultado del cambio climático, se espera un aumento gradual de las temperaturas del agua y en consecuencia, aceleración de la productividad biológica, aumento en la cantidad de bacterias y hongos en el agua y favorece la proliferación de algas (KUNDZEWICZ *et al.*, 2007).

Los modelos climáticos sugieren que como consecuencia de este fenómeno global, existe una alta probabilidad de que haya una mayor variabilidad del clima y aumente el riesgo de que ocurran extremos hidrológicos como inundaciones y sequías.

- 16 Las alteraciones descritas se reflejan en cambios de los factores de calidad del agua, que pueden resumirse en incremento de nutrientes, salinidad, carga de sedimentos, contenido de materia orgánica biodegradable, organismos patógenos, metales traza, productos químicos, alteración de la temperatura, acidificación, entre otros, que impactan tanto al ambiente acuático como las posibilidades de su aprovechamiento. A esto se suma la introducción de especies que desplazan las originarias o autóctonas, agentes contaminantes y patógenos emergentes, para los cuales no se conocen métodos de detección ni tecnologías para su control.

#### 7. 1. 2. CAPACIDAD AUTOPURIFICADORA DE LOS CUERPOS DE AGUA

- 17 La capacidad de autopurificación es una importante cualidad de los cuerpos de agua. Cuando estos reciben aportes de contaminantes, además del efecto de dilución, entra en juego una actividad biológica que, en combinación con acciones físicas y químicas, tienden a transformar los materiales oxidables en compuestos oxidados químicamente estables. El proceso consume el oxígeno disuelto en el agua, pero puede ser repuesto tanto por la actividad fotosintética de las plantas acuáticas, como por la dilución del oxígeno atmosférico.

(nota 4)

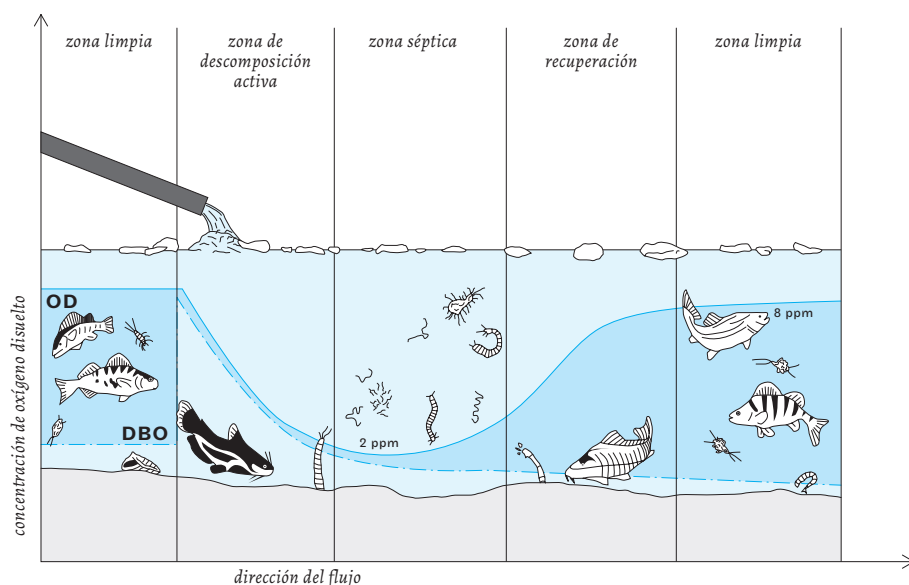
En algunos países, tan solo el 2% de los volúmenes de aguas residuales totales son tratados.



- 18 Los cuerpos de agua con mayor capacidad autopurificadora son los ríos, por sus características hidráulicas: corrientes unidireccionales con velocidades de flujo relativamente altas (0,1-1 m/s) variable en el tiempo dependiendo de las condiciones climáticas y de las características de su cuenca aportante, con buenas condiciones de mezcla vertical debido a la turbulencia y dirección de corriente permanente (UNESCO/WHO/UNEP,1996).
- 19 En líneas generales y utilizando el oxígeno disuelto –OD– como indicador, cuando una descarga puntual de líquido residual es vertida a este tipo de corriente superficial, inmediatamente se desarrolla una zona de degradación activa donde el OD cae al 40% de saturación, le sigue una zona séptica donde el oxígeno baja a un nivel crítico y donde desaparece la vida superior, después está una zona de recuperación donde la re-aireación es mayor que la desoxigenación y aparecen peces y rotíferos y, por último, se llega a una zona de equilibrio donde el OD recupera su nivel normal (figura 7.2).

**FIGURA 7.2** Efecto de una descarga puntual en los componentes bióticos y abióticos de un río

Fuente: Ferrara et al. (2007)



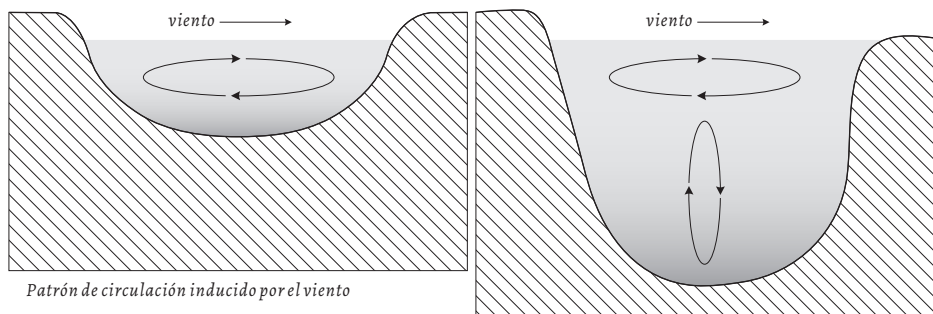
- 20 En lagos y reservorios, la capacidad autopurificadora está fuertemente influenciada por el patrón de circulación de las masas de agua. Entre sus características destaca su condición de ecosistemas relativamente cerrados, con bajas velocidades de corriente a nivel de superficie (0,001-0,01 m/s), tiempos de retención variables entre meses y algunos cientos de años. En su mayoría presentan períodos alternos de estratificación y de mezcla vertical, regulados por las condiciones climáticas y la profundidad del lago.
- 21 En lagos y reservorios poco profundos las mayores perturbaciones son causadas por el viento, con velocidad y duración suficientes como para promover la mezcla en la masa de agua, favoreciendo la disolución del oxígeno atmosférico necesario para compensar la demanda ejercida por la estabilización bioquímica de los compuestos orgánicos presentes en las descargas recibidas. En lagos grandes y profundos, tal como

se ilustra en la figura 7.3, suelen formarse celdas de circulación multidireccional diferentes en las zonas superficiales y de fondo, resultante de algún tipo de estratificación térmica o por densidad, lo que limita la movilidad en las zonas profundas, generando prolongados tiempos de retención.

- 22 Al uniformarse la temperatura o la densidad, según sea el caso, a lo largo de la profundidad se «rompe» la estratificación, generándose patrones de circulación en toda la masa de agua permitiendo su oxigenación. Cabe destacar que estos procesos pueden tener escalas temporales variables entre horas o varios años.

**FIGURA 7.3** Patrones de circulación en lagos someros y profundos

Fuente: Adaptado de Ferrara et al. (2007)



- 23 En otros cuerpos de agua superficiales como son los sistemas estuarinos –zonas de conexión entre las aguas dulces continentales y el medio marino–, la capacidad de asimilación de posibles descargas depende del patrón de mezcla en el sistema e influenciado por el régimen hidráulico de interacción agua dulce-agua salada.
- 24 Los cuerpos de agua subterránea, se consideran los más vulnerables y con mayores dificultades para recuperarse de cualquier alteración antrópica (nota 5). Entre los factores que contribuyen a ello, destacan los patrones de flujo que los caracterizan, velocidades de flujo entre  $10^{-10}$  y  $10^{-5}$  m/s, gobernados por la porosidad y permeabilidad del material geológico, asociados a una muy pobre condición de mezcla. En estos casos el término capacidad autopurificadora se suele sustituir por capacidad de atenuación del impacto de las descargas contaminantes, en la cual los perfiles del suelo que las contiene constituyen el factor determinante.

(nota 5)  
Causada por el hombre.

### 7. 1. 3. DISMINUCIÓN DE LA OFERTA DE AGUA COMO CONSECUENCIA DE LA ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS CUERPOS DE AGUA

- 25 De lo expuesto en las secciones anteriores se desprende que, aun cuando los sistemas acuáticos poseen capacidad de respuesta ante las afectaciones externas, esta es limitada. Esta situación, unida al incremento acelerado del volumen de agua de retorno de las diferentes actividades humanas, en correspondencia con el aumento de la población y sus necesidades, ha traído como consecuencia afectaciones a la calidad de los recursos hídricos que pueden inutilizarlos para determinados usos e incluso causar daños difíciles de revertir, al menos en el corto plazo. Conviene recordar que, contar con abundantes recursos de agua cuya calidad impida su uso, equivale a no tener agua.

- <sup>26</sup> En América Latina y el Caribe persiste un importante desbalance entre la demanda y la disponibilidad de agua, pues a pesar de albergar solo el 8,5% de la población mundial con 33% de los recursos hídricos del planeta que equivale a una disponibilidad de agua de 7.200 m<sup>3</sup> por persona al año (UNESCO, 2012), esta abundancia se encuentra asimétricamente localizada en relación con la ubicación de la población y la actividad económica de los países; además, las lluvias se concentran en pocos meses del año.
- <sup>27</sup> Venezuela no escapa a esta realidad. A pesar de estar considerada como unos de los países latinoamericanos con abundante disponibilidad de recursos hídricos (más de 1.700 m<sup>3</sup> de agua por persona al año), se encuentra calificada entre los países de la región con mayores problemas de equidad en el suministro de agua y problemas de degradación ambiental que amenazan la calidad de sus recursos hídricos, tal como se discutirá más adelante (CAF, 2012).
- <sup>28</sup> Superar esta situación implica, entre otros factores: fortalecer la actual estructura institucional para que pueda ejercer cabalmente el rol que le establece la ley, de modo que gestione el recurso con visión integral apoyada en los nuevos paradigmas en esta materia, centrados en la preservación del recurso y no solo en la satisfacción de la demanda, y que acentúe sus esfuerzos en revertir la degradación ambiental, reducir la vulnerabilidad a desastres naturales y adaptarse eficientemente al cambio climático.

## **7. 2. CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN VENEZUELA: CASOS PARA LA REFLEXIÓN**

- <sup>29</sup> Entre las principales riquezas de Venezuela están sus recursos hídricos, su manejo inadecuado y la falta de control del uso de la tierra ha traído como consecuencia el deterioro de su calidad, principalmente en los cuerpos de agua ubicados en la zona norte del país, donde se encuentran las principales actividades domésticas e industriales.
- <sup>30</sup> Ejemplos como la cuenca del lago de Maracaibo, la cuenca del lago de Valencia y los embalses utilizados para abastecimiento en la región central del país, la cuenca del río Tuy y los casos de afectación del río Guarapiche y otros ríos por derrames asociados a las actividades petroleras y otras descargas industriales, accidentales o no, suceden desde hace más de medio siglo y más recientemente han ocupado los principales espacios noticiosos.
- <sup>31</sup> En el sur del país, las actividades agropecuarias, tala y quema indiscriminada y minería incontrolada, han afectado los cuerpos de agua más caudalosos, como la cuenca del río Caroní, de la que depende más del 70% del potencial eléctrico del país.
- <sup>32</sup> A pesar de que se han realizado inversiones dirigidas a impedir su deterioro, así como actividades de saneamiento, las mismas se han caracterizado por falta de coordinación, discontinuidad y condicionadas por las circunstancias políticas del país, por lo que no han sido efectivas, continuando el deterioro de los cuerpos de agua.
- <sup>33</sup> A continuación se resumen algunos de estos casos, señalando las principales actividades que han contribuido en su intervención y las consecuencias tanto para el ambiente acuático como para su aprovechamiento, orientando el análisis a las posibles estrategias para la prevención y control de su contaminación.

## 7. 2.1. CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO

- 34 Su superficie aproximada es de 121.823 km<sup>2</sup> y representa una importante fuente de recursos para Venezuela. Está constituida por el estrecho de Maracaibo, la bahía de El Tablazo, el golfo de Venezuela, los ríos tributarios y el lago propiamente dicho, que tiene una extensión aproximada de 13.820 km<sup>2</sup>. El estrecho de Maracaibo lo comunica con el golfo de Venezuela a través de las bocas o canales naturales San Carlos-Zapara y Cañonera-Cañonerita.
- 35 Su condición de lago parcialmente abierto hace que sus aguas sean naturalmente salobres, especialmente en la zona norte. Estudios realizados sobre el balance hídrico señalan que durante la época seca el flujo de agua que sale del lago disminuye de manera tal que permite un mayor transporte de agua salada hacia el lago, lo que ocasiona un mecanismo natural de incremento de la salinidad. Las aguas del lago han sufrido cambios en su composición química desde 1938, a raíz del incremento de la intervención humana, asociada principalmente a la actividad de explotación petrolera. Entre otras, el incremento de la salinidad, reportado a partir de 1956, ha limitado el uso de sus aguas para consumo humano, riego y usos industriales (HERMAN *et al.*, 1997).
- 36 La construcción del canal de navegación en la década de 1950 permitió el ingreso de una cuña salina que produce una condición de estratificación (por diferencia de densidad) en la zona más profunda del lago y modifica la capacidad de mezcla, originando la formación estacional de una zona anóxica (nota 6). En esta zona, ocurre la mayor acumulación de nutrientes y materia orgánica y los diversos procesos de oxidación-reducción. Durante los meses lluviosos disminuye la condición de estratificación, aumenta el oxígeno disuelto en las zonas profundas y se liberan los nutrientes (FERNÁNDEZ y HERMAN, 2006).
- 37 La salinización del lago ha traído como consecuencia la intrusión salina en el acuífero subterráneo de Maracaibo, en la costa noroccidental del lago, fuente de abastecimiento para poblaciones, riego y uso industrial. En la zona norte, altamente salinizada, una de las hipótesis plantea la influencia de la penetración del frente salino a través del río Limón en época de sequía, la presencia de un nivel freático alto que no tiene salida natural y la posible influencia del sistema de riego por inundación con aguas salobres. En la zona sur, algunos sectores costeros parecen haber sido afectados por intrusión salina, debido a sobreexplotación de los campos de pozos, los cuales produjeron la inversión del gradiente hidráulico, incrementando la salinidad de sus aguas (NAJUL, 2006).
- 38 Los accidentes por la actividad petrolera (nota 7) han ocasionado importantes y continuos derrames de petróleo que afectan la calidad del agua, interfieren en las actividades de pesca, recreación y turismo y amenazan el ambiente acuático en general. Además de los «pequeños derrames» que se estiman entre treinta y cuarenta mensuales, resalta el accidente del buque *Nissos Amorgos*, en 1997, en el estrecho de Maracaibo, donde se derramaron 25.000 barriles de petróleo pesado, con daños ecológicos incalculables (nota 8). En el 2005 la colisión del *Maersk Holyhead* con otro barco ocasionó el derrame de 8.000 litros de fueloil (AGENCIA DE NOTICIAS DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA, 2010).

(nota 6)

Ausencia de oxígeno puro.

(nota 7)

La actividad petrolera puede resumirse en la explotación de 8.000 pozos en el lago, 14.000 km de tubería sub-lacustre y el tránsito de embarcaciones petroleras

(nota 8)

Estudios posteriores señalan que murieron 7.580.000 macroinvertebrados (Severeyn *et al.*, 2003).

FIGURA 7.4 Consecuencias de la reproducción acelerada de lemna en el lago de Maracaibo

Fuente: Diario Panorama (2005)



Fotografías Miguel Ángel González



- 39 Las descargas directas al lago de efluentes domésticos e industriales, en algunos casos parcialmente tratados, alteran la calidad del agua, limitando su uso para consumo y afectando las actividades recreacionales y turísticas. Algunas evidencias son la presencia de quistes de Giardias en algunas de sus playas (MEDINA *et al.*, 2006), así como metales pesados (nota 9) en el sedimento superficial, en concentraciones similares a las reportadas en sistemas acuáticos con alta actividad petrolera (ÁVILA *et al.*, 2010).

(nota 9)

Cobre, cadmio, cromo, plomo, vanadio y níquel.

(nota 10)

DBO: 78 t/d.,  
DQO: 1.600 t/d.

(nota 11)

Ntotal: 100 t/dy  
Ptotal: 21 t/d.

- 40 Los ríos ubicados principalmente en la zona sur, que representan el 70% del agua dulce que ingresa al lago, transportan nutrientes, materia orgánica e inorgánica provenientes de las actividades agrícolas, pecuarias, domésticas e industriales. Estudios realizados sobre la calidad de los ríos Santa Ana, Catatumbo, Birimbay, Bravo, Escalante, Chama y Motatán, los califican de regular a deficiente de acuerdo con los índices de calidad de agua utilizados, excepto el río Motatán, calificado de regular a bueno (RIVAS *et al.*, 2006a). Otros estudios señalan que el río Catatumbo, que nace en Colombia, aporta importantes cantidades de materia orgánica (nota 10) y nutrientes (nota 11), entre otros, producto de las actividades agrícolas y urbanas, provenientes principalmente de Colombia, contribuyendo al proceso de eutrofización del lago de Maracaibo (RIVAS *et al.*, 2009; RIVAS *et al.*, 2006b).
- 41 La acumulación de los nutrientes en las zonas más profundas y su liberación en los períodos de lluvia, cuando se rompe la estratificación, crea las condiciones propicias para la reproducción de plantas acuáticas, entre las cuales se cuentan los episodios de crecimiento de lemna o lenteja de agua, especialmente a partir del 2004, cuya reproducción es muy acelerada, cubriendo una importante superficie del lago, dificultando las actividades de pesca y ocasionando fuertes problemas de olores producto de su descomposición (figura 7.4).

## 7. 2. 2. CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA

- 42 Localizada en la región centro-norte de Venezuela, tiene una superficie de 3.140 km<sup>2</sup>, de los cuales 375 km<sup>2</sup> corresponden al espejo del lago. La red hidrográfica de la cuenca presenta un patrón de escurrimiento cerrado (endorreico), donde los ríos, caños y canales convergen directamente al lago de Valencia. En la época lluviosa presenta una estratificación vertical debido a la carencia de vientos, su profundidad de 32 m y la poca variación de temperatura diurna-nocturna. En la época seca, los fuertes vientos mezclan las aguas rompiendo la estratificación.
- 43 El nivel de sus aguas descendió progresivamente, desde los 408,5 mnsnm en 1952 hasta 401 msnm en 1980, debido a la disminución de caudal de sus ríos tributarios, dejando al descubierto extensiones de terreno que fueron ocupadas principalmente por desarrollos habitacionales. La puesta en servicio del Sistema de Abastecimiento Regional del Centro, alimentado por fuentes de otras cuencas, revirtió el proceso, aumentando el nivel de sus aguas. La desviación hacia el lago del río Cabriales (nota 12) aceleró el ascenso, llegando a los 407 msnm aproximadamente en el año 2000. Igualmente, ríos que reciben las descargas de aguas residuales de otras poblaciones de la Región Central (nota 13), son tributarios del lago de Valencia.

(nota 12)

Receptor de las aguas residuales de la ciudad de Valencia, descargaba parcialmente en el río Paíto, contaminando el embalse Pao-Cachinche

(nota 13)

Maracay, Palo Negro, La Victoria, Villa de Cura, Turmero, Cagua, San Mateo y Santa Cruz, en el estado Aragua; Valencia, Guacara, Los Guayos, San Joaquín y Güigüie, en el estado Carabobo.

(nota 14)

Calificación del mayor nivel de eutrofización en un cuerpo de agua, con concentraciones extremas de nutrientes y abundancia de algas.

- 44 Las altas cargas de nutrientes y materia orgánica, así como los constituyentes provenientes de los distintos tipos de industrias de la zona, explican la calidad de sus aguas, características de un lago hipereutrófico (nota 14). Uno de sus indicadores, la concentración de clorofila, ha venido incrementando en el tiempo, como lo confirma el análisis de las imágenes de satélite (GOTÍIA,1995). Como consecuencia de ello, prácticamente se ha eliminado su posibilidad de uso, ya que los altos niveles de contaminantes superan sus requerimientos de calidad, aunque ya desde 1950, cuando se realizaron estudios para analizar su uso potencial como fuente de abastecimiento, la presencia de sulfatos, fluoruros, magnesio y sodio lo limitaban como fuente de abastecimiento.
- 45 Al ocurrir la ruptura de la estratificación y consecuente mezclado de sus aguas en la temporada seca, se liberan los nutrientes atrapados en el fondo, ocasionando un aumento de su población de algas, así como re-suspensión de metales pesados y otros tóxicos adheridos a los sedimentos.
- 46 Los acuíferos de la zona, utilizados para consumo humano, agrícola, pecuario e industrial, han visto alterada la calidad de sus aguas. La sobreexplotación ha provocado el descenso de nivel del acuífero, inhabilitando entre treinta y cincuenta pozos anuales. Las altas concentraciones de sulfatos se deben a la incorporación de aguas profundas, altamente sulfatadas, sin evidencia de interconexión entre las aguas del lago y las del acuífero (ALVARADO,1996) y la presencia de nitratos está asociada a la actividad agrícola (KASSABJI,2002).
- 47 Finalmente, el aumento del nivel de las aguas del lago, producto del mayor volumen de descargas directas o de los ríos afluentes, ha afectado los urbanismos y sembradíos que ocuparon sus riberas, las cuales quedaron descubiertas al ocurrir el descenso de sus aguas, pero fueron reclamadas por el mismo al incrementar su nivel, inundando dichas zonas, generando problemas económicos y de salubridad a sus habitantes.

### 7. 2. 3. EMBALSES PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA REGIÓN CENTRAL

- 48 El sistema regional del centro, que surte de agua potable a las principales ciudades de la región central del país: Valencia, Maracay, Guacara, Mariara, entre otras, se abastece entre otras fuentes, de los embalses Pao-Cachinche, Pao-La Balsa y Guataparo, los cuales, además de estar fuertemente influenciados por la extracción de sus aguas para el abastecimiento de la región central, han estado sometidos a las descargas domésticas, agropecuarias e industriales, directa o indirectamente de la zona.
- 49 El deterioro de la calidad de las aguas del embalse Pao-Cachinche (nota 15) ha sido objeto de estudio desde hace casi veinte años y a partir del año 2010 ha sido noticia en los medios de comunicación del país, debido a su alarmante deterioro y su impacto en el agua consumo humano, especialmente la ciudad de Valencia.
- 50 Como consecuencia de la topografía circundante, no es posible la mezcla natural por acción de los vientos, lo que promueve su estratificación térmica. El crecimiento urbanístico anárquico, agricultura intensiva, granjas avícolas y porcinas, ganadería

(nota 15)

El embalse Pao-Cachinche está ubicado en el límite de los estados Carabobo y Cojedes, aguas abajo de la confluencia de los ríos Paño y Chirgua, ocupa un área inundada a nivel normal de 1.321 ha y un volumen de 179 hm<sup>3</sup>, con una profundidad media de 10,6 m.

(nota 16)

Las altas concentraciones de nutrientes y su elevada productividad biológica lo califican como hipereutrófico (González *et al.*, 2004).

(nota 17)

Sus efectos son, principalmente: consumo excesivo de sustancias químicas, mayores gases en mantenimiento, así como la disminución de la producción para garantizar la calidad del agua a ser distribuida.

menor y deforestación de las cuencas de drenaje, ha traído como consecuencia el aporte excesivo de nutrientes que ha acelerado su proceso de eutrofización (nota 16), alterando las características físico-químicas y biológicas del cuerpo de agua, desarrollo de fitoplancton y plantas acuáticas y ausencia de oxígeno a partir de 6 m de profundidad, lo que ha afectado notablemente el proceso de potabilización efectuado en la Planta Alejo Zuloaga, abastecida por este embalse (nota 17).

51 Para mejorar la calidad del agua de abastecimiento de la planta potabilizadora, además de la desviación de las aguas del río Cabriales al lago de Valencia, ya comentada, en el año 2001 se instaló un sistema de aireación artificial inyectando aire comprimido para producir la desestratificación térmica y química. Inicialmente se logró el rompimiento del gradiente térmico en los alrededores de la obra de captación, la reducción de la concentración de fitoplancton, entre otros, lo que mejoró las condiciones de operación de la planta. Sin embargo, su efecto en las capas profundas fue muy bajo, debido a las condiciones reductoras del fondo y aumentó casi el doble la concentración de fósforo, por su liberación de los sedimentos y el continuo aporte por los tributarios (MATOS y RODRÍGUEZ, 2002).

52 A partir de 2005 se incrementó el deterioro de la calidad de las aguas del embalse como consecuencia del «retorno» de las aguas del río Cabriales y en el año 2007 por el trasvase de las aguas del lago de Valencia (nota 18). Adicionalmente, los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales Los Guayos y Mariposa, que no cumplen con los requerimientos para ser vertidos en el embalse, continúan impactando la calidad de sus aguas, limitando sus posibilidades de uso, especialmente como abastecimiento humano, según informes técnicos de evaluación de los tributarios y del agua que abastece la planta Alejo Zuloaga, que reportan incrementos en la concentración de materia orgánica, nutrientes, minerales disueltos, fitoplancton e incluso sustancias tóxicas (HIDROCENTRO, 2008, 2009 y 2010).

(nota 18)

Esta medida tenía por objeto frenar el ascenso de las aguas del lago de Valencia.

53 El embalse Pao-La Balsa, ubicado aguas abajo del Pao-Cachinche, comienza a ser afectado por las aguas que alivian del segundo. En consecuencia, han aumentado las concentraciones de plancton, detectándose algunas especies del grupo de cianobacterias, potencialmente tóxicas. Si bien en Venezuela no se han reportado episodios de contaminación por cianotoxinas, su sola presencia constituye un riesgo por sus consecuencias directas o indirectas en los recursos pesqueros, el equilibrio acuático y consumo humano, ya que las plantas de tratamiento existentes no tienen capacidad para removerlas, por lo que la única medida es evitar su proliferación, y realizarles un permanente seguimiento.

54 Independientemente de la confiabilidad de los valores de calidad del agua reportados en la literatura, en algunos casos contradictorios, mientras no se modifiquen los factores que impactan la calidad de estos cuerpos de agua, sus efectos en el ambiente acuático y las posibilidades de uso se verán reflejados en ellos.



#### 7. 2. 4. CUENCA DEL RÍO TUY

(nota 19)

La cuenca del río Tuy tiene una superficie de 6.600 km<sup>2</sup>, de los cuales unos 6.115 km<sup>2</sup> (93%) pertenecen al estado Miranda, cerca de 284 km<sup>2</sup> (4%) pertenecen al estado Aragua y 201 km<sup>2</sup> (3% del área total) al Distrito Capital.

- 55 El río Tuy (nota 19) tiene su origen en la cordillera de la Costa, cerca de la población de la Colonia Tovar, estado Aragua, y desemboca en el mar, a la altura de Paparo, estado Miranda, recibiendo a su paso las descargas de las poblaciones El Consejo, Las Tejerías, Tácata, Cúa, Ocumare y Santa Teresa del Tuy, las llanuras de Barlovento. Sus principales afluentes son el río Guaire y el río Grande, que transportan aguas residuales de las poblaciones que atraviesan; recibe además los ríos Taguaza, Taguacita y Cuira, que son importantes por sus altos caudales y aguas relativamente libres de contaminación. Esta cuenca concentra una gran densidad demográfica y constituye una de las mayores fuentes de abastecimiento de agua del área metropolitana de Caracas. En ella se localizan las fuentes de los Sistemas Tuy I, II, IV, Panamericano y Barlovento, así como zonas de aprovechamiento agrícola, turístico, comercial e industrial.
- 56 Los estudios para evaluar su calidad realizados desde 1969, concluyen que el creciente deterioro de la calidad del agua en el río es consecuencia de la recepción de vertidos de diferente origen y naturaleza, gran parte de ellos sin tratamiento. A pesar de que el 70% de la población cuenta con servicio de cloacas, muy poca recibe tratamiento y se ha determinado que al menos el 70% de las descargas industriales son potencialmente generadoras de sustancias tóxicas y el 82% contiene parámetros con valores superiores a lo establecido en el Decreto 883 (MPPA/LNH, 2009).
- 57 Durante muchos años, el río Tuy recibió las descargas de la actividad de las granjas porcinas, sin embargo, a partir del año 2000, debido a la aplicación del Decreto núm.635 (GORV, 1990), que regula la actividad porcina en los estados Aragua, Miranda, Carabobo y Distrito Federal, su impacto se redujo significativamente.
- 58 Las tierras de la cuenca del río Tuy tienen vocación agrícola (nota 20), reportándose uso indiscriminado de agroquímicos y plaguicidas. La minería no metálica (explotación de arcilla, piedra caliza, arena y grava), genera importantes modificaciones en la calidad del agua del río, debido a las actividades de dragado que se realizan para la extracción de arena y grava (MPPA/LNH, 2009).
- 59 Los índices de contaminación determinados a partir de los estudios realizados a lo largo del curso del río desde los años setenta hasta el presente, muestran el deterioro progresivo de sus condiciones. Paralelamente, el análisis de las imágenes de satélite permite observar cómo ha ido modificándose el uso de la tierra, inicialmente asociado a la prohibición de localizar nuevas industrias en Caracas. Asimismo, las zonas agrícolas han sido ocupadas por urbanizaciones planificadas, acompañadas de un considerable crecimiento urbano no planificado o desordenado, sobre todo a partir del año 2006 con un fuerte repunte en el año 2010 (RAMOS, 2012).
- 60 La contaminación en el medio-costero, ocasionada por la desembocadura del río Tuy, significa un importante riesgo sanitario para la salud de los usuarios de balnearios, actividades deportivas y pesca.

(nota 20)

La mayor parte de las actividades agrícolas se concentra en las poblaciones Colonia Tovar y El Jarillo (Alto Tuy), Guarenas-Guatire (Tuy Medio) y en Barlovento (Bajo Tuy).

## 7. 2. 5. RÍO GUAIRE

- 61 Atraviesa la ciudad de Caracas, en el sentido oeste-este y constituye el gran colector de aguas residuales de la ciudad, desde su nacimiento en la confluencia de los ríos San Pedro y Macarao en Las Adjuntas hasta Petare (nota 21).
- 62 Ya desde la colonia, la construcción de zanjas, canales o tuberías descargaban en sus quebradas tributarias y finalmente al río Guaire.
- 62 A pesar de la construcción de colectores marginales tanto de las quebradas y ríos tributarios como del propio río Guaire, el crecimiento desmedido de la ciudad, unido a los cambios de uso y densidades, la extensa zona marginal que la rodea, que no posee cloacas, hacen que cada vez sea mayor la proporción de aguas servidas que conduce el río Guaire (BLANCO *et al.*, 1995).
- 63 A partir de Petare, la incorporación de tributarios y otras descargas de aguas residuales son más limitadas, la pendiente aumenta debido al descenso de aproximadamente 550 m entre Petare y Arenaza, en una trayectoria de 30 km y luego, entre Arenaza y Mopia desciende unos 150 m en 20 km.
- 64 La posibilidad de restaurar su condición de río utilizable para actividades distintas al transporte de descargas residuales y conocer su «capacidad autopurificadora» con miras a su aprovechamiento en aras de su saneamiento, ha motivado la realización de importantes estudios que datan desde mediados del siglo XX hasta la actualidad. La tabla 7.1 permite comparar los principales resultados de tres importantes estudios (OSORIO *et al.*, 1956; TECNOSAN, 1967 y NAJUL *et al.*, 2006), donde se relacionan las características físico-químicas e hidráulicas del río en el sector Petare con la población aportante.

TABLA 7.1 Resultados del análisis temporal y espacial del río Guaire

Fuente: Najul *et al.* (2006)

Parámetro	estudios			
	1949-1950	1967	1997-1998	
Población ( <i>habitantes</i> )	660.000	1.900.000	2.900.000	
Agua de abastecimiento ( $m^3/s$ )	1,65	7,5	20	
Caudal del río ( $m^3/s$ )	2,1	9,2	22,8 (19,1-24,4)	
	ST ( $mg/l$ )	790	900	664
	SST / ST	0,46	0,48	0,45
	SSV / SST	0,33	0,42	0,40
	DBO ( $mg/l$ )	240	165	120
	DQO ( $mg/l$ )	ND	320	230
	DBO / DQO	ND	0,52	0,52
Flujo másico de materia orgánica ( $kg$ )	DBO/d	43.545	131.155	236.390
Flujo másico de sólidos suspendidos ( $kg$ )	SST/d	65.318	341.798	594.915

ST Sólidos totales  
 SST Sólidos suspendidos totales  
 SSV Sólidos suspendidos volátiles  
 DBO Demanda biológica de oxígeno  
 DQO Demanda química de oxígeno

- 65 Estas características reflejan un cuerpo de agua altamente intervenido, cuyos valores son similares a los de un agua residual urbana de fortaleza media, con altas cargas de materia orgánica y sólidos suspendidos. Los valores de caudal son proporcionales

(nota 22)

También refleja la influencia de las descargas de la actividad industrial existente para la época.

al agua abastecida a la ciudad y consecuencia del crecimiento de la población (nota 22). La variación horaria del caudal tiene el comportamiento típico de una descarga de aguas residuales municipales (NAJUL *et al.*, 2006).

- 66 En consecuencia, bajo las condiciones actuales, el río Guaire tiene muy pocas posibilidades de uso para actividades urbanas e industriales. Considerando la afectación del ornato de la ciudad y la calidad de vida de los caraqueños, resulta interesante evaluar opciones para su saneamiento.

#### 7. 2. 6. RÍO GUARAPICHE

- 67 Ubicado al oriente del país, en el estado Monagas, zona de intensa actividad de explotación petrolera, abastece la planta de tratamiento Bajo Guarapiche, que surte a la ciudad de Maturín y otras poblaciones del estado. También sirve a los agricultores para el riego de maíz, hortalizas y actividades pesqueras.

- 68 En enero de 2006 ocurrió la ruptura de un oleoducto de 12 pulgadas, en Jusepín, aproximadamente a 1 km del río. El terreno se saturó de hidrocarburo llegando hasta una quebrada intermitente que descarga al río y, a pesar de la colocación de barreras oleofílicas (nota 23), el crudo alcanzó la planta de potabilización sin ser detectado y llegó hasta el sistema de distribución, donde fue percibido por los consumidores el olor a kerosene en el agua suministrada.

(nota 23)

Las barreras oleofílicas son dispositivos flotantes que absorben el crudo para controlar los derrames.

- 69 Como consecuencia de ello, aproximadamente 160.000 personas quedaron sin suministro de agua potable durante casi diez días, los sedimentadores y filtros de la planta se impregnaron del crudo y fue necesario ejecutar un plan de emergencia para colocar barreras que impidieran que llegara mayor cantidad de crudo a la planta, limpieza y desinfección de las unidades de tratamiento, colocación de un *bypass* a la salida para descartar toda el agua contaminada y captar muestras de agua para realizar análisis hasta alcanzar valores aceptables para su consumo. Adicionalmente se realizaron purgas en la red de distribución.

- 70 A los costos de esta operación, además de los asociados al acondicionamiento de la toma, limpieza de las unidades y purgas en la red, debe añadirse el abastecimiento de más de la tercera parte de la población con camiones cisterna y los riesgos asociados a esta forma de distribución de agua potable.

- 71 Entre las lecciones «aprendidas» de ese evento destacan: el alto costo de la improvisación, la necesidad de que las instituciones asuman su responsabilidad en todo momento y no solo en los momentos de emergencia y los requerimientos de comunicación permanente entre las involucradas, la necesidad de implementar planes de emergencia, así como de sistemas de alerta temprana (OPS/DIPECHO, 2007).

- 72 Seis años después, en febrero de 2012, ocurrió un evento similar, ocasionando un derrame petrolero de gran magnitud (nota 24), que afectó las aguas del río Guarapiche. Versiones de prensa señalan que casi 24 horas después de ocurrido el accidente se colocaron barreras para contener el derrame de manera rudimentaria, con personas sumergidas en el río, sin protección alguna ni equipos adecuados.

(nota 24)

Informaciones extraoficiales estiman la descarga en 60 mil barriles.

- 73 La descarga en el río Guarapiche constituye una permanente amenaza para el medio acuático y sus usuarios, pues existe el riesgo de re-suspensión de residuos de crudo que quedaron adsorbidos en el suelo y las plantas, que al ser arrastrados en momentos de lluvia, puedan alcanzar nuevamente las aguas del río.

**FIGURA 7.5** Precarias condiciones de trabajo para contener el derrame de petróleo en el río Guarapiche (febrero 2012)

Fuente: Cadena Capriles (2012)



#### 7. 2. 7. CUENCA DEL RÍO CARONÍ

- 74 Esta cuenca, con más de 95.000 km<sup>2</sup>, está conformada por un medio físico natural que transporta aguas con características muy especiales (cuerpo de aguas coloreadas, extremadamente pobres en electrolitos, cuyos compuestos disueltos predominantes son carbono orgánico y sílice reactiva, baja capacidad amortiguadora, entre otras), con una ubicación geográfica y un área de muy baja densidad poblacional, de uso ya definido, con énfasis en la explotación hidroeléctrica y otros compatibles con esta.
- 75 Si bien las concentraciones de constituyentes presentes en las aguas, producto de la actividad antrópica, difícilmente puedan alcanzar la calificación de contaminantes, su variación ha alcanzado valores que deben servir de alerta.
- 76 Con base en la identificación y ubicación de los usos principales y potenciales de las aguas de la cuenca, se establecen sectores para el análisis, en función a la protección de los cuerpos de agua, así como sus potencialidades de uso de acuerdo a la calidad (CVG-EDELCA, 2004).
- 77 *Zona 1:* Ubicada aguas arriba del principal cuerpo de agua, el embalse Guri. Las principales actividades antrópicas son la extracción legal o ilegal de oro y otros minerales, la explotación de madera y la presencia de centros poblados sin sistemas de saneamiento. A pesar de la escasez de información confiable en esta zona, el impacto de la actividad minera, más que por la presencia de mercurio en sus aguas, se manifiesta

en el transporte de sedimentos. La tala indiscriminada de los bosques altera el caudal de los ríos e incrementa la erosión. Las descargas domésticas, aun cuando insignificantes en relación con la magnitud de los cuerpos de agua de la cuenca, generan problemas locales. Estas alteraciones en la cuenca (procesos de deforestación, erosión, transporte de sedimentos) y en el embalse (atrape y acumulación de sedimentos) podrían afectar a futuro el potencial hidroeléctrico.

(nota 25)

Cuerpos de agua continentales estancados o con poco movimiento.

78 **Zona 2:** Embalse de Guri. Su condición de cuerpo léntico (nota 25), permite prever el desarrollo de períodos de estratificación y circulación, que podrían incidir en la afectación de la calidad de sus aguas.

79 Su calidad se evalúa en función de la generación de energía eléctrica, fuente de abastecimiento humano, potencial ictícola y recreación. En este sentido, aun cuando el aporte de sedimentos provenientes de la zona 1 pudiera resultar poco significativo considerando la magnitud del embalse, el hecho de que el 70% de la energía eléctrica del país provenga de esta cuenca, obliga a tomar previsiones y a hacer un seguimiento de su comportamiento.

(nota 26)

Baja productividad primaria como consecuencia del bajo contenido de nutrientes.

80 Los estudios realizados sobre la composición del fitoplancton, confirman el estado oligotrófico (nota 26) del embalse, sin embargo, se ha presentado una variedad de plantas acuáticas mayor a la esperada en cuerpos de agua con las características señaladas, aunque sobrevuelos realizados señalan disminución de las áreas cubiertas por ellas.

81 **Zona 3:** Aguas abajo de la obra de presa Guri hasta su confluencia con el río Orinoco (incluido en la subcuenca bajo Caroní) existe una mayor intensidad y variedad de usos; que incluye los embalses Macagua I y II, Caruachi, Tocomá, así como futuros desarrollos de infraestructura hidroeléctrica. Se evidencia localmente el impacto de las actividades antrópicas del sector, por la presencia de indicadores, como el contenido de materia orgánica en términos de DBO y DQO y coliformes totales y fecales, incrementado por la ocurrencia de flujos de agua en contracorriente en las márgenes, promoviendo su acumulación en determinadas zonas de menor velocidad. Asimismo, las relaciones carbono, nitrógeno y fósforo dejan de ser despreciables.

82 En esta zona, cuyas características se consideran intermedias entre embalse y río, su vulnerabilidad obliga a establecer mecanismos de vigilancia y control, que permitan tomar las medidas que prevengan la ocurrencia de situaciones adversas.

83 Con referencia a la posible contaminación del agua, sedimento y peces con mercurio, los estudios hasta ahora realizados no son concluyentes y solo son descriptivos. Se considera que la falta de sistematización de las determinaciones, así como la variedad de resultados obtenidos, no permite hacer un verdadero diagnóstico. Sin embargo, es evidente que hay contaminación mercurial en los sitios donde se realiza actividad minera intensa, por lo que deben tomarse medidas, considerando su toxicidad.

## 7. 2. 8. OTROS CASOS Y REFLEXIONES

84 A manera de resumen, la figura 7.6 muestra las tendencias de las mediciones realizadas entre el 2007 y el 2009, con los índices de calidad de aguas (ICA), de cinco cuerpos

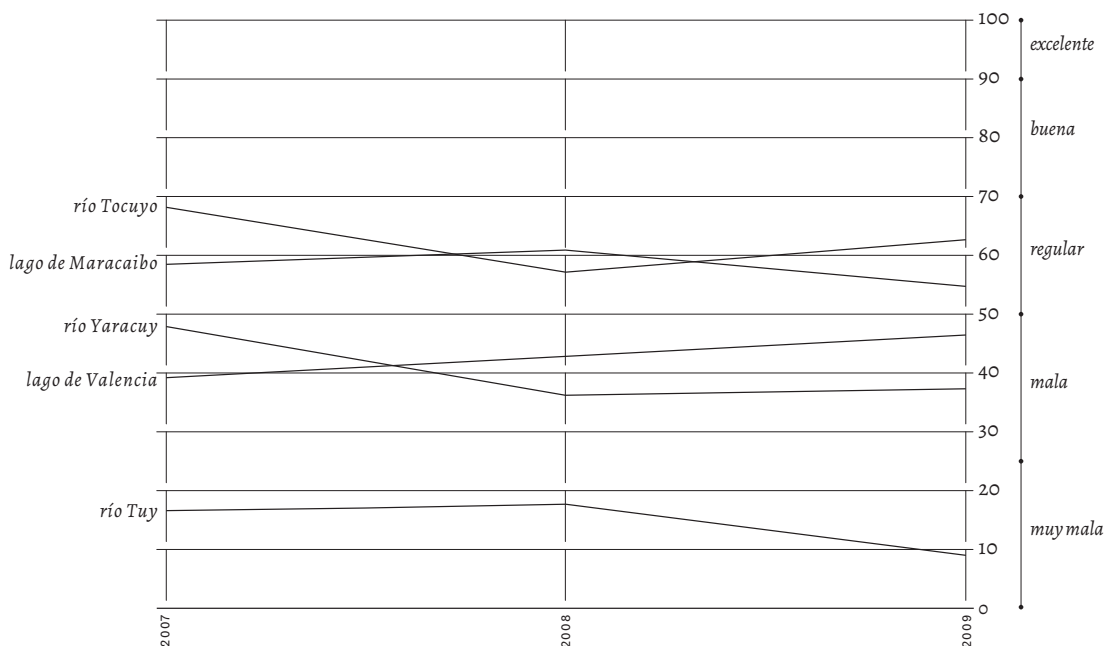


de agua, determinados con base en los valores de coliformes totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno, fósforo y oxígeno disuelto.

- 85 No se observa una tendencia definida en el tiempo, pero la calidad del agua en el río Tocuyo y el lago de Maracaibo se mantienen en el rango de calidad regular, el río Yaracuy y el lago de Valencia de calidad mala y el río Tuy, de calidad muy mala, con un índice de 8,9 en la escala de 0 a 100 (MINAMB, 2010).

**FIGURA 7.6** Comparación de índices de calidad de agua (ICA) en cinco cuerpos de agua venezolanos

Fuente: MINAMB (2010)



- 86 Una vez analizados estos casos, en los cuales de una u otra forma se han afectado importantes cuerpos de agua en el país, se observa que prácticamente todos ellos, dependiendo de su ubicación, están perturbados por las descargas de las actividades domésticas, industriales, agropecuarias, petroleras y mineras; que resultan en el aporte de materia orgánica, nutrientes, metales pesados, hidrocarburos y otras sustancias tóxicas que, dependiendo de las características del cuerpo de agua, deterioran el ambiente acuático, conducen a la reproducción de plantas acuáticas y contribuyen con el proceso de eutrofización de lagos y embalses, mientras que en los ríos, afectan las poblaciones y limitan los usos de las regiones que atraviesan.
- 87 En algunos casos, los cambios del uso de la tierra de forma desordenada han incidido directa o indirectamente en la calidad del agua. Otros involucran cuencas transfronterizas, por lo que las estrategias de gestión deben ser consensuadas para garantizar su sostenibilidad.
- 88 Aun cuando algunos cuerpos de agua, sobre todo al sur del país, no presenten en la actualidad condiciones de contaminación aguda, el solo hecho de haber modificaciones

en sus constituyentes debe alertar a las autoridades, considerando las actividades en la zona y la vulnerabilidad del cuerpo de agua superficial o subterráneo.

- 89 En resumen, la forma de enfrentar o prevenir los problemas asociados a la contaminación de los cuerpos de agua, es mediante procesos políticos a través de los cuales se desarrollen fases interactivas entre: el ordenamiento territorial, la gerencia administrativa, la protección de espacios y especies vulnerables, las normas de convivencia y la educación ambiental.

### 7. 3. INSTRUMENTOS Y ESTRATEGIAS DE GESTIÓN PARA ENFRENTAR LA CONTAMINACIÓN DE LOS CUERPOS DE AGUA EN VENEZUELA

- 90 Tradicionalmente el manejo de las descargas de aguas residuales de distinto origen se ha limitado al control, por la vía del tratamiento, hasta alcanzar los valores establecidos en la normativa correspondiente. Las tendencias actuales en el mundo desarrollado se orientan a evitar la descarga por la vía de minimizarla o reutilizarla; una vez agotadas estas vías se realiza el tratamiento, en cuyo caso, a las tecnologías convencionales se les añaden las emergentes. Las tecnologías de tratamiento o depuración tienen como objetivo acondicionar el agua, eliminando o disminuyendo sus contaminantes para descargarlas al entorno natural, generalmente un ambiente acuático.

#### 7. 3. 1. TENDENCIAS ACTUALES

- 91 En los términos preventivos de las tendencias actuales, las buenas prácticas de fabricación son estrategias asumidas y practicadas por el sector industrial, habiéndose comprobado que una política de minimización de las descargas, lleva consigo ahorros significativos, no solo en el tratamiento de los efluentes líquidos sino también en los costos asociados a la elaboración del producto. En algunos sectores industriales (nota 27) se han desarrollado manuales y guías que permiten orientar estas prácticas, donde el manejo eficiente del agua y el acondicionamiento de efluentes líquidos son aspectos que se deben considerar.

(nota 27)

Industria alimenticia, química, minería y galvanotecnia.

(nota 28)

Las aguas provenientes de duchas y lavamanos representan entre el 30 y 40% del agua utilizada en la actividad doméstica, mientras que el uso en inodoros y riego de jardines representa entre el 20 y 30%, lo que significa un aprovechamiento importante del agua descargada y un abastecimiento suficiente para usar en inodoros y para aguas de riego.

- 92 La reutilización o reúso es otra estrategia preventiva conducente al uso racional del agua, incluida en las buenas prácticas de fabricación en la industria, las cuales se han extendido en el ámbito doméstico, particularmente en aquellas actividades que no requieren de agua con calidad potable. Tal es el caso del reúso de las aguas grises, procedentes de duchas y lavamanos, en inodoros y riego de jardines (nota 28).
- 93 El reúso doméstico, solución que debe evaluarse cuidadosamente, requiere de instalaciones sanitarias separadas y tratamiento para la remoción de sólidos suspendidos y microorganismos. Ello incrementa los costos de su implantación, pero reduce aquellos asociados a la producción y consumo de agua potable.
- 94 Las tecnologías disponibles para estas prácticas de reúso domiciliario son cada vez más comerciales, pero cuando se consideran sistemas de reciclado de agua residuales a gran escala (ámbito municipal), aspectos como cobertura, tipo de recolección y tratamiento, se convierten en limitaciones a tener en cuenta. Así mismo, si el producto

de este reuso, es decir el agua residual tratada tiene un valor comercial, deben considerarse otros aspectos tales como ubicación de la planta de tratamiento, planta de emergencia, controles rutinarios (turbiedad y cloro residual), entre otros, los cuales condicionan su implementación. Dichas tecnologías no revisten mayores limitaciones ni dificultades, debido a que generalmente es suficiente agregar al tratamiento biológico, unidades de coagulación, floculación y clarificación, de uso común en potabilización de aguas.

- 95 Las tecnologías de depuración de aguas residuales solo pueden aplicarse en actividades cuyos procesos generen descargas puntuales, como los efluentes de las actividades municipales e industriales. La producción agrícola y la minería (figura 7.1, pág. 257), deben abordar prácticas de minimización y reutilización, siendo estas las que tendrán efecto en la reducción del impacto de sus descargas al entorno natural.

### 7. 3. 2. TECNOLOGÍAS DE DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

- 96 Las tecnologías de depuración de las aguas se clasifican actualmente en convencionales y emergentes, atendiendo estas últimas a los nuevos contaminantes emergentes y mayores restricciones legales para las descargas, como consecuencia de la tendencia de la sociedad hacia una economía basada en la sostenibilidad. Por ejemplo, el método de oxidación húmeda, cuya aplicación se justifica debido a normas de vertidos más restrictivas y al desarrollo de nuevos catalizadores (RODRÍGUEZ *et al.*, 2006).
- 97 Otra forma de clasificación novedosa se basa en el método implementado. No destructivos: adsorción, desorción, extracción en fase líquida con disolventes y tecnologías de membranas y destructivos: tratamiento biológico y oxidación química (incineración, oxidación húmeda catalítica y no catalítica, oxidación húmeda supercrítica y procesos avanzados de oxidación) (RODRÍGUEZ *et al.*, 2006).
- 98 Independientemente de la clasificación de los sistemas de tratamiento, lo importante es identificar la aplicación de cada uno de ellos, así como su disponibilidad de uso en términos técnicos y económicos. En la tabla 7.2, página. 276; se presentan algunas tecnologías de depuración.
- 99 Muchas de estas tecnologías se aplican a las aguas residuales industriales, para remover material disuelto orgánico o inorgánico, que puede estar presente en altas concentraciones y las limitaciones de descarga son bastantes restrictivas, sobre todo para aquellos constituyentes que representan peligrosidad. Estas tecnologías, la mayoría de ellas emergentes, son las más costosas.
- 100 En algunos países se permite que la industria pueda incorporar sus efluentes líquidos a las redes cloacales de la ciudad, en cuyo caso se requieren niveles de tratamiento que alcancen características similares a los efluentes generados en la actividad doméstica, para que pueda ser procesada mediante una tecnología de tratamiento biológico.
- 101 Los sistemas de tratamiento biológico generalmente requieren de un acondicionamiento previo del agua servida que permite, por una parte, la conservación y durabili-



dad de equipos e infraestructura, y por la otra, una mejor calidad en la materia prima que pueda ser más fácilmente asimilada por la biomasa desarrollada en estos sistemas. Al final del tratamiento biológico generalmente se aplica una desinfección, para eliminar los agentes patógenos que puedan estar presentes en el agua residual.

- 102 Los sistemas de depuración biológica van desde los más sencillos y con escasa o ninguna presencia de dispositivos electromecánicos, como las lagunas de estabilización o humedales construidos, hasta los de mayor requerimiento de equipos y consumo de energía, como los sistemas de lodos activados y bio-discos rotatorios. Otros, como los reactores anaerobios de flujo ascendente, si bien no contemplan equipos complejos para su funcionamiento, su operación y control requiere una experticia que no siempre está disponible.

**TABLA 7.2** Algunas tecnologías de depuración de las aguas residuales en función del factor de contaminación

Fuente: Adaptado de Rodríguez, A. *et al.* (2006)

Factor de contaminación	tecnología de tratamiento o depuración
Nutrientes	Precipitación química con calcio; Tratamiento biológico para remoción de nitrógeno y fósforo (combinando reactores aerobios, anaerobios y anóxicos).
Temperatura del agua	Sistemas de enfriamiento o disipación de energía.
Acidificación	Neutralización con adición de bases o mezcla con efluentes con condiciones básicas.
Salinidad	Precipitación química. Intercambio iónico. Ósmosis inversa. Electrodialisis.
Materia orgánica biodegradable	Tratamientos biológicos aerobios, anaerobios, anóxicos y facultativos, de biomasa suspendida o adherida; Reactores biológicos de membranas.
Organismos patógenos	Desinfección con oxidantes químicos (cloro, dióxido de cloro, ozono, ente otros); desinfección con rayos UV o radiación gamma; membranas. <sup>1</sup>
Metales traza	Precipitación química; electroquímica (oxidación en ánodo y reducción en cátodo); adsorción; membranas. <sup>1</sup>
Productos químicos y toxinas (orgánicos persistentes) contaminantes emergentes	Adsorción; oxidación química: incineración, oxidación húmeda no catalítica, catalítica y supercrítica; procesos avanzados de oxidación: ozonización en medio alcalino, con peróxido de hidrógeno, ozono-ultravioleta, oxidación avanzada con ultrasonido, ozonización catalítica, fotocatalisis (especialmente para clorofenoles y dioxinas); membranas. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, electrodialisis

- 103 Como cualquier tecnología, las plantas de depuración de aguas residuales tienen costos de inversión inicial, operación y mantenimiento. Estos costos están asociados a: mano de obra, energía (depende del tipo de sistema, los aerobios tienen mayores requerimientos), conservación y mantenimiento (proporcionales al tamaño de las instalaciones y tipo de depuración seleccionado), transporte de los residuos retirados del agua (basuras, arenas, lodos, etc.), reactivos que se emplean (coagulantes, floculantes, estabilizadores, etc.), y otros gastos (equipamiento del personal, materiales de seguridad, herramientas, reactivos y equipos de laboratorio y de control).

104 La experiencia demuestra la influencia que tiene el tamaño de la planta de tratamiento en el costo de la depuración por unidad tratada, el cual se eleva significativamente al disminuir el tamaño del núcleo urbano. Por otra parte, en los núcleos pequeños es más difícil disponer de servicio técnico y personal especializado y por lo tanto de equipos sofisticados. En cada caso particular es preciso considerar soluciones que minimicen los costos de inversión y de gestión y al mismo tiempo, garanticen la disponibilidad de la mano de obra y de los servicios técnicos adecuados para obtener agua de la calidad requerida (SANZ, 1999). La tabla 7.3 muestra, de forma cualitativa, las tendencias en los costos asociados a los principales sistemas de depuración biológica.

**TABLA 7.3** Tendencias en los costos de las principales tecnologías del tratamiento biológico

Fuente: Adaptado de Ministerio del Ambiente de Colombia (2002)

<i>Tecnología</i>	<i>costo de inversión</i>	<i>costo de operación y mantenimiento</i>
Lodos activados	.....	.....
Biodiscos rotatorios	.....	.....
Lechos biopercoladores	....	...
Reactores anaerobios de flujo ascendente	...	...
Filtros anaerobios	...	..
Lagunas de estabilización	..	..

(..) menor costo; (.....) mayor costo

### 7. 3. 3. AVANCES EN VENEZUELA

- 105 Una vez presentados algunos aspectos sobre tendencias actuales y tecnologías disponibles para la depuración de las aguas residuales, a continuación se presenta la situación más relevante en Venezuela, con la información disponible.
- 106 En Venezuela las prácticas de minimización y reutilización han venido desarrollándose fundamentalmente en la actividad industrial, en principio por la necesidad de cumplir con las exigencias normativas (Decreto 883, 1995) y más recientemente por el entendimiento de que las buenas prácticas de fabricación contribuyen a mejorar su proceso productivo y constituyen un elemento de competitividad en el mercado nacional e internacional. Se tienen referencias de ello particularmente en las industrias alimenticias, entre ella el ramo de bebidas y productos lácteos (GIL y NAJUL, 2004; LOVERA *et al.*, 2006; SANTIAGO y NAJUL, 2008).
- 107 En el ámbito municipal estas prácticas se han enfocado en campañas de concientización dirigidas fundamentalmente al buen uso y conservación del agua potable, por parte de Hidroven y sus empresas filiales, con un enfoque de ahorro, detección y reparación de fugas domiciliarias. Actualmente se lleva a cabo un programa de racionalización de los consumos de agua potable, a escala nacional, con el objeto de reducir el consumo registrado en el 2008 de 450 l/hab.d a un máximo de 330 l/hab.d, que con la disponibilidad de producción de los sistemas existentes, se lograría abastecer el equivalente a un 40% adicional de la población servida actualmente (BID, 2010).

- 108 Las pocas referencias del reúso del agua residual tratada a escala municipal se refieren al riego, tal es el caso del efluente de la planta de tratamiento Dos Cerritos en el estado Nueva Esparta, Planta Sur en Maracaibo, estado Zulia, y algunos sistemas pequeños en los estados Falcón y Lara. Sin embargo, en muy pocas de ellas existen referencias ciertas de este reúso y especialmente de sus resultados.
- 109 En el caso de Planta Sur, existen estudios que demuestran la factibilidad de uso del agua residual tratada para riego, no solo en términos de la calidad del efluente, sino también de la posibilidad de incorporar 6.000 ha a la producción agrícola, además de preservar los acuíferos que constituyen fuente de abastecimiento de agua potable de la zona (ROSILLO, 2002 y CÁRDENAS *et al.*, 2005). Sin embargo, hasta la fecha no se tiene conocimiento de su implementación.
- 110 En la actualidad está en consulta pública una normativa correspondiente al reúso del agua residual tratada en Venezuela que podría incentivar esta práctica a escala nacional (MPPS, 2011). Sin embargo, la experiencia señala que se requiere algo más que instrumentos legales para lograr cambios efectivos en materia de aguas.
- 111 En el ámbito industrial, las tecnologías aplicadas en Venezuela son diversas, pero no se conoce inventario oficial alguno de ellas, así como de su capacidad. Se tiene información de algunos sectores, como el alimenticio, donde ha habido sustitución de tecnologías de tratamiento por aquellas que requieren menos consumo de energía, por ejemplo, sistemas biológicos aerobios por anaerobios, como parte de las políticas de responsabilidad ambiental que han asumido.
- 112 El inventario de las tecnologías de tratamiento en el ámbito municipal no es completo ni preciso, pero existen algunos datos que permiten realizar estimaciones sobre cobertura y modalidades de tratamiento biológico. Información publicada por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente y datos generales existentes por estados, permiten estimar que aproximadamente un 30% de las aguas residuales municipales en Venezuela recibe tratamiento (MINAMB, 2010). Sin embargo, se conoce poco del funcionamiento y operación de estas plantas y menos aún de los resultados de la calidad del agua tratada, excepto en casos reportados en trabajos de investigación de instituciones de educación superior.
- 113 Comparándonos con otros países de América Latina similares a Venezuela, en Perú se reporta una cobertura del 35%, ausencia de monitoreo y registros de datos de funcionamiento de las plantas, incumplimiento de niveles de tratamiento e impactos negativos y riesgo a la salud (FONAN, 2010). Mientras que en Chile el tratamiento de aguas servidas se ha incrementado sustancialmente en los últimos años, hasta alcanzar una cobertura cercana al 83%, que paulatinamente ha permitido progresar en la descontaminación de aguas superficiales y medios marítimos. Predomina el uso de lodos activados, con casi un 60% respecto a la cantidad total de plantas de tratamiento de aguas servidas (SISS, 2012).

- 114 Las tecnologías de tratamiento biológico utilizadas en Venezuela son fundamentalmente lagunas de estabilización (anaerobias, facultativas y aireadas), lodos activados; y en menor proporción reactores anaerobios de flujo ascendente, lechos bio-percoladores y bio-discos rotatorios.
- 115 Estas tecnologías de tratamiento biológico, cuya función principal es la conversión del material orgánico biodegradable en compuestos estables, obedecen a una serie de condiciones locales y ambientales que condicionan su diseño y operación efectiva y cuyos parámetros, reportados en la literatura, generalmente corresponden a países de climas templados.
- 116 En ese sentido, desde 1976 la Planta Experimental de Tratamiento de Aguas de la Universidad Central de Venezuela ha desarrollado investigaciones a fin de obtener parámetros de diseño basados en las cargas orgánicas a tratar por los sistemas convencionales de tratamiento biológico de las aguas residuales municipales o urbanas en condiciones de clima tropical.
- 117 La tabla 7.4 presenta, para cada uno de los sistemas biológicos evaluados, las cargas orgánicas e hidráulicas aplicadas, los porcentajes de remoción de material orgánico, con base en un agua residual municipal proveniente del colector marginal del río Valle de la ciudad de Caracas, representativo de un líquido residual de concentración débil, condición de muchas de las aguas residuales municipales de las ciudades de Venezuela.

**TABLA 7.4** Principales parámetros asociados al funcionamiento de sistemas convencionales de tratamiento biológico, para aguas residuales municipales de concentración débil en clima tropical

Fuente: PETA (1974-2004)

<i>Sistema de tratamiento biológico</i>	<i>principales parámetros</i>
Lagunas facultativas	Cargas orgánicas: 200 a 1600 kg $\text{DBO}_{5,20}/\text{ha-d}$ Tiempos de retención: 14 a 2,5 d Remoción: 52%–88% $\text{DBO}_{5,20}$ total y 68%–93% $\text{DBO}_{5,20}$ soluble
Lagunas aerobias	Cargas orgánicas: 200 a 500 kg $\text{DBO}_{5,20}/\text{ha-d}$ Tiempos de retención: 8 a 1,6 d Remoción: 52%–78% $\text{DBO}_{5,20}$ total y 68%–83% $\text{DBO}_{5,20}$ soluble
Lodos activados	Cargas orgánicas: 0,16 a 0,21 kg $\text{DBO}_{5,20}/\text{ha-d}$ Tiempos de retención hidráulico: 16 a 15 h Tiempos de retención celular: 30 d Remoción: 72%–94% $\text{DBO}_{5,20}$
Lechos biopercoladores	Cargas orgánicas: 0,4 a 1,6 kg $\text{DBO}_{5,20}/\text{m}^3$ piedra picada-d Cargas hidráulicas: 4 a 35 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{-d}$ Remoción: 51% a 99% $\text{DBO}_{5,20}$
Biodiscos rotatorios	Cargas orgánicas: 6,9 a 26 g $\text{DBO}_{5,20}/\text{m}^2$ disco-d Cargas hidráulicas: 0,05 a 0,16 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{-d}$ Tiempos de retención: 2,4 a 0,45 h Remoción: 85 a 88% $\text{DBO}_{5,20}$
Reactores anaerobios de flujo ascendente RAFA/UASB	Cargas orgánicas: 1,2 a 1,5 kg $\text{DBO}/\text{m}^3\text{-d}$ Tiempos de retención: 6 h Carga hidráulica: 4,5 a 6,8 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{-d}$ Remoción: 58–74% $\text{DBO}_{5,20}$ y 58%–71% DQO

DBO Demanda biológica de oxígeno  
DQO Demanda química de oxígeno

118 Las tecnologías de tratamiento biológico en Venezuela también se han extendido a algunos núcleos urbanos, particularmente donde no se dispone de redes cloacales, con un número significativo de sistemas para el tratamiento de las aguas residuales domésticas basados en la tecnología de lodos activados, como es el caso del municipio Los Salias, estado Miranda. El principal inconveniente es la ausencia de mano de obra calificada para su operación adecuada, lo que se ha traducido en efluentes que no cumplen con los requerimientos de calidad establecidos en la normativa. Adicionalmente, las actividades de vigilancia y control por parte de las autoridades públicas no son efectivas.

#### 7. 3. 4. INSTRUMENTOS LEGALES

119 Los instrumentos legales constituyen uno de los elementos de mayor importancia en la gestión de los diversos aspectos vinculados con el agua. En el caso venezolano ha habido un marco legal adecuado, sin embargo estos no han evitado su deterioro.

120 Sin ánimo de ser exhaustivos, partiendo desde la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, de 1999, pasando por las Leyes Orgánicas del Ambiente, Ordenación del Territorio, Aguas, Ley Penal del Ambiente, Normas como la Clasificación y Control de Cuerpos de Agua y Vertidos Líquidos ya mencionada, Leyes especiales para cuerpos de agua como la de Protección de la Cuenca del Lago de Maracaibo, creación de Autoridades Únicas para el manejo de cuencas específicas, entre otras, constituyen un amplio marco jurídico que respalda las acciones que se emprendan en pro de evitar o controlar los problemas de contaminación del agua en Venezuela.

121 Asimismo, se han emprendido proyectos de saneamiento de gran envergadura, como el de la cuenca del río Yaracuy. El «Estudio Sanitario Integral del río Yaracuy» (PARRA PARDI *et al.*, 1974) propició la promulgación del Decreto 2.181 (GORV núm. 36.344, 1998), que establece la clasificación de las aguas del río Yaracuy y sus tributarios y las normas para el control de la calidad de los vertidos líquidos a ellos descargados. En este Decreto las limitaciones de descarga fueron previstas como cargas máxicas y se implementó un programa de saneamiento. Sin embargo, la figura 7.6, pág. 253, muestra, para el año 2009, un índice de calidad de agua que la califica como mala.

122 Es importante mencionar que además de este, se han acometido importantes proyectos de saneamiento, como los de la cuenca del lago de Valencia, la cuenca del río Tuy y más recientemente del río Guaire, donde a pesar de las inversiones realizadas, no se observa mejoría en la calidad de sus aguas.

123 Con base en lo presentado, se puede concluir que las estrategias hasta ahora utilizadas no han sido efectivas o, al menos, no son sustentables, lo que sugiere enfrentar la contaminación y preservar la calidad de los cuerpos de agua incentivando y conduciendo políticas efectivas, en principio mediante las prácticas de minimización y reúso de los líquidos residuales, y luego de agotadas estas prácticas, concebir tecnologías de tratamiento que permitan mantener la calidad del ambiente acuático o reutilizar el agua residual tratada como un mecanismo de manejo integral del recurso hídrico.

## REFERENCIAS

- AGENCIA DE NOTICIAS DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA. (2010)  
Gota a gota, el petróleo amenaza la vida del lago. Documento en línea: [http://www.agenciadenoticias.luz.edu.ve/index.php?option=com\\_content&task=view&id=1527-&Itemid=164](http://www.agenciadenoticias.luz.edu.ve/index.php?option=com_content&task=view&id=1527-&Itemid=164). Consultado: junio 2012.
- ALVARADO, J.—K. P. SEILER—P. TRIMBORN. (1996)  
«Investigación hidrogeológica, isotópica e hidroquímica de la cuenca del lago de Valencia, Venezuela». *Proceedings on Isotopes In Water Research Management*, vol. 2, IAEA Viena: págs. 281- 299.
- ÁVILA, H.—E. GUTIÉRREZ—H. LEDO—M. ARAUJO—M. SÁNQUIZ. (2010)  
«Heavy metals distribution in superficial sediments of Maracaibo Lake (Venezuela)». *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, vol. 3, núm.2, Maracaibo.
- BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (BID). (2010)  
Programa de racionalización de los consumos de agua potable—PRAC.VE-L 1027. Documento en: <http://www.iadb.org/es/proyectos/busqueda-avanzada,1301.html?country=VE&nofilter>.
- BLANCO, H.—E. LÓPEZ—M. NAJUL—M. RINCONES—R. SÁNCHEZ. (1995)  
«Ambiente y servicios», en *Memorias para el Futuro*, Gangemi Editore, Roma, págs. 227-241.
- CORPORACIÓN ANDINA DE FOMENTO (CAF). (2012)  
*Agua potable y saneamiento en América Latina y el Caribe: metas realistas y soluciones sostenibles*. Propuesta para el 6° Foro Mundial del Agua, 51 p.
- CÁRDENAS, C.—C. JAEGER—H. VILLASMIL—T. PERRUOLO—S. YABROUDI—F. LÓPEZ—L. HERRERA—C. CASTEJÓN. (2005)  
«Evaluación de las unidades que conforman la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Maracaibo Sur». *Revista Técnica de Ingeniería de la Universidad del Zulia*, vol. 28, núm.2, Maracaibo.
- CVG—ELECTRIFICACIÓN DEL CARONÍ—EDELCA. (2004)  
«Estudio Plan Maestro de la Cuenca del Río Caroní. Diagnóstico y Caracterización de la Cuenca». Capítulo 4. Calidad de las Aguas Superficiales y Embalses, Caracas.
- FERRARA, G.—M.V.NAJUL—R. SÁNCHEZ. (2007)  
*Calidad del recurso hídrico*. Centro Interamericano de Investigación Ambiental y Territorial-CIDIAT-ULA, Mérida.
- FERNÁNDEZ, A.—S. HERMAN DE BAUTISTA. (2006)  
«Determinación de un indicador multivariado de la condición de estratificación del lago de Maracaibo utilizando el método de componentes principales». *I Congreso Internacional de la Cuenca del Lago de Maracaibo*, Maracaibo, Venezuela.
- FONDO NACIONAL DEL AMBIENTE (FONAM). (2010)  
Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú. Documento en línea: [http://www.fonamperu.org/general/agua/documentos/Oportunidades\\_Mejoras\\_Ambientales.pdf](http://www.fonamperu.org/general/agua/documentos/Oportunidades_Mejoras_Ambientales.pdf). Consultado: 24.6.2012
- GIL, K.—M. NAJUL. (2004)  
«Manejo de desperdicios en industrias de derivados lácteos con criterios competitivos». Coautor. *Memorias del XXIX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, AIDIS, Puerto Rico, agosto 2004.
- GOITÍA, C. (1995)  
*Evaluación temporal del estado trófico del lago de Valencia a través de imágenes de satélite*. Trabajo de Grado de Maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- GONZÁLEZ, E.—M. ORTAZ—C. PEÑA HERRERA—M. MATOS. (2004)  
«Fitoplancton de un embalse tropical hipertrófico (Pao-Cachinche, Venezuela): abundancia, biomasa y producción primaria». *Interciencia*, vol. 29, núm.10. Documento en línea: [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442004-01000002](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442004-01000002). Consultado: junio 2012.
- HERMAN DE BAUTISTA, S.—J. CRUZ.—A. RINCÓN—N. TORRES. (1997)  
*Proceso de salinización en el lago de Maracaibo*. Instituto para el Control y la Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo, ICLAM, Maracaibo, Venezuela.
- HIDROCENTRO. (2008)  
Calidad de agua de los sistemas I y II del estado Carabobo. Año 2008. Informe técnico de la c. A. Hidrológica del Centro.



- HIDROCENTRO. (2009)  
Resumen anual del año 2009. Informe técnico de la C. A. Hidrológica del Centro.
- HIDROCENTRO. (2010)  
Resumen anual del año 2010. Informe técnico de la C. A. Hidrológica del Centro.
- KASSABJI, E. (2002)  
*Estudio hidrogeoquímico y remediación de las aguas subterráneas de la cuenca del lago de Valencia*. Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
  - KUNDZEWICZ, Z.W.—L. J. MATA—N. W. ARNELL—P. DOLL—K. B. JIMÉNEZ—K. A. MILLER—T. OKI—Z. SEN—I. A. SHIKLOMANOV. (2007)  
«Freshwater resources and their management. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability». *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. PARRY, O.F. CANZIANI, J.P. PALUTIKOF, P.J. VAN DER LINDEN y C.E. HANSON (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173-210.
  - LOVERA, J.—M. NAJUL—R. AGUDO. (2006)  
«Trazabilidad: Una herramienta de gestión integral. Aplicación en el caso de una industria láctea». Coautor. *Memorias del xxx Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, Punta del Este, Uruguay, 2006.
  - MATOS, M.—M. E. DE RODRÍGUEZ. (2002)  
«Cambios iniciales en la desestratificación del embalse Pao Cachinche por aireación artificial, Estado Carabobo, Venezuela». *XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Cancún*, México.
  - MEDINA, Z.—L. ROMERO—L. BOTERO. (2006)  
«Viabilidad de quistes de Giardias en las playas del lago de Maracaibo». *I Congreso Internacional de la Cuenca del Lago de Maracaibo*, Maracaibo.
  - MINISTERIO DEL AMBIENTE DE COLOMBIA. (2002)  
Gestión para el manejo, tratamiento y disposición final de las aguas residuales municipales. Programa Fortalecimiento Institucional para la Gestión Ambiental Urbana (FIGAU). Colombia. Documento en línea: [http://www.cortolima.gov.co/SIGAM/cartillas/Residuos\\_municipales.pdf](http://www.cortolima.gov.co/SIGAM/cartillas/Residuos_municipales.pdf). Consultado: 24.6.2012.
  - MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA EL AMBIENTE, LABORATORIO NACIONAL DE HIDRÁULICA. (2009)  
*Estudio de tendencia de la calidad del agua del río Tuy*. Compendio 2008-2009, Informe Técnico, Caracas.
  - MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA EL AMBIENTE. (2010)  
Indicadores ambientales. [http://www.min-amb.gov.ve/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=67&Itemid=137](http://www.min-amb.gov.ve/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=67&Itemid=137). Consultado: julio 2012.
  - MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA LA SALUD. (2011)  
Proyecto de Normas Sanitarias para la Vigilancia y Control del Reúso de las Aguas Residuales Tratadas. En consulta pública.
  - NAJUL, M. (2006)  
*Evaluación de la calidad de las aguas del acuífero de Maracaibo*. Trabajo de Ascenso. Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
  - NAJUL, M.—E. LÓPEZ—R. SÁNCHEZ—C. AMUNDARAY—A. RAMÍREZ. (2006)  
«Medio siglo de características del río Guaire: un aporte para su saneamiento». Presentado en el *I Congreso Internacional del Lago de Maracaibo-Coinlago*, Maracaibo, Venezuela, 2006.
  - ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD/PROYECTO DIPECHO. (2007)  
Experiencias replicables en gestión sanitaria local en los países andinos. Ecuador. Documento en línea: <http://www.paho.org/spanish/dd/ped/experienciasgestionsanitariaindica.pdf>. Consultado: junio 2012.
  - ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). (2006)  
Environmental Performance Reviews. Water: the Experience in OECD countries. Documento en línea: <http://www.oecd.org/dataoecd/18/47/36225960.pdf>. Consultado: 11.7.2012.
  - OSORIO, L.—J. HURTADO—F. ACEVEDO. (1956)  
«El río Guaire. Estudio de su Contaminación y autopurificación». *Revista del Instituto Nacional de Obras Sanitarias*, núm. 6, Caracas.
  - PALANIAPPAN, M.—P. H. GLEICK—L. ALLEN—M. J. COHEN—J. C. SMITH—C. SMITH. (2010)  
*Clearing the Waters. A focus on water quality solutions*. NANCY ROSS (ed.). UNEP-Division of Environmental Policy Implementation-Pacific Institute. Printing: UNON, Publishing Services Section, Nairobi, ISO 14001: 2004-certified, 88 p.

- PARRA PARDI, G.—L. BLUMMENKRANZ—J. RODRÍGUEZ—A. SERRANO. (1974) *Estudio sanitario integral de la cuenca del río Yaracuy*. Ministerio de Sanidad y Asistencia Social, Caracas.
- PROSAP-PROGRAMA DE SERVICIOS AGRÍCOLAS PROVINCIALES. (2010) *Manual de calidad del agua*. Provincia de Tucumán: Programa de Riego y Transformación Productiva, Argentina, 98 p.
- RAMOS, M. (2012) *Análisis de la variación temporal y espacial de la calidad del agua en la cuenca media del río Tuy en el período 1969-2008*. Trabajo de Grado de Maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas (en elaboración).
- REPÚBLICA DE VENEZUELA. (1990) *Normas sobre la instalación de granjas porcinas*. Gaceta Oficial de la República de Venezuela núm. 4.158 (25.1.1990). Decreto núm.635.
- REPÚBLICA DE VENEZUELA. (1995) *Normas para la Clasificación y el Control de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos*. Gaceta Oficial de la República de Venezuela núm. 5.021 (18.12.1995). Decreto núm.883.
- REPÚBLICA DE VENEZUELA. (1998) *Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de las Aguas de la Cuenca del Río Yaracuy*. Gaceta Oficial de la República de Venezuela núm.2.181 (29.10.1998).
- RIVAS, Z.—J. SÁNCHEZ—F. TROCONE—R. MÁRQUEZ—H. LEDO DE MEDINA—M. COLINA—E. GUTIÉRREZ. (2009) «Nitrógeno y fósforo totales de los ríos tributarios al sistema lago de Maracaibo, Venezuela». *Interciencia*, vol. 34, núm.5. Documento en línea disponible en: <http://www.scielo.org.ve/pdf/inci/v34n5/arto4.pdf>. Consultado: junio 2012.
- RIVAS, Z.—R. MÁRQUEZ—F. TROCONE—J. SÁNCHEZ—M. COLINA—H. LEDO DE MEDINA. (2006a) «Determinación del índice de calidad del agua de los principales ríos tributarios del lago de Maracaibo». *I Congreso Internacional de la Cuenca del Lago de Maracaibo*, Maracaibo.
- RIVAS, Z.—J. SÁNCHEZ—F. TROCONE—R. MÁRQUEZ—M. COLINA—H. LEDO DE MEDINA. (2006b) «Evaluación físico-química y bacteriológica del agua del río Catatumbo y sus afluentes, estado Zulia, Venezuela». *I Congreso Internacional de la Cuenca del Lago de Maracaibo*, Maracaibo.
- RODRÍGUEZ, A.—P. LETÓN—R. ROSAL—M. DORADO—S. VILLAR—J. SANZ. (2006) *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Informe de vigilancia tecnológica*. España. Documento en línea: [http://www.madrimas.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt2\\_tratamiento\\_avanzado\\_de\\_aguas\\_residuales\\_industriales.pdf](http://www.madrimas.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt2_tratamiento_avanzado_de_aguas_residuales_industriales.pdf). Consultado: 24.6.2012.
- ROSILLO, A. (2002) *Sistema integrado de tratamiento y uso de aguas residuales domésticas de Maracaibo, Venezuela*. OPS/CEPIS, Lima.
- SANTIAGO, J.—M. NAJUL. (2008) «Experiencia de producción más limpia en una cervecera venezolana». *Memorias del XXXI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, Santiago de Chile, Chile, 2008.
- SANZ, F. M. (1999) «La gestión de las aguas residuales en los municipios pequeños de la provincia de Castellón». Segundas conferencias sobre el medio ambiente: Turismo y medio ambiente. Documento en línea: [www.ces.gva.es/pdf/conferencias/02/8.pdf](http://www.ces.gva.es/pdf/conferencias/02/8.pdf). Consultado: junio 2012.
- SEVEREYN, H.—J. DELGADO—A. GODOY—Y. GARCÍA DE SEVEREYN. (2003) «Efecto del derrame de petróleo del buque Nissos Amorgos sobre la fauna macroinvertebrada bentónica del golfo de Venezuela: cinco años después». *Sociedad Venezolana de Ecología. Ecotrópicos* 16(2): 83-90 2003. Documento en línea: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/25565/2/articulo4.pdf>. Consultado: junio 2012.
- SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS SANITARIOS-SISS. (2012) *Tratamiento de aguas servidas*. Documento en línea: <http://www.siss.gob.cl/577/w3-propertyvalue-3528.html>. Consultado: junio 2012.
- TECNOSAN, C.A. (1967) «Proyecto de Factibilidad Económica de Aprovechamiento Múltiple del Río Guaire en el Sector Petare-Tuy Medio». Tomo I. Informe para la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas, Caracas, p.141.



- UNEP GEMS—WATER—UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME GLOBAL ENVIRONMENT MONITORING SYSTEM (GEMS)—WATER PROGRAMME. (2007)  
Water Quality Outlook. Documento en línea: [http://esa.un.org/iys/docs/san\\_lib\\_docs/water\\_quality\\_outlook.pdf](http://esa.un.org/iys/docs/san_lib_docs/water_quality_outlook.pdf). Consultado: 6.7.2012
- UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA. (2004)  
Planta Experimental de Tratamiento de Aguas (1974-2004). Informes Técnicos, Facultad de Ingeniería, Caracas.
- UN WWAP—UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. (2009)  
Water and Industry. Documento en línea: [http://www.unesco.org/water/wwap/facts\\_figures/water\\_industry.shtml](http://www.unesco.org/water/wwap/facts_figures/water_industry.shtml). Consultado: 12.7.2012
- UNESCO—WHO—UNEP. (1996)  
*Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*, Segunda edición. Editado por Deborah Chapman, Chapman & Hall.
- UNESCO—UNITED NATIONS, EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. (2012)  
*Managing Water under Uncertainty and Risk—The United Nations World Water Development Report 4*, volumen 1, 380 p.
- UNICEF—UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND—WHO—WORLD HEALTH ORGANIZATION JOINT MONITORING PROGRAMME FOR WATER SUPPLY AND SANITATION. (2008)  
*Progress on Drinking Water and Sanitation: Special Focus on Sanitation*. UNICEF, New York and WHO, Geneva.

