CALIDAD DEL AGUA EN LAS AMÉRICAS

UNA SINOPSIS

La Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS) es una red regional de Academias de Ciencias creada para apoyar la cooperación para fortalecer la ciencia y la tecnología como herramientas para promover la investigación y el desarrollo, la prosperidad y la equidad en las Américas. IANAS es miembro regional de Inter Academy Partnership (IAP). https://ianas.org/

CALIDAD DEL AGUA EN LAS AMÉRICAS
UNA SINOPSIS
Primera edición - Córdoba, Argentina, junio 2021.

Co-Chairs de IANAS: Jeremy McNeil and Helena Nader

Directora Ejecutiva: Beatriz L. Caputto

Co-chairs del Programa del Agua de IANAS: Katherine Vammen (Nicaragua) and Henry Vaux (USA)

Comité Editorial: Katherine Vammen, Henry Vaux, Ernesto José Gonzalez Rivas, Gabriel Alfonso Roldán Pérez

Autores: Katherine Vammen, Henry Vaux, Ernesto José Gonzalez Rivas, Gabriel Alfonso Roldán Pérez

Traducción: Maite Pérez García

Diseño Editorial: Lucía Hamity

Impreso por Soluciones Gráficas SRL
Obispo Trejo 253 - Local 8-9, Córdoba.
Número de teléfono: 0351 - 424-0611
© IANAS - IAP 2021
Impreso en Córdoba, Argentina.

Reservados todos los derechos.
La reproducción total o parcial de este libro, en cualquier forma, por cualquier medio electrónico, químico, mecánico, óptico o fotocopiado no autorizado viola los derechos de autor. Cualquier uso debe ser solicitado previamente a IANAS.

CALIDAD DEL AGUA EN LAS AMÉRICAS

UNA SINOPSIS

TABLA DE CONTENIDOS

Dedicatoria 7

Capítulo I. Introducción 9

Capítulo II. Ciencia básica de la contaminación 13

Capítulo III. Revisión de problemas de calidad del agua 21

a. Eutrofización 23

b. Contaminación Química 26

c. Contaminantes biológicos y otros no químicos 32

d. Agua subterránea 38

Capítulo IV. Gobierno y gestión de la calidad del agua 41

Capítulo V. Conclusiones 47

Referencias 53

Autores 55

DEDICATORIA

DAVID WILLIAM SCHINDLER
(1940 – 2021)

El profesor David Schindler, presidente de Killam Memorial y profesor de Ecología en la Universidad de Alberta (Canadá), falleció cuando este volumen estaba a punto de terminarse. El profesor Schindler fue un gigante en el campo de las ciencias del agua y, especialmente, en calidad del agua. Sus contribuciones al estudio del rol del fósforo en la eutrofización, los impactos de la lluvia ácida en los hábitats acuáticos y los impactos ambientales que producen las arenas de alquitrán de Alberta -por nombrar solo algunos- son ejemplos incomparables de cómo la ciencia puede contribuir a nuestra comprensión del mundo y nuestro impacto en él. (No por casualidad el profesor Schindler fue el autor del capítulo sobre la calidad del agua en Canadá que aparece en la versión extensa de este libro, de la que se extrajo el presente volumen). Estos logros científicos fueron suficientemente notables, pero su legado incluye mucho más. El profesor Schindler fue un verdadero e incansable defensor del uso de la ciencia en la formulación de políticas públicas ambientales. Son sobrados los ejemplos en los que discutió con autoridades reguladoras, y otros, sobre los caminos equivocados que habían tomado, sobre cómo la ciencia podía usarse para corregir los errores que estaban a punto de cometer, o que ya habían cometido. Hay pocos académicos, si es que hay, que hayan hecho contribuciones tan importantes a la ciencia, así como también a la formulación de políticas. Con esta dedicatoria, los miembros del Comité de Agua de IANAS expresamos agradecimiento y admiración por los logros científicos del profesor Schindler, por su impacto en las políticas públicas, y por enseñarnos cómo llevar adelante ambas tareas.

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

Este volúmen es un resumen de un trabajo sustancial sobre calidad del agua en las Américas producido por el Programa del Agua de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (InterAmerican Network of Academies of Sciences - IANAS). Este trabajo titulado *Calidad del Agua en las Américas: Riesgos y oportunidades*, fue co-escrito por alrededor de 148 académicos y expertos, incluyendo miembros del programa del agua de IANAS y asociados. Este volumen tiene como objetivo proveer una mirada accesible y resumida del documento extenso que llega a tener 600 páginas. A diferencia de la versión más extensa, que provee de descripciones y análisis de la calidad del agua por país, y algunos capítulos especiales, este volumen se enfoca en los problemas de la calidad del agua en una base hemisférica más amplia. Si bien los ejemplos son traídos desde la particularidad de los países, la intención es proveer al lector una evaluación general de los problemas de la calidad del agua de las Américas y algunos medios para abordarlos.

En el s. XIX y comienzos del s. XX, la preocupación sobre los recursos hídricos estaba principalmente enfocada en la adecuación de los suministros para el hogar, la industria y la actividad agrícola. Con el advenimiento de la era moderna, comenzó a ser obvio que la protección y el mantenimiento de la calidad del agua es una parte esencial de mantenimiento de suministros para los diferentes usos del agua. El desmejoramiento continuo en la calidad del agua, frecuentemente resultaban en pérdidas de los suministros disponibles, igualmente como sequías. La restauración y protección de la calidad del agua es compleja e implica una variedad de esfuerzos que van desde el manejo de las cuencas hídricas hasta la promulgación y ejecución de leyes y políticas del agua. Esto es especialmente cierto hoy, ya que surgen contaminantes emergentes y previamente desconocidos, frecuentemente antes de que sus impactos en el agua y sus usos puedan ser evaluados adecuadamente. Además, hoy en día se entiende que se requiere de una gestión cuidadosa de la calidad del agua para la protección de los ecosistemas y la producción de servicios ambientales. El monitoreo integral de la calidad del agua en las Américas es inadecuado en su mayoría. Sin un monitoreo adecuado es difícil conocer la magnitud y extensión del problema de contaminación del agua, y, de manera similar, es difícil saber si los esfuerzos para mejorar y proteger la calidad del agua han tenido éxito. El monitoreo requiere de inversión pública y, aun así, su importancia no está a la luz del público en general y los esfuerzos para recaudar fondos para respaldar estos monitoreos no suelen tener éxito.

La variedad de climas y paisajes en las Américas es abrumadora. Sin embargo, casi no existen países o regiones que no estén plagados de problemas importantes en la calidad del agua. Muchos de esos problemas tienen factores comunes y formas de manejo comunes. Estos se establecen

en los capítulos siguientes. En el Capítulo 2, se exponen algunas aplicaciones básicas de la ciencia pertinentes a la gestión de la calidad del agua. Conducen a algunas lecciones sencillas sobre qué incluir y qué evitar al establecer planes y políticas de calidad del agua. Este capítulo también contiene una discusión de dos temas generales que son pertinentes para todos los países y regiones: la salud y el cambio climático. El Capítulo 3 contiene un resumen sobre los problemas de calidad del agua encontrados en las Américas. Estos problemas incluyen la eutrofización, contaminación química, biológica y otros contaminantes. Este capítulo también contiene una discusión sobre las aguas subterráneas, que están adquiriendo una importancia creciente como fuente de suministro en las Américas. La protección de la calidad del agua subterránea plantea particularmente problemas difíciles de gestión, que deberán abordarse para que esta fuente de agua siga siendo viable en muchas áreas.

El Capítulo 4 contiene una breve discusión sobre la gobernabilidad de la calidad del agua, las instituciones y las políticas necesarias. Hay pocos lugares en las Américas que hayan abordado completamente estos problemas. El Capítulo 5 contiene las principales conclusiones de este volúmen resumido. Para aquellos que deseen más detalles y análisis país por país o capítulos especiales, el volumen más grande se puede encontrar en línea en inglés en la página web de IANAS: https://ianas.org/
Específicamente:
https://ianas.org/wp-content/uploads/2020/07/02-Water-quality-INGLES.pdf
y
https://ianas.org/wp-content/uploads/2020/09/03-Water-quality-ESPA%C3%91OL.pdf

CAPÍTULO II

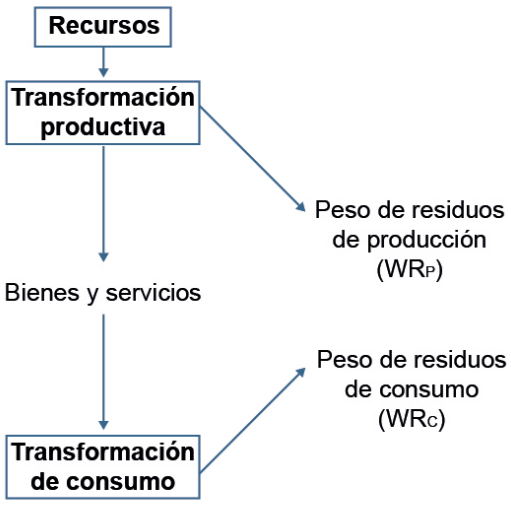
TEMAS GENERALES: PRINCIPIOS, SALUD Y CAMBIO CLIMÁTICO

El término “calidad del agua” abarca una serie de fenómenos y, por necesidad, el estudio de la calidad del agua debe abordarse desde una serie de disciplinas diferentes, incluidas la biología, la química, la física, la hidrología, la medicina y las ciencias sociales. No obstante, existen principios, efectos sobre la salud e impactos del cambio climático que son temas transversales de la calidad del agua. Estos temas, principios, efectos sobre la salud e impactos climatológicos se consideran en este capítulo.

PRINCIPIOS CIENTÍFICOS.

Una gestión eficaz de la calidad del agua requiere una comprensión de la Ley fundamental de Conservación de la Energía y la Materia. Esta ley abarca varias condiciones críticas que no deben descuidarse al diseñar estrategias de gestión y esquemas de protección para la calidad del agua. La Ley fundamental sostiene que la materia y la energía siempre se conservan. Este principio requiere que siempre se conserven los recursos y materiales que fluyen a través de los sistemas de producción y consumo. La figura 1 ilustra cómo ocurre esto. A la izquierda en el diagrama se encuentran las materias primas y los recursos que fluyen a través de los procesos productivos. Los procesos productivos transforman los materiales y recursos en 1) bienes y servicios útiles y 2) los residuos de los procesos productivos, WR_P (por sus siglas en inglés, weight of the residuals of production). Como regla general, los residuos no tienen ningún valor que pueda ser capturado y, cuando no se regulan, se descargan en sumideros ambientales que incluyen tierra, aire y agua. Los bienes y servicios que se producen son comprados por los consumidores. Otra transformación tiene lugar en el proceso de consumo en el que los residuos del consumo, habitualmente basura y basuras, WR_C (por sus siglas en inglés, weight of residuals of consumption), se vierten al medio ambiente. En este análisis se asume que los residuos no están regulados.

Figura 1. Esquema del principio de balance de materiales.



El Principio de Balance de Materiales que sigue de este análisis sostiene que el peso de los recursos que ingresan al proceso de producción es aproximadamente igual al peso de los residuos de producción, WR_p (por sus siglas en inglés) más el peso de los residuos de consumo, WR_C (por sus siglas en ingles). (Ayers, Kneese y d'Arge, 2015).

1) $W_{res} = WR_P + WR_C$

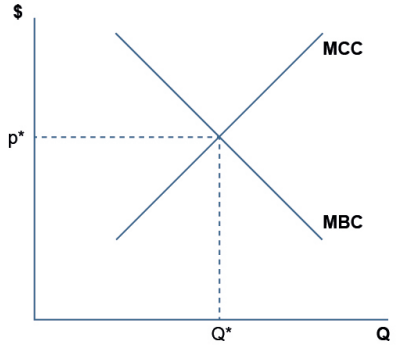
Dónde

W_{res} = tel peso de los recursos y materiales que ingresan a los procesos de producción.
WR_R = el peso de los residuos de producción.
WR_C = el peso de los residuos de consumo.

A continuación, se presentan dos conclusiones importantes. Primero, el peso (cantidades) de los residuos vertidos al medio ambiente solo puede reducirse a) reduciendo el peso de los recursos y materiales que se someten a las transformaciones consuntivas y productivas, o b) capturando los residuos de las transformaciones productivas y consuntivas y reciclarlos a través del sistema como recursos. Una segunda conclusión importante es que cuanto más estricta sea la restricción de descarga en un sumidero (digamos, agua), peor será la calidad ambiental de los otros sumideros (como, por ejemplo, aire y tierra). El punto importante aquí es que estos sumideros están interrelacionados y no es posible regular la calidad ambiental de todos los sumideros simplemente promulgando estándares.

Un principio adicional aportado por la disciplina de la economía es que en la mayoría de los casos es ineficiente controlar la contaminación por completo. Esto puede verse refiriéndose a la **Figura 2**, donde la cantidad óptima de reducción de la contaminación se encuentra en el punto donde los costos marginales del control y los beneficios marginales del control son iguales. Esto significa que el punto óptimo de control es justo antes de que los costos marginales del control excedan los beneficios marginales derivados de dicho control. Esta posición maximiza los beneficios netos del control de la contaminación. Son varios los casos en los que esta conclusión no se sostiene. El primero es el caso en el que el contaminante a limpiar es tan tóxico o nocivo que causa daños que son inmensos. Otro caso es donde los costos de limpiar el contaminante son en sí mismos muy altos, tal vez al borde de ser infinitamente altos. (Baumol y Oates, 1993).

Figura 2. Costos y beneficios incrementales del control de la contaminación



Dónde:

MCC = (por sus siglas en inglés, marginal costs of pollution control): Costos marginales del control de la contaminación en dólares estadounidenses.
MBC (por sus siglas en inglés, marginal benefits from pollution control): Beneficios marginales del control de la contaminación en dólares estadounidenses.
Q* = Cantidad óptima de control de la contaminación.
p* = Precio incremental del control óptimo.

Las políticas y la regulación bien elaboradas para una correcta gestión de la calidad del agua incorporarán estos dos principios de manera sencilla. Dichas políticas contendrán un reconocimiento explícito de la interrelación de los sumideros de desechos: aire, tierra y agua. Evitarán requisitos simples que no son efectivos, como establecer estándares ambientales para un solo sumidero sin proporcionar implementaciones adicionales. Las políticas eficaces también evitarán, cuando sea apropiado, objetivos simplistas como requisitos de descarga cero que pueden ser innecesariamente costosos.

Salud.

Los diferentes usos requieren agua de diferentes calidades. Así, por ejemplo, algunos usos

industriales como la fabricación de chips informáticos requieren agua de la mejor calidad posible, mientras que el agua que se utiliza para refrigeración o usos en corrientes (como la navegación) puede ser de calidad indiferente. Si bien las aguas de diferentes calidades pueden ser adecuadas para diferentes usos, la necesidad de proteger a los humanos de las enfermedades transmitidas por el agua es probablemente el desafío más importante que enfrentan los proveedores de agua. En particular, las aguas utilizadas para beber, cocinar y el contacto humano (natación) deben ser de la más alta calidad para no causar o propagar enfermedades humanas. Las enfermedades transmitidas por el agua se conocen desde hace mucho tiempo, pero muchas todavía prevalecen en varios lugares del mundo, incluso en Occidente. Los efectos que tiene en la salud beber agua contaminada han sido bien documentados, y van desde enfermedades gastrointestinales a corto plazo, hasta afecciones a largo plazo como el cáncer y retraso en el desarrollo neurológico. La disponibilidad de agua de buena calidad es condición esencial para la buena salud.

El agua a veces se denomina el solvente universal y, por tanto, prácticamente todas las aguas naturales están contaminadas hasta cierto punto. La contaminación química ocurre naturalmente cuando el agua entra en contacto con el suelo y/o el sustrato geológico. Los contaminantes naturales son principalmente inorgánicos e incluyen arsénico, fluoruro, hierro, manganeso, nitratos y radionucleidos. Estos contaminantes se encuentran generalmente en concentraciones más altas en el agua subterránea que en el agua superficial. Muchos de los contaminantes naturales son inofensivos para los humanos siempre que su concentración en el agua sea baja. Sin embargo, en algún momento la intensidad y/o frecuencia de la exposición tiene como resultado efectos adversos para la salud. Otros contaminantes, como por ejemplo el arsénico, se acumulan en el cuerpo con el tiempo, y las exposiciones intensas, frecuentes y de cierta duración, pueden resultar en cargas corporales acumulativas que en algún momento se vuelven tóxicas y luego letales.

Una fuente contrastante de contaminantes químicos es aquella creada por el hombre o introducidos en el medio ambiente por esfuerzos humanos y actividades humanas. Estos incluyen productos químicos que se encuentran en las aguas residuales domésticas e industriales; fertilizantes, plaguicidas y otros productos químicos utilizados en la agricultura; residuos mineros y drenaje de minas abandonadas. Los contaminantes emergentes son una fuente importante de preocupación en la contaminación del agua. Estos son productos químicos sintéticos que están asociados con nuevas tecnologías o procesos que se han desarrollado recientemente y que tal vez estén experimentando una adopción rápida y generalizada. Estos productos químicos son motivo de especial preocupación porque, por lo general, se sabe poco sobre sus efectos sobre la salud y otros efectos secundarios. Además, los productos químicos emergentes, por definición, no han estado presentes en el medio ambiente antes de que las interacciones ambientales resultantes puedan conducir a la liberación de productos químicos que no se han visto (o quizás incluso no se han detectado) antes. Se desconocen la toxicidad y otros posibles efectos en la salud de dichos productos químicos. Los contaminantes emergentes representan una amenaza para las poblaciones de todos los países del hemisferio occidental. Para algunos, la capacidad de analizar dichos contaminantes con fines reglamentarios no está adecuadamente desarrollada, financiada y/o gestionada. Incluso para países con sistemas regulatorios relativamente avanzados como Canadá y Estados Unidos, la escala de esfuerzos y metodologías de detección para evaluar contaminantes emergentes es totalmente inadecuada para mantenerse al día con los nuevos contaminantes que surgen a diario.

Los productos químicos, tanto naturales como artificiales, representan una clase importante de contaminantes. La otra clase es la de contaminantes biológicos. Estos incluyen virus, bacterias, algas y protozoos. Algunas de las enfermedades transmitidas por el agua más conocidas y más extendidas son bacterianas e incluyen el cólera, el dengue, la salmonela e, indirectamente, la malaria.

Estas enfermedades se asocian habitualmente con aguas residuales no tratadas. Las bacterias patógenas emergentes que pueden transmitirse a través del agua son una fuente de creciente preocupación. La necesidad de idear métodos efectivos para identificar y manejar tales bacterias ya sea a través de métodos de prevención o tratamiento, es un desafío científico importante para los profesionales de la calidad del agua. Los virus que causan enfermedades se transmiten con mayor frecuencia a través de aguas residuales contaminadas, a menudo aguas residuales sin tratar. Algunos de los virus más importantes son Norovirus, Rotavirus, Hepatitis A, Hepatitis E, Enterovirus y Adenovirus. Estos y otros virus que causan enfermedades tienden a encontrarse en lugares que carecen por completo de instalaciones sanitarias adecuadas o donde las instalaciones existentes están desactualizadas o mal operadas. Los brotes de enfermedades bacteriológicas y virales transmitidas por el agua ocurren con mayor frecuencia en áreas rurales y áreas periurbanas que generalmente carecen de saneamiento adecuado. Sin embargo, estas enfermedades también se encuentran en áreas urbanas, y también hay brotes de alto perfil en países desarrollados. Tanto Canadá como Estados Unidos han tenido graves incidentes de enfermedades transmitidas por el agua en la era moderna.

En las Américas, el porcentaje de población urbana con acceso a agua limpia y saludable para beber y cocinar es alto, superando el 90% en la mayoría de los casos. La cobertura es considerablemente menor en las áreas rurales y en las áreas periurbanas que tienden a estar en los márgenes de las principales áreas urbanas y han crecido sin la atención adecuada a la infraestructura relacionada con el agua. En América del Norte, la cobertura tiende a ser más adecuada en las zonas rurales, pero hay notables excepciones: los pueblos indígenas, en particular, no siempre son bien atendidos. La situación con los servicios de saneamiento es considerablemente menos afortunada. En la gran mayoría de países, poco más de la mitad de la población tiene acceso a servicios de saneamiento adecuados. Las mejoras en el alcance y la eficacia de los servicios de saneamiento es probablemente el medio de mayor prioridad para reducir la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua. Un problema que se ha encontrado en los países económicamente desarrollados de América del Norte, es la falta de mantenimiento y mejora de los sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento. Este problema es grave en los Estados Unidos, donde se deben realizar importantes esfuerzos para modernizar la infraestructura relacionada con el agua (Venktaraman, 2013).

Cambio climático global.

El total de las implicaciones del cambio climático en diferentes lugares y regiones de las Américas siguen siendo inciertas. Sin embargo, parece probable que el cambio climático tenga impactos que podrían ser graves en los recursos hídricos. La protección y mejora de la calidad del agua probablemente planteará desafíos de gestión en todo el hemisferio. Será importante anticiparlos de la manera más completa posible y estar preparado para abordarlos. Es probable que los impactos sobre la calidad del agua sean bastante variables y generalizados. La mayor frecuencia de eventos extremos probablemente resultará en una intensificación de estos procesos. Las sequías conducirán a una mayor concentración de contaminantes conocidos, asociados con impactos en los suministros públicos de agua y las comunidades de la biota y los ecosistemas. Con menos agua disponible, las mismas fuentes de agua tendrán una competencia más fuerte para su uso, por ejemplo, tanto para el consumo como para el riego y, en algunos casos, para la eliminación de desechos. En contraste, las inundaciones traen grandes cantidades de sedimentación debido al aumento de la escorrentía, y los eventos extremos como los huracanes, tienden a cambiar drásticamente los sistemas de flujo hidrológico exacerbados por la deforestación anterior, lo que causa sedimentación y colmatación en ríos y lagos de las cuencas circundantes, lo que a su vez afecta los regímenes de flujo.

Todo esto significa que ciertos contaminantes como metales, nutrientes y ciertos iones que

anteriormente habían estado almacenados en sedimentos pueden ser liberados al agua provocando problemas en la calidad del agua para diferentes usos y ecosistemas. También es bien sabido que el aumento de las temperaturas en lagos y ríos puede desencadenar la intensificación de las floraciones de cianobacterias en más cuerpos de agua a medida que comienzan a dominar los ecosistemas debido a su mayor adaptación a temperaturas más altas. Un aumento de los incendios forestales provocados por el cambio climático o la desaparición del permafrost, como se observa en Canadá, puede conducir a la reconcentración de contaminantes.

Dado que los usos agrícolas de los recursos hídricos ahora representan el 70% del uso del consumo mundial, el crecimiento de la población ejercerá presiones adicionales sobre la agricultura incluso cuando la aridez aumente en muchos lugares del mundo. Esto significa que será especialmente urgente administrar los suministros de agua existentes y proteger la calidad del agua.

CAPÍTULO III

UNA SINOPSIS DE LOS PROBLEMAS DE CALIDAD DEL AGUA EN EL HEMISFERIO OCCIDENTAL

A. EUTROFIZACIÓN.

La eutrofización es uno de los problemas ambientales más frecuentes y generalizados de las aguas continentales en el mundo. Es un proceso natural de envejecimiento de los cuerpos de agua que ocurre lentamente en escalas de tiempo extendidas (es decir, geológicas); sin embargo, las actividades antrópicas del siglo pasado han acelerado este proceso. El enriquecimiento excesivo con nutrientes de las aguas superficiales, principalmente en fósforo (P) y nitrógeno (N), necesariamente conduce al cambio de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, al aumentar su productividad biológica y deteriorar la calidad del agua, entre otras consecuencias.

Prácticamente todos los países de las Américas experimentan algún grado de eutrofización en sus cursos y cuerpos de agua. Con frecuencia, la eutrofización se caracteriza como cultural, lo que significa que el fenómeno se establece artificialmente por un exceso de nutrientes en las aguas que son vertidos por las actividades agropecuarias e industriales en lugar de proceder exclusivamente de fuentes naturales. Los resultados son variados e incluyen floraciones algales que a veces son tóxicas y agotan el oxígeno disuelto. La eutrofización cultural puede hacer que el agua no sea apta para el consumo y otros fines y llegar a desestabilizar el ecosistema acuático. Esto último suele dar lugar a la proliferación de algas, con la consiguiente liberación de toxinas y el crecimiento explosivo de especies no deseadas.

Las principales fuentes de eutrofización en las Américas y el Caribe provienen de las aguas residuales sin tratamiento o con tratamiento inadecuado; expansión de la frontera agrícola y al uso indiscriminado de fertilizantes químicos; urbanización de las cuencas de drenaje; cría intensiva de ganado vacuno, porcino y avícola; aumento de la acuicultura; construcción de embalses; destrucción de ecosistemas naturales y deforestación; y una erosión acelerada en las cuencas de drenaje.

A continuación, se presentará un breve resumen de las causas y consecuencias de los procesos de eutrofización en el continente americano:

1. Fuentes puntuales y no puntuales de contaminación.

Las fuentes puntuales y no puntuales de aguas residuales han sido señaladas como una de las principales fuentes de contaminación en el continente americano, incluyendo las islas de Caribe. Por un lado, la falta de tratamiento o el tratamiento inadecuado de las aguas residuales provenientes de zonas urbanas e industrias arrojan gran cantidad de materia orgánica y diversos

contaminantes y nutrientes a los tributarios de lagos y embalses que posteriormente se utilizan para el suministro de agua potable a la población, todo lo cual deteriora la calidad del agua y pueden representar importantes riesgos para la salud humana. Las fuentes puntuales emanan de una ubicación identificable, lo que pudiera facilitar, en cierta medida, su mitigación y el cumplimiento de las normas reglamentarias, a diferencia de las fuentes no puntuales, que son difusas e introducen contaminantes que son difíciles de regular directamente, porque es imposible identificar sus puntos de origen.

La descarga de fuentes puntuales es un problema bastante común en la región. En Guatemala, por ejemplo, se ha estimado la descarga de aguas residuales directas al lago de Atitlán a razón de 407 litros por segundo, acelerando cada vez más la eutrofización de este cuerpo de agua. A su vez, en Nicaragua, los centros urbanos de las cuencas de los lagos Xolotlán y Cocibolca, introducen aguas residuales domésticas sin tratamiento adecuado directamente a ambos cuerpos de agua y han acelerado la contaminación difusa debido a los cambios de uso de suelo en sus cuencas que implica deforestación y conversión a pastos y así deteriorando la calidad de sus aguas. En América del Sur, en Brasil se presentan casos notorios de eutrofización mediante el vertido de aguas residuales a las masas de agua continentales sin haberlos tratado previamente de forma adecuada; sólo en las regiones Sur y Sureste, un 40% de las aguas residuales se vierten sin ningún tipo de tratamiento en ríos, embalses, lagunas costeras y regiones costeras. Como consecuencia, los brotes de cianobacterias son frecuentes en las aguas interiores y costeras. Casos similares son reportados también en Colombia y Venezuela. Sólo en pocas localidades de América del Sur, el proceso de eutrofización por fuentes puntuales pudiera ser menos severa, como en el caso de la ciudad brasileña de Paraná, que trata alrededor del 70% de sus aguas residuales, y el caso de Chile, que cuenta con una alta proporción de aguas residuales tratadas (alrededor del 80%) antes de ser vertidas nuevamente a los cursos de agua.

La contaminación por fuentes no puntuales, por su parte, incluye la escorrentía de las tierras de las cuencas hidrográficas que han sido erosionadas, modificadas o deforestadas de algún otro modo; la escorrentía de las tierras agrícolas que contiene los residuos de productos químicos agrícolas, incluidos los fertilizantes y los plaguicidas; la escorrentía de las aguas pluviales de los paisajes urbanos que contiene todo tipo de productos químicos, incluidos hidrocarburos y sedimentos. El control de estas fuentes no puntuales es de mayor dificultad, y genera gran parte de los casos de eutrofización documentados en casi todos los países de la región. Por ejemplo, en Canadá, el aporte de fósforo derivado del uso de la tierra genera la proliferación de algas que afectan grandes áreas de los lagos Erie y Ontario, en el este del país, y en el lago Winnipeg y otros cuerpos de agua de las regiones occidentales.

Otros casos documentados de contaminación desde fuentes no puntuales, se han presentado en México, en todos los países de Centroamérica, en Cuba, Venezuela, Colombia, Brasil, Argentina y en las cuencas de las Macrozonas de la región Central y Sur de Chile, donde los residuos de las actividades agrícolas llegan por escorrentía a los cuerpos de agua.

2. Agroquímicos y residuos de ganadería y acuicultura.

El uso de fertilizantes en la agricultura aporta por escorrentía grandes cantidades de nutrientes, principalmente N y P, a los cuerpos de agua, causando su eutrofización. Estos casos han sido documentados en Canadá, Estados Unidos, México, Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica, Cuba, Colombia, Perú, Brasil, Uruguay y Chile; en este último país, se suman las actividades vitivinícolas. Por su parte, las actividades de ganadería aportan gran cantidad de materia orgánica y de nutrientes a los cuerpos de agua, tal como se ha registrado en Chile y Uruguay. Así mismo, los desechos de las actividades de acuicultura y piscicultura representan importantes aportes de nutrientes,

tales como los documentados en la región Junín en Perú, donde la piscicultura intensiva es un factor importante en el proceso de eutrofización, particularmente en las lagunas Habascocha, Tipicocha, Huascacocha y Pomacocha, las cuales presentan condiciones eutróficas.

3. Deforestación y erosión.

En todos los países de las Américas se ha acelerado la deforestación en las cuencas hidrográficas. La pérdida de vegetación por deforestación y urbanización, y la consecuente erosión, evitan la retención de nutrientes en las cuencas de drenaje y conlleva al transporte de materiales sedimentarios y nutrientes a los cuerpos de agua. Por ejemplo, en Honduras, la desforestación ha aumentado la generación de sedimentos por la erosión, mientras que los incendios forestales generan abundantes residuos de cenizas y carbón, todo lo cual reduce el volumen de los cuerpos de agua y su capacidad para diluir los nutrientes, mientras que los residuos de ceniza pueden representar la entrada de nutrientes a los cuerpos de agua. Este tipo de situaciones han sido señaladas también en países como Brasil, Colombia, Chile y Panamá.

4. Impactos en los ecosistemas acuáticos.

El exceso de nutrientes trae como consecuencia un crecimiento excesivo del fitoplancton y las plantas acuáticas, lo que lleva al ecosistema a un desbalance de respiración y fotosíntesis, con pérdida de oxígeno en la noche y sobresaturación en el día. El exceso de biomasa trae consigo la descomposición de la materia orgánica, lo cual requiere un gran consumo de oxígeno, con producción finalmente de gases como metano y ácido sulfhídrico, originando malos olores y ambientes anóxicos que impiden el desarrollo normal de la fauna acuática.

Se ha registrado un alto grado de desarrollo de especies de macrófitas en lagos y embalses eutrofizados de Centroamérica, Brasil, Colombia y Venezuela, y la dominancia de unas pocas especies de cianobacterias, tales como aquéllas pertenecientes a los géneros *Microcystis, Anabaena, Planktothrix, Oscillatoria* y *Cylindrospermopsis* (ahora llamada *Raphidiopsis*) en los cuerpos de agua de toda la región. La eutrofización ha reducido la diversidad de especies presentes en los cuerpos de agua, en los que pocas especies de cianobacterias, muchas de ellas con cepas tóxicas, se han tornado en dominantes, tal como se ha documentado en la región sureste de Brasil.

En países como Honduras, El Salvador, Guatemala, Panamá, Colombia y Venezuela, la superficie de muchos cuerpos de agua continentales ha sido cubiertos por la macrófita Eichhornia crassipes, conocida como buchón de agua, bora, jacinto de agua o lechuguín de agua, la cual es una planta flotante que puede formar grandes trabazones e islas en los lagos y embalses. En Panamá también se ha detectado de la presencia de otras macrófitas como *Pistia stratiotes* (flotante), *Eichhornia azurea* (enraizada) e *Hydrilla verticilata* (sumergida), mientras que en Venezuela también son comunes las plantas acuáticas flotantes *Pistia stratiotes* y *Lemna obscura.*

Debido a los problemas de falta de oxígeno durante la noche, la invasión de los lagos y embalses por la vegetación acuática y floraciones de fitoplancton, se han presentado recientemente numerosos casos de mortalidad de peces en Colombia, principalmente en el río Magdalena, embalse de Betania, la Ciénaga Grande de Santa Marta y el río Porce. Estos problemas también han sido documentados en Brasil y Venezuela.

La reducción de la diversidad biológica representa otro impacto de la eutrofización sobre los cuerpos de agua continentales: las comunidades planctónicas presentan una baja representatividad de taxones en el fitoplancton y en el zooplancton, y dominadas por pocas especies que ocupan efectivamente un amplio espectro de nichos y monopolizan los recursos disponibles. En cuanto a las redes tróficas, se ha encontrado que es posible que el flujo de energía, carbono y nutrientes que almacena el fitoplancton, esté orientado

principalmente a la vía detrítica y a las sustancias disueltas y que, por tanto, estas últimas sean la principal fuente de carbono para el zooplancton.

Es claro que el impacto de la eutrofización limita significativamente la totalidad de los servicios ecosistémicos que puedan brindar estos sistemas acuáticos, en atención a la pérdida gradual a nivel espacio-temporal del potencial de la oferta hídrica y de los recursos hidrobiológicos que se puedan generar.

5. Floraciones de cianobacterias y toxinas.

Una manifestación particularmente insidiosa de la eutrofización involucra a las cianobacterias, que son bacterias fotosintetizadoras, las cuales se encuentran naturalmente en los hábitats terrestres y acuáticos de todo el mundo. Bajo condiciones que incluyen niveles extremos de eutrofización y presentando cepas específicas de cianobacterias, las floraciones de algas asociados liberan toxinas que son peligrosas para los animales, algunas formas de vida vegetal y los seres humanos. El potencial para tales brotes existe a lo largo de las Américas y es un caso extremo de la clase de contaminación a la que puede conducir la eutrofización cultural severa, todo lo cual constituye un riesgo adicional para la salud de las poblaciones humanas, ya que en todos los países de las Américas hay falta de monitoreo dirigido a detectar las toxinas en las aguas superficiales.

Las floraciones pueden ocurrir por periodos de duración variada durante horas, semanas o estacionales, y su acumulación tiende a ser recurrente en los mismos cuerpos de agua, tal como se ha reportado para el lago Coatepeque de El Salvador. Como consecuencia del proceso de eutrofización, en casi todos los países del continente americano se han registrado floraciones frecuentes de especies de cianobacterias en los lagos y embalses, muchas de ellas con cepas con toxinas.

Ejemplos de estos efectos negativos se han descrito en varios de los países americanos, como los casos de muerte de ganado en la cuenca del río Negro en Uruguay, probablemente asociados a la ingesta de altas concentraciones de toxinas luego de floraciones de cianobacterias. También puede citarse el caso ocurrido durante el mes de abril de 2017 en la Ciudad de Villa Carlos Paz, Provincia de Córdoba, cuando se declaró la emergencia ambiental por el avanzado estado de eutrofización del embalse San Roque que provocó floraciones de la cianobacteria del género *Microcystis*, que posee una potente toxina para los humanos y representa un alto potencial de peligrosidad para la salud colectiva, dado que las aguas de este reservorio se utilizan para el suministro de agua potable a más de un millón de habitantes. Igualmente, en bioensayos realizados en Guatemala, se comprobó el efecto tóxico sobre los peces de la microcistina y de la anatoxina-a, toxinas detectadas en floraciones de cianobacterias *Microcystis* sp. y *Dolichospermum* sp. en los lagos Amatitlán y Atitlán, respectivamente, todo lo cual representa un grave riesgo para la salud humana, dadas las actividades humanas que se desarrollan alrededor de estos lagos.

B. LA CONTAMINACIÓN QUÍMICA.

1. Contaminantes emergentes.

En los últimos años se ha manifestado una gran inquietud por los contaminantes emergentes, cuya presencia en el medioambiente y sus posibles consecuencias para la salud han pasado inadvertidas. Estos compuestos se encuentran diseminados en el ambiente y se han detectado en fuentes de abastecimiento de agua, aguas subterráneas y superficiales, plantas de tratamiento de aguas residuales e incluso en agua potable. Estos residuos provenientes de compuestos farmacéuticos no solamente afectan los procesos biológicos en el tratamiento de aguas residuales municipales, sino que también sobrepasan los límites de la potabilización.

Los fármacos que se han detectado en el medio ambiente acuático incluyen analgésicos antiinflamatorios, antibióticos, antiepilépticos,

β -bloqueantes, reguladores de lípidos, medios de contraste en rayos X, anticonceptivos orales, esteroides, broncodilatadores, tranquilizantes y muchos más. En algunos países se han realizado investigaciones que determinan la presencia de los contaminantes emergentes en la entrada y salida de las plantas depuradoras, demostrándose que no es posible su completa eliminación; el problema radica en que se desconoce su toxicidad y la de sus metabolitos que en ocasiones es aún más fuerte. La contaminación acuática debida a los antibióticos implica el desarrollo de una resistencia a estos y así presentan un problema creciente para salud pública. También al llegar a los sistemas hidrológicos afectan en sumo grado los ecosistemas y la composición de organismos. Hoy en día los contaminantes emergentes siguen siendo parcialmente ignorados además de no ser monitoreados en muchos países de las Américas.

En cuanto a la presencia de los contaminantes en las aguas en las Américas, en Canadá y Estados Unidos existen reglamentaciones, pero las prácticas no son suficientes para evaluar la lista de potenciales tóxicos que aumentan más cada día. La situación en Latinoamérica es aún poco discutida y potencialmente peligrosa en un futuro cercano. En todos los países se encuentran referencias de estudios puntuales que demuestran la existencia de multitud de residuos farmacológicos que van a caer en las corrientes de agua provenientes de las aguas residuales domésticas e industriales. En México se reportan contaminantes emergentes en aguas residuales urbano-industriales de Morelia y Michoacán. En Honduras, Guatemala, Costa Rica y demás países latinoamericanos se reportan hidrocarburos, pesticidas, productos farmacéuticos y de cuidado personal. Igualmente, en Suramérica todos los países reportan graves problemas de contaminantes emergentes dado el alto consume de fármacos por parte de la población, además de los residuos hospitalarios.

En este contexto se discuten las limitaciones en el cuidado de los cuerpos de agua, no solo en la disposición de aguas residuales sino también del consumo humano. Es necesario incrementar el conocimiento sobre el origen, la transformación y los efectos de esta nueva generación de contaminantes, para proponer los mecanismos de tratamiento del agua, con el fin de garantizar una calidad idónea y sin efectos para la salud humana y los organismos de los ecosistemas acuáticos.

2. Sustancias químicas tóxicas.

Las sustancias químicas tóxicas son productos cuya fabricación, procesado, distribución, uso y eliminación representan un riesgo para la salud humana y el medio ambiente. Si estos químicos se filtran al suelo o al agua, contaminan el suministro de agua, el aire, las cosechas y los animales domésticos; también están asociadas a defectos congénitos humanos, abortos y otros tipos de enfermedades. Se reporta que en el mundo se han fabricado más de cuatro millones de productos químicos sintéticos en un período de quince años, y se crean de 500 a 1.000 productos nuevos más cada año.

Los accidentes químicos están asociados con la fuga, derrame, explosión, incendio, de sustancias peligrosas. Ejemplos de este tipo de accidentes abundan en la literatura mundial. En América Latina se conocen los casos de San Juanico y Guadalajara en México, Goiânia en Brasil, los derrames constantes de petróleo en Colombia debido a actos terroristas y el de la carretera de Caracas a Valencia en Venezuela. Por otro lado, en todos los países de Latinoamérica existe una gran actividad agrícola como bananeras, arrozales, caña de azúcar, papa, maíz, algodón, entre otros, en los cuales se utilizan millones de toneladas de pesticidas y herbicidas. Otra fuente de contaminantes de tóxicos es la minería de generalizada en todo el continente. No se puede dejar de mencionar el uso del glifosato para combatir los cultivos de coca, sobre el cual no hay un consenso científico acerca de su toxicidad. Igualmente se reportan desastres por la contaminación con mercurio de la Bahía de Cartagena, el lago de Maracaibo, el lago de Managua, Bahías en Brasil y en Guatemala ingestión de semillas protegidas con fungicidas basados en mercurio. En 2002 en Canadá y Estados Unidos se emitieron y transfirieron cerca de medio

millón de toneladas de sustancias químicas que se sabe o se sospecha que causan cáncer.

En la vida cotidiana, la habitual exposición a sustancias químicas tóxicas se ha convertido cada vez más en una preocupación para la salud. Lamentablemente muchos de los productos que se utilizan para la salud contribuyen a generar exposiciones peligrosas; dentro de estos se incluyen los productos de limpieza, desinfectantes, los insumos clínicos, el formaldehído y los solventes en los laboratorios. Dentro las sustancias tóxicas más comunes en los alimentos y el agua están el mercurio, el arsénico, las hormonas, las dioxinas, el plomo, el benceno, el cadmio, el mercurio, y los plaguicidas, entre otros. En resumen, toda la población en las Américas, y en especial Latinoamérica, está expuesta de manera permanente a problemas de salud y mortalidad debido a los tóxicos químicos a los cuales está expuesta; es una enfermedad silenciosa. Lo más grave es que la gente desconoce la problemática, existe muy poca reglamentación y falta de intervención de los gobiernos.

3. La lluvia ácida.

Las causas de la lluvia ácida están ligadas al dióxido de azufre y el óxido de nitrógeno producido por la industria, el parque automotor y emisiones de volcanes. Es un problema preocupante porque la mayor parte de este tipo de contaminación suele producirse en áreas urbanas o industriales donde se concentra la mayor parte de la población. También la lluvia ácida puede ser originada por causas naturales como erupciones volcánicas y terremotos. Los contaminantes del aire pueden causar enfermedades respiratorias como el asma y la bronquitis crónica. La lluvia ácida también daña la pintura automotores, edificios y puede disolver el carbonato de calcio, estropeando monumentos y edificaciones. También causa daños en los microorganismos fijadores de nitrógeno en el agua y suelo; un efecto indirecto muy importante es el empobrecimiento de ciertos nutrientes esenciales, por lo que las plantas no disponen de estos y se hacen más vulnerables a las plagas. En los lagos y ríos la lluvia ácida provoca una baja de nivel de pH inferior a 6.0, lo que se conoce como acidificación que pueden causar cambios severos en los ecosistemas acuáticos en todos los niveles tróficos. (**Figura 3**).

El impacto causado por la lluvia ácida se podría mitigar en parte cambiando a energías renovables como son la solar, la eólica y la hidráulica. En las grandes ciudades el tráfico automotor es el principal responsable de la lluvia ácida; por lo tanto, muchas ciudades en el mundo están pasándose a un transporte público masivo y de vehículos eléctricos.

En Latinoamérica el incremento poblacional trae como consecuencia un aumento de consumo de energía, mayor número de vehículos automotores y crecimiento de la industria. Variables meteorológicas específicas como temperatura, humedad, viento, precipitación, presión atmosférica y radiación solar, condicionan la dispersión y las reacciones químicas de los contaminantes. Este fenómeno es frecuente durante el invierno y explica la alta concentración de contaminantes en algunas ciudades como México, Santiago de Chile y la mayor parte de las grandes ciudades latinoamericanas. En 2019 se hablaba en Venezuela de Guanta como la ciudad invisible que vive bajo una nube tóxica; lo mismo se dice de Lima. En México se tienen temores de que la lluvia ácida puede dañar Teotihuacán y otros monumentos históricos. São Paulo, una ciudad industrial notoria por sus altamente niveles de contaminación atmosférica, donde se produjeron deformaciones en bebés recién nacidos y graves problemas de salud generalizados, pero desde finales de los años 80 se han desarrollado iniciativas para mejorar el ambiente y se han logrado reducir los niveles de polución hasta 90%. En Colombia el IDEAM (Instituto del Medio Ambiente) es el encargado desde el año 1998 de manejar el sistema de monitoreo de lluvia ácida en el país. En La Paz existen condiciones para producirse lluvias ácidas causada por la Central Eléctrica de combustión interna localizada en Libramiento Santiago Oceguera. En resumen, todas las grandes ciudades en Latinoamérica tienen todas las condiciones para recibir lluvias ácidas.

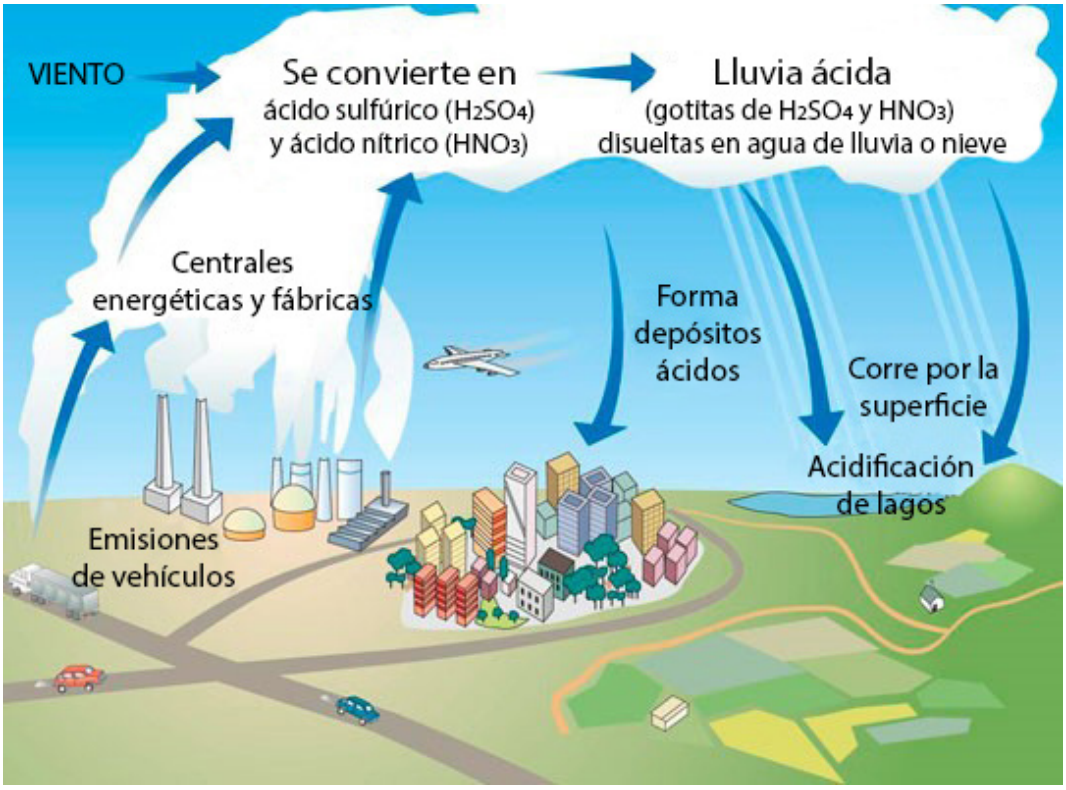


Figura 3: Ciclo de lluvia ácida. Fuente: (https://cuidemoselplaneta.org/que-es-la-lluvia-acida/)

Estas lluvias también acidifican las aguas naturales, especialmente los lagos, donde crean un desequilibrio químico debido a afectos adversos en los hábitats acuáticos que pueden llevar a pérdida en la diversidad biológica. Los impactos del aumento en las lluvias ácidas pueden afectar frecuentemente en lugares alejados de sus lugares de origen de las emisiones lo que afecta la voluntad para mejorar las descargas infractoras. Por ejemplo, las emisiones de óxidos de azufre y nitrógeno del sur de Canadá y el noreste de los EEUU causaron precipitaciones con un pH debajo de cinco en zonas del escudo canadiense donde están ubicados miles de lagos y suelos pobres en cationes básicos que normalmente pueden neutralizar la lluvia ácida en las zonas menos sensibles (Schindler *et al.*, 1981).

4. La salinización de los ríos.

La salinización de los ríos se refiere al proceso de aumento del contenido de sales disueltas que transporta el agua de un río, la cual puede ser de distintos tipos y orígenes. Este incremento de sales disueltas en el caudal de los ríos empeora su calidad y pone en riesgo los distintos usos a los cuales puede destinarse dicha agua, como el riego y la potabilización, pero también condiciona los ecosistemas fluviales. Las actividades humanas pueden provocar vertidos de sales de forma incontrolada, cambiando la calidad del agua natural de un río. Las actividades mineras son las que más sales aportan a los ríos y demás cuerpos del agua. Se desconocen aún las consecuencias a largo plazo de esta salinidad sobrevenida en las aguas fluviales, pero está claro que la flora y la fauna de agua dulce, sufren enormemente cuando circula agua que multiplica por más de 10 veces el valor de salinidad.

El rápido calentamiento del Ártico provoca su entrada en un nuevo estado climático. A medida que se reduce la superficie total del hielo y la cubierta de nieve, va disminuyendo asimismo la cantidad de energía solar que se refleja al espacio,

lo que hace que el planeta se caliente aún más. Ello a su vez, hace que se incorpore más agua dulce a los océanos, suba su nivel y haya intrusiones de agua salada en las desembocaduras de los ríos. Esto ya se está observando en muchas partes de la tierra, causando grandes daños en la agricultura y la flora y fauna acuática.

Estudios de lagos en Norteamérica muestran que éstos se están salinizando por la sal utilizada para derretir el hielo y la nieve del invierno. En México se reportan altas salinidades del sistema hidrográfico Santa María-Río Verde. Se calcula que Colombia tiene 14 millones de hectáreas degradadas por salinización. Actualmente se dispone de un protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por salinización. En Venezuela por el represamiento del Caño Mánamo, esta zona puede verse seriamente comprometida en su potencial productivo por la salinización de los pantanos. En la costa peruana se presentan problemas de drenaje y salinidad por la intrusión salina desde el mar hacía los acuíferos y ríos; la mayoría están relacionados con las características geomorfológicas. En Bolivia el proceso de salinización de las aguas de ríos y suelos, fundamentalmente en la cuenca de Desaguadero, se debe a la actividad humana asociadas a la actividad minera. Así mismo en el sector sur del lago Poopó se observan costras de sal y la pérdida de diversidad de especies de aves silvestres y de la población de peces. El problema de salinidad en Chile afecta el riego y cultivos en los valles de Lluta y Azapa en el norte y muchas otras regiones del país. Argentina reporta igualmente numerosas regiones agrícolas afectadas por salinidad. En Brasil el análisis de muestras de aguas subterráneas arriba y abajo de una presa han mostrado que ambas poseen un grado de salinidad elevado para fines de irrigación, recomendándose el uso para solamente cultivos halófitos.

En resumen, en todos los países de las Américas se reportan graves problemas de salinidad de suelos y aguas debido a las prácticas agrícolas y contaminación de origen doméstico e industrial. Una sola medida de conductividad eléctrica nos revelaría el grado de complejidad de esta situación. Por último, se espera que, en algunas décadas, todas las desembocaduras de los ríos se irán a ver fuertemente afectas por el aumento de nivel de los mares debido al calentamiento global del planeta.

5. La minería y otros desechos industriales.

Los impactos más relevantes de la minería a cielo abierto son los daños a la superficie de la tierra, la contaminación del aire, la contaminación de las aguas superficiales, daños a acuíferos subterráneos, impactos sobre la flora y fauna, conflictos entre comunidades y empresas de minería, el uso indebido de las tierras y cambios visuales (Figura 4). Luego de finalización de la explotación quedan inmensos cráteres en el área afectando negativamente el paisaje y los recursos alrededores. La minería subterránea es aquella que se dedica a la explotación de recursos debajo de la superficie de la tierra. Una de las ventajas de la minería subterránea es la disminución de contaminación en las zonas cercanas a la mina; las desventajas de la minería subterránea respecto a la minería de cielo abierto es la exposición prolongada de los trabajadores a gases tóxicos y derrumbes de los túneles.

Figura 4: . Ejemplo de minería a pequeña escala en las Amazonas. Fuente: www. mineria+en+amazonas+&o-q=mineria+en+amazona

Hoy se estima que más de 500 mil mineros de oro a pequeña escala realizan operaciones en la Amazonia. La mayoría de ellos son locales dependientes de grandes empresas. Actualmente, son al menos 30 los ríos que se ven afectados por la minería a pequeña escala en la Amazonia.

En las Américas la minería constituye uno de los problemas ambientales y sociales más graves en el continente. En Canadá, la industria minera tiene un camino difícil por delante al intentar convencer a sectores muy escépticos de la sociedad latinoamericana sobre las ventajas de su actividad. La minería canadiense genera puestos de trabajo, inversión y divisas para los países latinoamericanos. En Estados Unidos el informe de la minería de Earthworks, un grupo de vigilancia, revela que alrededor de 17 mil millones de galones de agua contaminada serán generados por 40 minas existentes de hardrock (por ejemplo, oro, cobre, minas de uranio) cada año. Se dice que el tratamiento de agua debido a las actividades de estas minas va a costar tanto como $ 67 mil millones por año. En Latinoamérica la situación es dramática. La explotación minera se propone en los países centroamericanos como una de estas alternativas, a pesar de que está ampliamente demostrado que es una de las industrias más contaminantes que existen en el mundo, ya que durante su proceso productivo utiliza elementos altamente peligrosos como el cianuro, cadmio, cobre, arsénico y plomo, entre otros. En México se presentan conflictos socioambientales y minería a cielo abierto en la Sierra Norte de Puebla. Es así como México es el segundo país en América Latina, después de Perú, con mayor número de conflictos, siendo Puebla y Oaxaca los estados con mayor número de casos.

En el Perú el 2 de junio de 2000 hubo un derrame de 151 kilogramos de mercurio elemental, lo que produjo una intoxicación en alrededor 1.200 personas además de la contaminación de ríos, de flora y fauna local. En Venezuela, en los Estados Bolívar y Amazonas, desde hace aproximadamente 25 años se ha demostrado que la minería ha causado grandes impactos ambientales, generando focos de contaminación por mercurio, la cual ha presentado un considerable aumento en los últimos años. En Colombia los impactos ambientales están asociados a la tala de bosques, contaminación de los ríos por sedimentos, mercurio y cianuro debido a la actividad minera. Estudios realizados por varias universidades han demostrado concentraciones de mercurio en los peces, en uñas y cabellos humanos hasta de 50 veces mayor de límites permisibles. Las áreas más afectadas por minería de oro son Chocó, valles interandinos y Amazonia. En Bolivia los depósitos minerales de explotación tradicional corresponden generalmente al tipo de yacimientos hidrotermales. El principal peligro de la explotación minera para el medio ambiente en áreas tradicionales proviene de la contaminación de los ríos y de las napas freáticas por las aguas ácidas de minas. En Chile durante 50 años la Ensenada de Chapaco ha recibido los relaves mineros de una planta de procesamiento de hierro. En Argentina la mina de oro Veladero, que opera a cielo abierto a más de 4.000 metros de altura en la cordillera de los Andes, registró en 2015 el mayor desastre minero de la historia: el derrame de un millón de litros de agua cianurada al río Potrerillos.

Los residuos industriales son aquellos que provienen de los procesos de fabricación, transformación, uso, limpieza, mantenimiento o consumo que son generados por las industrias. Algunos son los aceites industriales usados, empaques contaminados, disolventes, pinturas baterías, pilas, plásticos contaminados y envases que hayan contenido sustancias peligrosas, entre otros.

El tratamiento y disposición es dispendioso, pues cada uno de estos residuos exige tratamiento especial. Este es uno de los grandes desafíos para los gobiernos dirigidos a la protección de los recursos ambientales.

6. Contaminantes naturales.

La sobreexplotación de los acuíferos está agravando los problemas de contaminación natural del agua en muchas zonas sometidas a estrés hídrico. Los niveles de flúor, arsénico y otros compuestos químicos nocivos para la salud afectan en el mundo a millones de personas y llegan a causar un grave problema sanitario. El flúor se encuentra así en todas las aguas naturales en mayor o en menor medida; por lo general la mayor parte del agua dulce no contiene más de

0,3 mg/litro. Es un micro mineral imprescindible para el cuerpo humano, ya que tiene una función esencial en la formación de los huesos y el mantenimiento del esmalte dental. Sin embargo, ingerido en exceso es muy nocivo. Comer o beber una cantidad excesiva provoca fluorosis, una enfermedad que alteraciones en el desarrollo del sistema óseo, dental, nervioso y problemas de pigmentación en la piel. Por su parte el arsénico, el contaminante natural más agresivo y la OMS lo considera uno de los problemas más preocupantes de salud pública. Según esta organización, la contaminación natural del agua subterránea por arsénico afecta a más de 140 millones de personas en 70 países de todos los continentes. Alrededor de un tercio del arsénico presente en la atmósfera proviene de fuentes naturales como reacciones ambientales, actividad biológica, emisiones volcánicas, y el resto proviene de un amplio rango de actividades antropogénicas. Debe mencionarse también el aporte de contaminantes que hace la actividad volcánica presente en todos los países de América, en especial los centroamericanos y suramericanos. Las columnas en una erupción volcánica contienen además de cenizas muchos gases, incluido vapor de agua, dióxido de azufre, cloro, sulfuro de hidrógeno y óxidos de nitrógeno.

En Canadá, peticionarios denuncian que "el gobierno está incurriendo en omisiones en la aplicación efectiva de la Ley Canadiense de Pesca, en lo que respecta al escurrimiento hacia aguas superficiales y subterráneas de sustancias tóxicas como arsénico, hierro y cobre procedentes de estanques de decantación en la región noreste de Alberta". (Petsko, 2019). En los Estados Unidos la Agencia de Protección Ambiental -EPA, tiene normatizada las leyes sobre el arsénico. La Comarca Lagunera se localiza en la parte noreste de México y desde 1963 se reportan elevadas concentraciones de arsénico en el suelo, ríos y agua subterránea. Según el observatorio de la OMS del 2019, la región Centroamericana se encuentra con niveles de 81 a 200 mg/L. En Colombia, el Instituto Nacional de Salud reporta un perfil de riesgo de arsénico en los cultivos de arroz. El arsénico está naturalmente presente en altos niveles en las aguas subterráneas de diversos países, principalmente Argentina, Chile, Bolivia y en casi todos los países de Latinoamérica y es debido a la disolución del medio geológico próximas estructuras mineralizadas, alteraciones por procesos hidrotermales y principalmente a estructuras tectónicas que permite la llegada a aguas subterráneas a través de fallas y fracturas.

C. CONTAMINANTES BIOLÓGICOS Y OTROS NO QUÍMICOS.

Los contaminantes biológicos y otros no químicos son importantes debido a los impactos especiales que tienen en los ecosistemas acuáticos y las fuentes de consumo humano de agua. Esta sección se enfoca en un subconjunto de estos contaminantes e incluye la consideración de los impactos de las especies invasoras en las aguas superficiales; la sedimentación, debido a la deforestación; y los contaminantes microbiológicos, tanto bacterianos como virales. Todo esto tiene impactos en la economía para la purificación del agua (mayores costos de tratamiento), el tratamiento de aguas residuales y los servicios de los ecosistemas.

1. Especies invasivas.

Debido al aumento acelerado del transporte global, los organismos se han insertado en nuevos hábitats ecológicos y especialmente en ambientes acuáticos. La invasión de especies no nativas frecuentemente resulta en una explosión en su número, debido a la ausencia de depredadores naturales en las redes alimenticias de los hábitats invadidos. Esto ha causado un daño significativo a la integridad ambiental en los ecosistemas acuáticos y, a menudo, se puede atribuir a la modificación de los usos de la tierra, las rutas de flujo hidrológico, el calentamiento global y otras causas. Las especies invasoras tienden a afectar los niveles tróficos en los ecosistemas acuáticos, lo que puede conducir a la extinción de especies. Estas intervenciones tienen impactos económicos y financieros por el aumento de costos ocasionado por la necesidad de programas de limpieza y control. Por ejemplo, la pérdida de especies

nativas de salmónidos en los Grandes Lagos de Canadá y Estados Unidos ha estado acompañada de importantes pérdidas económicas.

El ejemplo de los Grandes Lagos es importante y bien conocido. La comunidad acuática de los Lagos ha sufrido daños irreversibles y ha habido importantes impactos económicos en esta región. La evidencia de Canadá muestra que:

"… El primero de muchos invasores problemáticos fue la lamprea marina *Petromyzon marinus*, que es nativa del Océano Atlántico. Se observó en el lago Ontario ya en 1835, pero las Cataratas del Niágara le impidieron entrar en otros Grandes Lagos hasta que entró por el Canal Welland recién terminado en algún momento del siglo XIX".

No fue hasta la década de 1940 que las poblaciones de lamprea aumentaron drásticamente y afectaron la red trófica en todos los sistemas de los Grandes Lagos e influyeron fuertemente en la industria pesquera mientras que el número de pesquerías se "redujo al 2% de los valores de pre lamprea" (IANAS, 2019).

Es importante señalar que incluso después del establecimiento de los programas de control de la lamprea, no ha sido posible eliminarlas por completo de los Grandes Lagos.

Otro ejemplo de los Grandes Lagos, son los mejillones cebra y los mejillones Quagga (*Dreissena polymorpha* y *D. bugensis*). Estos organismos se introdujeron en la década de 1980 por medio de las aguas de lastre extraídas de las sentinas de los barcos transoceánicos. Las aguas de lastre transportaban mejillones larvas, juveniles y adultos. Estos organismos crean un daño significativo al obstruir las estructuras de entrada en las centrales eléctricas y plantas de tratamiento de agua, y al complicar el funcionamiento de las esclusas y otras ayudas para la navegación en las vías fluviales. Los mejillones cebra también han llegado a otros lagos de Canadá y Estados Unidos. Estos mejillones filtran el agua con mayor intensidad que las especies nativas y excretan nutrientes al fondo de los lagos, lo que provoca la multiplicación de algas bentónicas como *Cladophora*, que forman esteras que provocan problemas de sabor y olor (Hecky et al, 2004). Todas estas especies invasoras han dañado a la comunidad acuática de los Grandes Lagos, en la que la calidad del agua es ahora irreversiblemente diferente de su estado original y prístino.

2. Sedimentación y deforestación.

Las aguas superficiales son el cuerpo receptor de los contaminantes resultantes del transporte de materiales que ocurre en sus respectivas cuencas hidrográficas. La sedimentación es el resultado de cambios y destrucción de paisajes que intensifican la erosión. Los sedimentos de la erosión son transportados desde la cuenca hasta las aguas receptoras donde pueden dañar y/o disminuir las áreas de reproducción. Los sedimentos excesivos que ingresan a las aguas superficiales también pueden provocar una disminución de la calidad del agua y hacer que las aguas receptoras no sean aptas para el consumo humano y para otros usos como el riego. La sedimentación también afecta la vida útil de los embalses que, a su vez, actúan como balsas receptoras de decantación de sedimentos. Las tasas de sedimentación en el hemisferio occidental han aumentado en casi todas partes en las últimas décadas. Gran parte de esto se debe a la conversión de tierras sin intervención de usos agrícolas y de pastoreo, algunas de las cuales estaban cubiertas de bosques. El pastoreo excesivo y las prácticas agrícolas descuidadas pueden provocar un aumento de la escorrentía que, a su vez, conduce a un aumento de las tasas y cantidades de transporte de sedimentos hacia las aguas superficiales y las zonas costeras.

Los informes de los 21 países de las Américas citan problemas de sedimentación que afectan la calidad del agua. La mayor parte se debe al aumento de las tasas de deforestación. Por ejemplo, en Nicaragua, los cambios en el uso de la tierra que siguen a un aumento galopante de la deforestación en las últimas décadas han contribuido a la sedimentación de las aguas superficiales y las

zonas costeras con humedales. Entre 1983 y 2015, el país perdió casi el 50% de la cobertura forestal existente, lo que ha significado una pérdida de 1,4 millones de hectáreas de territorio nacional. Uno de los resultados es la drástica desestabilización de los sistemas hidrológicos. En Brasil ha habido una gran pérdida de cobertura forestal debido al avance de la frontera agrícola y al desarrollo de la agroindustria. Los impactos son especialmente pronunciados en la parte centro-occidental del país. Asimismo, en Colombia la expansión de la agricultura con monocultivos y pastizales ha contribuido al 73% de la deforestación de las tierras boscosas. En todo el país, las actividades de deforestación también han tenido como resultado la eliminación de la vegetación riparia, lo que ha contribuido aún más al deterioro de la calidad del agua.

El agua es un indicador integral de la calidad ambiental, ya que "está directamente influenciada por el régimen hídrico al que están sometidos los ecosistemas" (IANAS, 2019). Los volúmenes y el caudal del agua también se ven afectados por la deforestación. En la porción peruana de la cuenca del Amazonas, la deforestación masiva ha traído una gran pérdida de biodiversidad e impactos adversos sobre otros recursos naturales. Esto ha llevado, a su vez, a un aumento de los costos del tratamiento del agua para usos potables, y también, ha limitado las fuentes de agua disponibles para riego. Este último problema se debe no solo al aumento de los sedimentos, sino también al aumento de la salinización, lo que hace que el agua sea cada vez menos adecuada para su uso en agricultura de regadío. En México, se informa que la deforestación es "… omnipresente y contribuye a la carga de sedimentos y la erosión. Es más extenso en el sur, donde se ha eliminado el 95% del bosque original" (IANAS, 2019). Hay otros ejemplos importantes que ilustran cómo los procesos de erosión causados por la deforestación también pueden conducir a aumentos en las descargas de pesticidas, fertilizantes y sus residuos a los cuerpos de agua. También debe tenerse en cuenta que el cambio climático, al alterar la frecuencia de sequías e inundaciones extremas, puede exacerbar los procesos de erosión y cambios fundamentales en la hidrología, con los consiguientes aumentos en las tasas de sedimentación y mayores descargas de otros contaminantes.

Para combatir todas estas adversidades será necesario realizar múltiples esfuerzos con programas de reforestación en áreas clave de las cuencas hidrográficas. Además, también se necesitan programas que se centren en la restauración de los bosques en zonas riparias.
Como respuesta se están realizando fuertes esfuerzos de reforestación en algunos países del hemisferio occidental. Cuba, que a lo largo de la historia ha perdido más del 80% de sus cuencas hidrográficas boscosas, ha restaurado hasta el 50% de ellas y continúan los esfuerzos de reforestación. Grenada en el Caribe tiene una legislación fuerte y eficaz que protege la calidad de la escorrentía de las cuencas hidrográficas de las tierras altas donde se originan la mayoría de los suministros de agua superficial. Perú ha desarrollado importantes planes para la restauración y protección de cuencas hidrográficas (IANAS, 2019). Otros países que han sufrido una gran deforestación necesitan desarrollar y participar en planes similares en el futuro.

3. Contaminación microbiana.

En las últimas décadas se han logrado grandes avances en la provisión de suministros de agua urbanos libres de contaminación microbiana y otros contaminantes. Esto se debe en gran parte a una más amplia construcción de instalaciones de purificación de agua. En muchos países, más del 90% de la población tiene acceso a agua potable para beber y otros usos domésticos. A pesar de este progreso, queda mucho por hacer. El último brote de *Vibrio cólera* en 1991 afectó a la mayoría de los países de América Latina, y subrayó la necesidad de más y mejores instalaciones de purificación de agua y plantas de tratamiento de aguas residuales. Si bien se ha logrado un progreso significativo en el suministro de agua potable, muchos países carecen de instalaciones de tratamiento de aguas residuales adecuadas. La contaminación microbiana sigue siendo un problema en algunos sectores urbanos

y especialmente en áreas rurales y periurbanas donde a menudo se ausentan instalaciones de tratamiento de agua y aguas. También existe una amenaza constante de bacterias, virus y parásitos que a veces desarrollan resistencia a los métodos de purificación existentes. Además, el fracaso y ausencia de los programas de mantenimiento y renovación de las instalaciones es frecuentemente una causa de contaminaciones que son dañinas para el ser humano y conducen al deterioro de las condiciones sanitarias. También cabe señalar que muchos países informan que los programas de seguimiento están mal diseñados o no existen. Esto significa que las fuentes de agua a veces no se analizan y que las averías o la falta de rendimiento de las plantas de tratamiento pasan desapercibidas.

Muchos países han informado que la contaminación microbiana afecta la salud pública porque no hay un **acceso continuo** al agua potable. Hay varias causas. Primero, los hogares a menudo almacenan agua en recipientes que no cumplen con las normas sanitarias. En segundo lugar, la entrega de agua en camiones cisterna motorizados, resulta en la entrega de agua contaminada porque los tanques no cumplen con las normas sanitarias. Estas situaciones a menudo concluyen en el brote de enfermedades graves. Por ejemplo, en Panamá se ha estimado que el 88% de los casos de diarrea se deben al almacenamiento inseguro de agua y a una higiene deficiente en el manejo del agua en los hogares. Mejorar la continuidad del acceso al agua podría reducir entre un 6 y un 21% la morbilidad por diarrea (IANAS, 2019).

En muchos países de América Latina, las áreas rurales donde el suministro de agua está dominado por pozos construidos manualmente experimentan problemas de contaminación microbiana. A menudo, estos se encuentran en granjas y en pequeñas comunidades. Estos pozos carecen de la protección adecuada contra la escorrentía superficial que puede llevar materia fecal de pastos, establos y letrinas mal construidas a las áreas de boca de pozo. La defecación al aire libre todavía existe en algunas áreas rurales.

La mayoría de los países de las Américas informan que las aguas superficiales y subterráneas, incluidas las de las zonas costeras, tienen altos niveles de contaminación microbiana.

"La contaminación microbiológica ha sido detectada por programas de monitoreo de la calidad del agua donde se ha encontrado presencia de patógenos a través de indicadores de contaminación fecal, coliformes fecales y *Escherichia coli* en casi un tercio de los ríos de África, Asia y América Latina, lo que conlleva un riesgo para la salud de millones de personas" (UNEP, 2016).

Los sistemas hidrológicos afectados están contaminados por la escorrentía que transporta materia fecal de las áreas circundantes. Por ejemplo, en El Salvador, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales informa que entre 2011 y 2017 el 88% de los ríos recibieron evaluaciones de calidad que oscilan entre irregular y extraordinariamente mala debido a las altas concentraciones de coliformes fecales. En Costa Rica, se encontró que casi la mitad de los ríos urbanos tienen altas concentraciones de coliformes fecales en el área metropolitana de San José.

En muchos países de las Américas, la evaluación de la calidad del agua se centra casi exclusivamente en la contaminación bacteriana. Existe información limitada sobre el alcance de la contaminación viral en la mayoría de los países debido a la ausencia de programas de monitoreo que detecten virus. Por ejemplo, en Ecuador y otros países el rotavirus se ha relacionado con la enfermedad diarreica aguda. Se han detectado virus de la hepatitis A y E en aguas superficiales en zonas donde no existen sistemas de tratamiento de aguas residuales urbanas y donde se dan vertidos de granjas que crían cerdos y otros tipos de ganado. Se han detectado otros virus como Astrovirus, Norovirus, Coxsackie virus, Enterovirus, Poliovirus, Adenovirus y Echovirus, donde se ha encontrado que el agua es el vehículo y posible causa de diferentes patologías (IANAS, 2019). De manera similar, se sabe que protozoos como *Cryptosporidium* spp., *Giardia lamblia*, *Entamoeba histolytica* y *Balantidium coli* están presentes en muchas aguas, al igual que Metozoos, *Shistosoma* spp. y *Dracunculus medinensis*. Los

helmintos como *Coccidio* sp., *Hymenolepis* sp, *Trichuris* sp, *Ascaris* sp y *Oxiuros* sp., patógenos humanos conocidos transmitidos por el agua, son frecuentes en algunos países de América Latina.

Como se señaló anteriormente, el monitoreo es esencial para evaluar la calidad de diferentes aguas y para proporcionar retroalimentación sobre la eficacia de los programas de gestión de la calidad del agua. Prácticamente, todos los países de las Américas han identificado la mejora de los sistemas y protocolos de monitoreo como una de sus principales prioridades para mejorar la gestión de los recursos hídricos. Se necesitan programas de monitoreo para evaluar el rendimiento de los sistemas de purificación y de las fuentes de agua. Es necesario un mejor seguimiento por monitoreo para detectar patógenos bacterianos implicados como causantes de enfermedades con alta mortalidad, como *Salmonella typhi, Helicobacter pylori* y *Leptospira* spp. También se sabe que *Helicobacter pylori* se encuentra en aguas que se mueven a través de tuberías con biopelículas y aguas residuales. El monitoreo de virus y parásitos también debe ser incluido ya que son ausentes en muchos países. También es necesario mejorar el monitoreo de virus y parásitos en el agua potable y las áreas de recreación acuática. La urgencia de un monitoreo adecuado no debe desviar la atención de la necesidad estrechamente relacionada de un mayor número de plantas de tratamiento de agua mejorada y aguas residuales. Tales plantas deberían poder adaptarse para hacer frente también a los problemas emergentes de la calidad del agua. Debe prestarse especial atención a las zonas rurales y periurbanas.

4. Importancia y problemas del saneamiento adecuado para las zonas urbanas y rurales.

Las necesidades de instalaciones de saneamiento y tratamiento de aguas residuales siempre han sido prioridad secundaria en comparación con las necesidades de agua potable segura. Sin embargo, ahora está claro que un saneamiento adecuado juega un papel clave para garantizar una mejor calidad del agua. El aumento mundial de la población, la urbanización, la industrialización y la expansión de los usos agrícolas de la tierra enfatizan la urgencia de proporcionar un tratamiento más integral de las aguas residuales. Además, las disminuciones en la calidad del agua van acompañadas de aumentos en los costos de construcción y operación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Los cambios y aumentos de contaminantes exigen una nueva atención para mejorar el diseño y el funcionamiento de las plantas de tratamiento. Como se mencionó anteriormente, cada crisis generalmente trae mejoras. Por ejemplo, el brote de *Vibrio cholerae* en América Latina en 1991 trajo cambios con la introducción de más plantas de tratamiento de aguas residuales. También se realizaron mejoras mediante la capacitación de operadores de plantas de aguas residuales y mejores regímenes de mantenimiento. Además, se introdujeron nuevos diseños mejorados para el proceso de tratamiento. A pesar de estas mejoras, muchos países de las Américas carecen de una cobertura total de saneamiento en las áreas urbanas, y en muchos casos se ha observado la contaminación concomitante de los cuerpos de agua receptores debido a deficiencias en el tratamiento y mantenimiento. La provisión y operación de instalaciones de saneamiento en áreas periurbanas y rurales sigue siendo un problema crítico, incluso en países donde la cobertura urbana es buena (**Tabla 1**).

Los países de América Latina no se encuentran en camino a cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible para el saneamiento de aguas residuales en áreas urbanas y rurales. En las zonas urbanas el 20% de las aguas residuales no reciben ningún tratamiento primario. Los países centroamericanos tienen un nivel de saneamiento básico urbano que va del 79 al 92%, pero las conexiones a los sistemas de alcantarillado están aún bajas entre el 28 y el 73%. América del Sur tiene un saneamiento básico que oscila entre el 57% y el 99%, pero las conexiones a los sistemas de alcantarillado se encuentran entre el 62 y el 98%. Hay pocos datos sobre plantas de tratamiento con tratamiento secundario, pero la cobertura parece oscilar entre el 15 y el 47%. Chile es una excepción con una cobertura del 81%. Es importante mencionar

América Latina y el Caribe Agua potable y saneamiento en Zonas Urbanas - 2017. % población							
Agua potable			Saneamiento				
Al menos básica	Gestionado de forma segura	Entubada	Al menos básica	Gestionado de forma segura	Aguas residuales tratadas	Conexiones del alcantarillado	Defecación al aire libre
99	82	96	91	37	37	77	<1
Agua potable y saneamiento en Zonas Rurales - 2017 % población							
88	42	75	70	-	8	18	9

Tabla 1: Agua potable y saneamiento en zonas urbanas América Latina y el Caribe - 2017 % población (JMP, 2019)

que los datos sobre cobertura de saneamiento no siempre reflejan (JMP, 2019) hasta qué punto se mantiene la calidad del agua. La presencia generalizada de fosas sépticas en muchos países centroamericanos y la presencia de fosas sépticas verticales en República Dominicana resulta en la contaminación de algunas aguas subterráneas que son la fuente de abastecimiento público de agua. Además, en Centroamérica, las lagunas de oxidación que tratan aguas residuales domésticas están depositando sus vertidos de desechos líquidos parcialmente tratados en cuerpos de agua superficiales. En la región sureste de Brasil, alrededor del 40% de las aguas residuales se vierten en cuerpos de agua receptores sin ningún tratamiento. Predominan las plantas de tratamiento de baja eficiencia y escaso mantenimiento que continúan contaminando los cuerpos de agua superficiales receptores.

Las áreas rurales en América Latina son especialmente deficientes en el saneamiento de aguas residuales, donde solo el 70% de la población cuenta con tratamiento básico de aguas residuales y las conexiones de alcantarillado son extremadamente bajas con una estimación del 18%. Todavía se pueden encontrar áreas rurales sin ningún tipo de gestión de aguas residuales donde aún se puede observar la defecación al aire libre, donde suelen habitar personas en situación de pobreza que no tienen medios para mejorar la situación del saneamiento.

5. Desechos sólidos.

Casi todos los países de América Latina y algunas islas del Caribe tienen problemas de eliminación de desechos sólidos. Los desechos sólidos, ya sean muy dispersos o concentrados, contaminan las fuentes de agua potable y otras aguas. A este fenómeno contribuyen la falta de programas efectivos de recolección y disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios adecuados, así como los hábitos culturales adversos. La disposición inadecuada de los residuos sólidos urbanos y los residuos industriales sin tratar en los basureros conduce a la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales debido a los procesos de lixiviación. Hay casos en los que, por ejemplo, los residuos metálicos han llegado a fuentes de agua subterránea y superficial desde estos depósitos. La precipitación y la escorrentía pueden acelerar estos procesos.

En la mayoría de los países de América Latina no son frecuentes los rellenos sanitarios organizados con tratamiento especializado para residuos especiales.

"Los rellenos sanitarios municipales reciben residuos sólidos industriales y domésticos que no han sido clasificados, donde podrían afectar las aguas subterráneas o llegar al agua de escorrentía y posteriormente ser vertidos en aguas superficiales" (IANAS 2019).

Los lixiviados de los vertederos son una fuente de contaminación del agua subterránea y superficial.

"Las aguas residuales municipales y los residuos sólidos de las ciudades más grandes del país -como la Región Metropolitana de Guatemala- se depositan en la Zona 3 de la Ciudad de Guatemala, que no cuenta con recolección ni tratamiento de lixiviados. Y en las 333 capitales municipales restantes hay ausencia de control de lixiviados de depósitos de residuos sólidos" (IANAS, 2019).

Hay pocas instalaciones diseñadas para el tratamiento especializado de residuos hospitalarios y peligrosos en la mayoría de los países. Se ha observado en la última década que los antibióticos se encuentran ampliamente distribuidos en los ríos, lagos y sedimentos de estos cuerpos de agua demostrando que hay una gran necesidad de tratamiento especial de los residuos sólidos de las industrias farmacéuticas, hospitales, instalaciones de ganadería intensiva, plantas procesadoras de carne, cerdo, pollo y más.

Muchas áreas costeras de las Américas se han transformado en reservas flotantes de basura, principalmente plásticos. Algunos países han comenzado a recolectar materiales reciclables y a desarrollar empresas que reciclan papel, plástico y vidrio (Styles, 2015).

D. AGUA SUBTERRÁNEA.

Se presentan algunos desafíos especiales en lo que respecta a agua subterránea, si se quiere mantener la calidad del agua en acuíferos específicos (masas de agua subterránea). El hecho de que las aguas subterráneas se encuentren bajo tierra y no se vean, plantea dificultades para realizar evaluaciones cualitativas. La contaminación de las aguas subterráneas casi siempre se puede atribuir a fuentes difusas que son difíciles de gestionar y controlar porque prácticamente siempre se requiere de una acción comunitaria de algún tipo. Cuando las aguas subterráneas se extraen de manera individualista y competitiva, el acuífero en cuestión se agota prematuramente, ya sea física o económicamente, o ambos. Este hecho significa que la gestión coordinada de las extracciones de agua subterránea de un acuífero suele ser una condición previa para estrategias de gestión exitosas para proteger la calidad, porque la extracción excesiva significa que tanto la capacidad para diluir los desechos como la capacidad limitada para procesarlos química y biológicamente se reducen. Más allá del tema de la gestión de las extracciones, la calidad del agua subterránea es difícil de gestionar porque las fuentes de contaminación suelen ser difusas. A menudo hay múltiples extractores que operan de forma independiente entre sí en ausencia de gestión y, como se ha demostrado, es mucho más costoso limpiar el agua subterránea una vez que ha sido contaminado, que prevenir la contaminación en primer lugar.

El agua subterránea como recurso puede tener claras ventajas si se compara el agua superficial. Su disponibilidad tiende a amortiguarse mediante el almacenamiento natural y, por lo tanto, su disponibilidad inmediata no depende tan directamente de la lluvia y la escorrentía como el agua superficial. Esto explica por qué la disponibilidad de agua subterránea en tiempos de sequía es particularmente ventajosa. La aparición de agua subterránea en el hemisferio occidental es desigual. Diferentes países están dotados de diferentes cantidades y diferentes áreas dentro de cada país están dotadas de manera diferente. El 90% del suministro de agua de Costa Rica proviene de aguas subterráneas, mientras que esa fuente representa hasta el 40% del suministro disponible en Argentina, México y Estados Unidos. Varios otros países, incluidos Colombia y Perú, tienen dotaciones en el rango del 15-20% y varios tienen dotaciones muy pequeñas, como Panamá, con el 3%. Otros países con dotaciones muy pequeñas incluyen varias naciones insulares del Caribe; por ejemplo, en Grenada solo alrededor del 5% de las necesidades de agua de la población están cubiertas por aguas subterráneas. Independientemente de la magnitud de su dotación de agua subterránea, prácticamente todos los países de las Américas deben hacer un mejor trabajo en la gestión de sus aguas subterráneas. Los países con dotaciones grandes o medianas probablemente se centrarán

más en la protección de estas dotaciones, ya que son necesarias para abordar las demandas actuales de agua y tal vez una fuente de suministro adicional muy necesaria en el futuro. Incluso los países con pequeñas dotaciones deberán ocuparse de la protección de las aguas subterráneas. Panamá, por ejemplo, hoy depende prácticamente de manera exclusiva de aguas superficiales. El Canal de Panamá es un usuario muy grande de agua superficial y ese uso es importante para el país económicamente. Al mismo tiempo, la competencia del rápido crecimiento urbano y el crecimiento económico probablemente requerirá que el país utilice sus aguas subterráneas en el futuro como la última fuente de suministro interno. Por tanto, no es demasiado pronto para gestionar la calidad de las aguas subterráneas para proteger una importante fuente de suministro futuro.

Las amenazas a la calidad del agua subterránea son numerosas. Incluyen la degradación de la calidad por la salinización y la intrusión de agua de mar, las amenazas planteadas por los productos químicos en el entorno natural que pueden filtrarse o invadir un cuerpo de agua subterránea y las amenazas planteadas por los seres humanos, particularmente de la industria, la agricultura y el saneamiento inadecuado. Muchos acuíferos costeros de las Américas están amenazados por la intrusión de agua de mar. Dicha intrusión casi siempre es impulsada por la sobre extracción del acuífero, lo que a su vez acentúa el gradiente de presión entre el agua de mar y el agua dulce, lo que provoca la intrusión del agua de mar. Una vez que esto ha ocurrido, es difícil de limpiar y puede ser difícil detenerlo. En algunos casos se ha tenido éxito inyectando agua dulce en las formaciones de agua subterránea para restaurar y/o aumentar la presión hidráulica hasta el punto en que se detiene la intrusión, y las aguas salinas pueden ser llevadas hacia el mar, restaurando así en cierta medida una parte del acuífero contaminado. En el futuro, se prevé que el aumento del nivel del mar asociado con el cambio climático aumente la extensión y la intensidad de la intrusión de agua de mar en muchos acuíferos costeros de las Américas.

Los contaminantes del agua subterránea incluyen contaminantes bacterianos, contaminantes orgánicos y contaminantes inorgánicos. Este último grupo incluye sustancias que ocurren naturalmente con contaminación causada tanto como consecuencia del contacto directo entre el agua subterránea y el sustrato geológico como por procesos de transporte natural. El arsénico, el fluoruro, el boro y el mercurio se encuentran entre los contaminantes naturales más comunes. Las sales de nitrógeno y cloro también están presentes de forma natural en muchas aguas subterráneas. Algunos acuíferos se han salinizado históricamente y las aguas que contienen no son aptas para muchos usos a menos que estén desaladas. En México, los problemas con el arsénico y los fluoruros en las aguas subterráneas se han aliviado parcialmente utilizando técnicas como la ósmosis inversa. Este tipo de limpieza puede ser bastante costoso, pero es atractivo en tanto que no existen fuentes alternativas de agua potable.

La fuente más común de contaminación del agua subterránea es la actividad humana, e incluye la contaminación biológica y la contaminación por sustancias químicas orgánicas e inorgánicas. Los contaminantes pueden introducirse en las aguas subterráneas directamente, a través de pozos, e indirectamente a través de la lixiviación y otros procesos de transporte. Los productos químicos agrícolas y sus residuos se encuentran en las aguas subterráneas de la mayoría de los países donde se practica la agricultura. Entre estos se encuentran los residuos de fertilizantes, la mayoría de los cuales son inorgánicos, y los residuos de plaguicidas, la mayoría de los cuales son orgánicos. Estos se introducen con frecuencia por la aplicación excesiva de fertilizantes y pesticidas. El establecimiento y la aplicación de las mejores prácticas de gestión pueden mitigar la introducción continua de estos contaminantes. Algunos de estos residuos son persistentes. Otros, como el nitrógeno nitrato, son costosos de limpiar. Se puede introducir una amplia variedad de contaminantes debido a la descarga imprevista de aguas residuales. Los contaminantes introducidos de esta manera incluyen patógenos, metales pesados y una amplia variedad de compuestos químicos que surgen de los procesos industriales. Los desechos mineros que están sujetos a la lixiviación y al transporte de superficie también son comunes en las Américas donde se practica

la minería. Estos incluyen metales y metaloides, muchos de los cuales son altamente tóxicos incluso a bajas concentraciones.

La regulación de la calidad del agua subterránea tiene sus propias dificultades. Comienza con protocolos de monitoreo adecuados para identificar dónde hay problemas y cuál es su naturaleza cualitativa. El monitoreo es costoso y no es un foco de interés público o político. Sin embargo, es esencial. La contaminación que ocurre en la boca del pozo es atribuible a pozos mal diseñados y construidos y/o a la introducción directa de contaminantes en dichos pozos. Esta contaminación se puede controlar fácilmente mediante la promulgación y el cumplimiento de las normas de construcción de pozos y la imposición de programas de gestión de cabeza de pozo. Dichos programas, cuando están bien diseñados, regulan el cuidado de la tierra que rodea las bocas de pozo y los tipos de materiales que se pueden almacenar y utilizar en las proximidades de las bocas de pozo. En estos casos, las actividades contaminantes pueden tratarse con normas y otras regulaciones que se aplican comúnmente a las fuentes puntuales de contaminación.

La regulación de la contaminación que proviene de más allá de las bocas de pozo es más complicada por el hecho de que gran parte de la contaminación de las aguas subterráneas es el resultado de descargas de fuentes no-puntuales. Es frecuentemente imposible atribuir una sola fuente a estas descargas difusas. En la mayoría de los casos, la gestión exitosa de dicha contaminación de fuentes difusas requerirá una acción comunitaria que incluya a todos los agentes que podrían ser responsables o potencialmente responsables de la contaminación de un acuífero. Ejemplos de tales arreglos incluyen distritos locales, que funcionan como unidades locales de gobierno; asociaciones voluntarias; y programas de regulación impuestos por gobiernos regionales o nacionales. Estos últimos arreglos generalmente adolecen debido a que las actividades contaminantes pueden diferir de un lugar a otro y requieren conjuntos de regulaciones muy diferentes. En tales circunstancias, es difícil hacer que las regulaciones sean tanto flexibles como efectivas. Las instituciones seleccionadas para asumir la responsabilidad de la gestión generalmente desarrollarán programas de mejores prácticas de gestión y estos deben hacerse cumplir para que sean efectivos. Estas prácticas suelen ayudar a prevenir la aplicación excesiva de productos químicos agrícolas y de otro tipo. También prescriben el tratamiento apropiado que se debe otorgar a otros materiales y, en algunos casos, prohíben ciertas actividades, así como también materiales en las tierras suprayacente del acuífero en cuestión.

En conjunto, las aguas subterráneas de las Américas no están bien administradas ni protegidas. Sin duda, existen ejemplos de acuíferos bien gestionados, pero son la excepción y no la regla. Esto es lamentable porque su naturaleza como recursos de acceso abierto los hace sujetos a una degradación cualitativa y/o una reducción y agotamiento físico y económico prematuros. Por varias razones, es probable que el agua subterránea sea más importante como fuente de suministro en el futuro que en el pasado. Los países que actualmente dependen en gran medida del agua subterránea, México es un ejemplo, deberán hacer todo lo posible para proteger su suministro de agua subterránea frente al cambio climático, que puede llevar a que se reduzcan los suministros habituales de agua superficial. Los países con dotaciones más modestas de agua subterránea deberán actuar para proteger sus fuentes de suministro en previsión de aumentos en la demanda de agua impulsada por el crecimiento demográfico y económico. Panamá es solo un ejemplo en el que probablemente prevalecerán estas circunstancias. Además, se debe prestar atención a los acuíferos que ya se han degradado, ya sea cuantitativa o cualitativamente, como posibles candidatos para la restauración y rehabilitación como un medio de aumentar los suministros disponibles para un futuro incierto. Las incertidumbres del cambio climático incluyen posibles reducciones en las precipitaciones y la escorrentía, así como su sincronización estacional. La posibilidad de que disminuya la disponibilidad de los suministros tradicionales de agua también habla de la necesidad de proteger y mejorar la calidad del agua subterránea en todo el hemisferio.

CAPÍTULO IV

GOBERNABILIDAD, INSTITUCIONALIDAD, GESTIÓN Y POLÍTICAS PÚBLICAS DE CALIDAD DEL AGUA

El mantenimiento y mejoramiento de la calidad del agua en todo el hemisferio occidental es uno de los desafíos importantes en la agenda de gestión del agua para el futuro por varias razones. Primero, el deterioro de la calidad del agua reduce el suministro de agua disponible para muchos usos, tanto como una sequía. En segundo lugar, es probable que el crecimiento económico y demográfico de las Américas conduzca a una creciente demanda de agua. En tercer lugar, las incertidumbres planteadas por el cambio climático incluyen la posibilidad de reducciones en las precipitaciones y escorrentías que resultarían en reducciones en la disponibilidad de los suministros de agua habituales.

El cambio climático también podría tener otros impactos adversos en lo que respecta al sector de agua. Lo que surge es una imagen general del futuro en el que la demanda de agua podría seguir creciendo al mismo tiempo que las fuentes de suministro se reducen. En tales circunstancias, proteger y mejorar la calidad del agua tendría una alta prioridad, aunque solo sea para evitar nuevas reducciones en el suministro de agua. En general, a los países del hemisferio occidental no les ha ido bien en la construcción de instituciones y políticas que protejan la calidad del agua. Canadá y Estados Unidos se encuentran entre estos países. En este capítulo se identifican varios desafíos políticos y se describen y evalúan una serie de herramientas políticas para gestionar la calidad del agua.

DESAFÍOS POLÍTICOS.

La formulación de políticas para la gestión de la calidad del agua requiere el reconocimiento de varios factores críticos que impactan la calidad del agua.

La necesidad de una acción colectiva. La mayoría de las aguas superficiales y subterráneas están sujetas al uso de más de una persona. Los propios recursos fluyen con mayor frecuencia; son recursos fugaces. Es muy difícil otorgar derechos de propiedad a recursos fugaces porque no se pueden precisar por ubicación. Esto significa que el uso, ya sea para el corpus de los recursos o para sus capacidades de asimilación de residuos, tiende a estar sujeto a la ley de captura. Cuando se explota de una manera competitiva individualista, el resultado tiende a ser el agotamiento prematuro del recurso, si sea agua subterránea o la capacidad de asimilación de desechos del agua superficial. Siguiendo con la calidad del agua superficial, las descargas de desechos de una persona impactan adversamente a los usuarios río abajo, mientras otras personas buscan preservar la calidad del agua. En teoría, los conflictos resultantes pueden resolverse mediante negociaciones voluntarias. Eso rara vez ocurre en la vida real. El resultado es que es necesario realizar algún arreglo institucional colectivo para proteger la calidad del agua en su estado prístino (lo que es raro) o en algún nivel de calidad para los usos necesarios, con el que la

comunidad pueda vivir. Los acuerdos resultantes deben ser ejecutables. Sin estos arreglos, hay pocas posibilidades de proteger la calidad del agua.

Monitoreo. El monitoreo es fundamental para gestionar la calidad del agua. Sin un monitoreo preciso, no es posible saber con precisión si existe un problema de calidad del agua. Y sin un monitoreo preciso, no es posible saber cuándo los esfuerzos para proteger o mejorar la calidad del agua están cumpliendo los objetivos requeridos. El monitoreo de la calidad del agua es inadecuado en todo el hemisferio occidental, incluso en Canadá y los EE. UU. El monitoreo de la calidad del agua no es políticamente interesante ni popular. El público tampoco aprecia ampliamente su necesidad. Sin embargo, es fundamental construir el apoyo político necesario para montar y llevar a cabo programas de monitoreo eficaces.

Fuentes puntuales y no puntuales. Las fuentes más conocidas de contaminación del agua son las puntuales. Es decir, los contaminantes que ingresan a un curso de agua desde el final de alguna tubería o en la entrada de algún tributario. Hay un punto en el espacio que puede estar sujeto a una regulación de descarga. Las fuentes puntuales son relativamente sencillas de regular. Por el contrario, las fuentes no puntuales son difusas, existen múltiples fuentes, pero es imposible identificar con precisión de dónde provienen. Los ejemplos incluyen flujos residuales de fertilizantes y pesticidas de la agricultura, flujos de aguas pluviales de áreas urbanas que a menudo han sido modificadas por pavimentación, sedimentos arrastrados por la escorrentía de tierras erosionadas y aguas que fluyen de sitios mineros abandonados. Los contaminantes de fuentes difusas son difíciles de regular ya que generalmente no hay un punto singular para que la regulación pueda ser efectiva. Casi siempre, la regulación de las fuentes no puntuales requerirá herramientas y estrategias diferentes de las que se pueden utilizar para regular las puntuales.

Gestión de la calidad del agua subterránea. La prevención de la contaminación de las aguas subterráneas y el mantenimiento de una buena calidad de las aguas subterráneas a lo largo del tiempo presentan problemas especiales. La investigación disponible deja en claro que casi siempre es más barato prevenir la contaminación del agua subterránea, que limpiar la contaminación una vez que esta ha ocurrido. Por lo tanto, existe un fuerte incentivo económico para mantener una buena calidad del agua subterránea. Los problemas surgen porque la mayoría, no todos, los contaminantes del agua subterránea provienen de fuentes difusas. Además, la capacidad de asimilación de residuos de las aguas subterráneas tiende a ser baja en comparación con las aguas superficiales, por lo que la opción de esperar a que el agua se limpie por sí misma mediante dilución o procesos químicos y biológicos asimilatorios no es, en general, muy atractiva. Cuando las extracciones de aguas subterráneas no se gestionan y están sujetas a contaminación de fuentes difusas, los recursos pueden agotarse económica o físicamente.

En ausencia de programas de gestión eficaces, es poco probable que se pueda proteger la calidad del agua porque los extractores tienen pocos o ningún incentivo para proteger el recurso. Por lo tanto, la gestión y regulación de las extracciones de aguas subterráneas es generalmente un precursor de una gestión y protección satisfactorias de la calidad de las aguas subterráneas. Las herramientas disponibles para tal protección incluyen regulaciones de protección de los cabezales de pozo y programas de mejores prácticas de manejo.

HERRAMIENTAS POLÍTICAS PARA GESTIONAR Y PROTEGER LA CALIDAD DEL AGUA.

La forma más común de promover la protección y mejora de la calidad del agua es mediante el establecimiento de estándares. Por lo general, esto se hace de manera legislativa y casi siempre debe hacerse a nivel nacional. Cuando la responsabilidad de administrar y mantener la calidad del agua se deja a los estados, provincias o áreas locales, existe una fuerte tendencia a competir entre sí en aras de promover el crecimiento económico mediante

la creación de los estándares más laxos posibles. Se pueden emplear diferentes tipos de estándares para especificar los objetivos de calidad del agua y niveles deseados de tratamiento o reducción. Hay cuatro categorías generales de estándares.

Estándares ambientales: especifican los niveles deseados de características físicas, químicas y biológicas en el agua u otros medios receptores. La especificación de un estándar ambiental es simplemente una declaración de objetivos de calidad del agua. La especificación de estándares ambientales por sí sola no resulta en el logro de los objetivos. Más bien, el estándar debe lograrse por otros medios, como la especificación y el cumplimiento de los estándares de descarga, multas por contaminación u otros mecanismos de fijación de precios, todos los cuales pueden aplicarse tanto individual como colectivamente.

Estándares de descarga: expresan los aspectos biológicos, químicos y físicos (y en algunos casos las cantidades) de las aguas y otros materiales que pueden descargarse en las aguas superficiales u otros cuerpos receptores. La estipulación y el cumplimiento de los estándares de descarga es una forma de cumplir con los estándares ambientales. Los estándares de descarga son efectivos con contaminantes de fuentes puntuales donde el punto de descarga se puede identificar y monitorear. Por lo general, son ineficaces para controlar la contaminación de fuentes no-puntuales debido a las dificultades para identificar el lugar donde se puede aplicar y hacer cumplir la norma.

Estándares basados en tecnología: especifican los tipos de tecnología y las consideraciones operativas relacionadas necesarias para lograr un estándar ambiental. Especifican qué tratamiento o tecnología de tratamiento se debe aplicar al flujo de residuos antes de que se descargue. Generalmente se establecen en base a consideraciones de efectividad y costo. Un ejemplo familiar es el requisito de niveles primarios, secundarios o avanzados de tratamiento de aguas residuales.

Estándares de insumos: especifican la cantidad y calidad de insumos específicos utilizados en el proceso de producción. Su finalidad es incidir en la calidad y cantidad de los residuos que posteriormente se generan y descargan al medio ambiente. Estos se han propuesto como un medio para hacer frente a los contaminantes de fuentes difusas, pero no tienen un historial sustancial de uso y/o eficacia. Se utilizan para regular otros tipos de contaminantes en algunos países económicamente avanzados, particularmente donde son relativamente sencillos y económicos de aplicar.

Otros métodos de gestión de la calidad del agua: si bien las prácticas de establecer, implementar y hacer cumplir los estándares de calidad del agua son las técnicas más utilizadas para gestionar la calidad del agua en la fuente en todo el mundo, existen otras opciones disponibles. Uno es el uso de precios o impuestos sobre los vertidos. Esta técnica se basa en el principio de "quien contamina paga", en el que la responsabilidad de la contaminación del agua recae claramente en el agente que descarga las sustancias contaminantes. La instancia que descarga debe pagar un precio o un impuesto por cada unidad descargada. Este esquema proporciona un incentivo para reducir la contaminación hasta el punto en que sea más barato pagar el impuesto que tratar o eliminar los desechos en cuestión.

Otra forma de fijación de precios es la emisión de permisos de descarga negociables. El administrador decide qué cantidad de contaminación es la máxima que debe tolerarse. Luego, los permisos por ese monto se emiten a las instancias potenciales que descargan que tienen la opción de usar el permiso para evitar el impuesto o venderlos a otro descargador y pagar el impuesto ellos mismos. El precio de los permisos se establece luego como consecuencia del comercio que sigue en el que los compradores están dispuestos a pagar cualquier costo que sea menor que la alternativa más barata para tratar o reducir los residuos por los permisos, y los vendedores están dispuestos a aceptar cualquier precio mayor que el costo de la alternativa más cara para tratar o reducir los residuos. Una ventaja de los esquemas de permisos negociables de descarga es que

conducen automáticamente al medio de menor costo para lograr el nivel de calidad del agua que se pretende lograr.

Como se señaló anteriormente, la gestión de contaminantes de fuentes difusas presenta un desafío especial, y esto es particularmente cierto para una gestión exitosa de la calidad del agua subterránea.

Mejores prácticas de manejo. Programas ejecutables de prácticas de manejo se han mostrado ser eficaces para gestionar y proteger la calidad del agua subterránea. Dichos programas especifican niveles permisibles de fertilizantes y plaguicidas, regímenes de protección contra la erosión y otras prácticas agrícolas y de uso de la tierra que conducen a la minimización o eliminación de fuentes no-puntuales de contaminación del agua subterránea. Estos requisitos generalmente dependen para lograr su eficacia de la cooperación de los propietarios de las tierras suprayacentes del acuífero en cuestión. Requieren la cooperación de los usuarios de aguas subterráneas que deben estar de acuerdo con los reglamentos y también con la aplicación de dichos reglamentos. En general, estos programas han funcionado bien en áreas donde el agua subterránea es la única fuente disponible de suministro de agua o donde los usuarios dependen de ella para una gran proporción de uso. Se encuentran ejemplos de éxito con tales programas en áreas agrícolas y, en menor medida, en situaciones urbanas en los EE. UU. Parecen ser la mejor herramienta disponible para manejar fuentes difusas, especialmente en agricultura.

Una mejor gestión de los recursos hídricos requerirá la aplicación de las ciencias del agua como base para la planificación y ejecución. En muchos países se ha tenido un buen comienzo con el desarrollo de programas de gestión integrada de cuencas hidrográficas. Sin embargo, queda mucho por hacer y será importante desarrollar estrategias multidimensionales para abordar eficazmente la multitud de fuentes de degradación de la calidad del agua. La mayoría de los países tienen o están en proceso de desarrollar instituciones dedicadas a mejorar y mantener la calidad del agua. En muchos países se han establecido marcos legales para gobernar la regulación y el control de la calidad del agua. El establecimiento de formas de gobernabilidad como los Consejos de Cuencas es otra frecuente herramienta institucional frecuente de protección y regulación. El hecho de que la calidad del agua tenga muchas de las características de un bien público significa que tales instituciones son necesarias pero que inevitablemente enfrentan presiones económicas y de otro tipo que a menudo conducen al fracaso institucional. En un futuro, las instituciones de calidad del agua necesitarán contar con la capacidad para mantenerse al día con los cambios ambientales debido al cambio climático, y para abordar los problemas de regular los contaminantes emergentes. Para que los recursos hídricos de las Américas estén adecuadamente protegidos ahora y en el futuro, será fundamental desarrollar arreglos de gobierno que faciliten el uso racional de todos los recursos y enfaticen su relación entre ellos. El uso de la ciencia y el desarrollo de ciencia adicional serán cruciales para que estos arreglos sean efectivos.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES

Es de vital importancia prestar más atención a la calidad del agua, que también está afectando fuertemente su disponibilidad. Las Américas atraviesan crecientes transformaciones de la actividad humana, como el crecimiento demográfico, la urbanización, la industrialización y los continuos cambios en el uso del suelo y el desarrollo territorial, y con ellas, las necesidades de innovación y una mejor gestión de la calidad del agua.

Las conclusiones sobre la calidad del agua en las Américas de este volumen resumido se pueden enunciar de la siguiente manera:

1. Sólo en raras ocasiones será óptimo insistir en que no haya contaminación alguna o en limpiar toda la contaminación. Los costos y beneficios del control de la contaminación y la limpieza deben equilibrarse para maximizar los beneficios netos.

2. Las políticas de contaminación deben reconocer que los sumideros de eliminación de desechos están interrelacionados, y que los altos estándares para un sumidero, implican estándares más bajos para los demás.

3. Las **medidas de prevención** son más importantes en el desarrollo de gobernabilidad y de políticas.

4. La **eutrofización** de las aguas superficiales es un fenómeno generalizado en las Américas. Se está agravando debido al enriquecimiento artificial de nutrientes en las aguas receptoras. Los resultados incluyen la liberación no deseada de toxinas, la reducción del oxígeno disuelto y el crecimiento explosivo de especies no deseadas que interrumpen drásticamente la biodiversidad acuática y la configuración de las redes tróficas en los ambientes acuáticos.

5. La **contaminación química** de los ambientes acuáticos ha aumentado considerablemente a medida que la agricultura y la industria han crecido en las Américas. La diversidad de productos químicos contaminantes también ha aumentado a medida que se han desarrollado nuevos pesticidas y fertilizantes. El problema se complica aún más por la aparición constante de sustancias químicas nuevas y emergentes, como antibióticos, hormonas y más en el medio ambiente. El drenaje de minas tóxicas a menudo da como resultado la liberación de compuestos metálicos - y otros- que degradan la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. Los contaminantes naturales que surgen de las formaciones geológicas representan un peligro para el suministro de agua potable y deben identificarse con prontitud. Con frecuencia, la limpieza de contaminantes químicos en el medio ambiente es más costosa que prevenir la contaminación desde el principio.

6. Los **contaminantes biológicos y otros contaminantes no químicos** tienen impactos

especiales tanto en los ecosistemas acuáticos como en las fuentes de agua para consumo y otros usos. Las especies invasoras se están volviendo más prominentes en muchos países y necesitan ser controladas debido a sus efectos, a veces drásticos, en los hábitats naturales de los organismos acuáticos. Pueden modificar la calidad del agua y los sistemas ecológicos de masas de agua muy grandes, como todo el sistema de los Grandes Lagos de América del Norte.

La *continua deforestación masiva* causada por la tala de tierras para la agricultura y la extracción de madera tanto en las zonas templadas y especialmente en las tropicales provoca tasas de sedimentación aceleradas en los cuerpos de agua y destrucción de paisajes naturales que intensifican la erosión. Es urgente desarrollar múltiples esfuerzos de reforestación y proteger áreas en reforestación natural. Esto es particularmente cierto en áreas clave de cuencas hidrográficas como zonas riparias.

El avance de las tecnologías para la *depuración del agua* en las últimas décadas ha mejorado enormemente el control de la *contaminación microbiana*. Aún existen problemas en las zonas urbanas donde no se garantiza la *continuidad del acceso*. Los problemas más importantes de dicha contaminación son especialmente obvios en las áreas rurales y periurbanas donde las fuentes de agua no están protegidas y la infraestructura para la purificación del agua para el consumo no está presente. Ciertas bacterias, virus y parásitos patógenos aún no están controlados por las tecnologías de purificación actuales.

El *tratamiento de aguas residuales* en América Latina sigue siendo uno de los principales problemas para garantizar la calidad del agua en las Américas. Las plantas de tratamiento urbanas a veces son disfuncionales y carecen de mantenimiento, lo que lleva los efluentes contaminados a los cuerpos de agua receptores de la superficie. En la mayoría de los países de América Latina, las áreas rurales carecen de plantas de tratamiento de aguas residuales.

La mayoría de los países del hemisferio carecen de *programas de monitoreo* adecuados para detectar la contaminación microbiana, que es fundamentalmente importante para controlar la calidad del agua.

La eliminación inadecuada de desechos sólidos tiene una influencia negativa en la calidad del agua en toda América Latina. La falta de rellenos sanitarios que funcionen bien conduce a la contaminación continua de las aguas subterráneas y superficiales por lixiviados. El tratamiento especializado para desechos peligrosos de diferentes fuentes no existe en muchas regiones y países.

7. **Agua subterránea.** La protección de la calidad del agua subterránea se está convirtiendo en una necesidad más urgente en la mayoría de los países de las Américas ya que la gestión eficaz es inadecuada o inexistente. La gestión existente es más la excepción que la regla. La mayor parte de la contaminación de las aguas subterráneas es causada por la contaminación difusa de la agricultura, la minería, el tratamiento inadecuado de las aguas residuales, la contaminación natural en sustratos geológicos específicos, la intrusión de agua de mar en las zonas costeras, y más, todo lo que dificulta su regulación. Con el cambio climático acelerado y la posible disminución de los suministros de agua tradicionales, el desarrollo de políticas efectivas de gestión de las aguas subterráneas es ahora una alta prioridad.

8. **Salud.** La necesidad de proteger a los seres humanos de las enfermedades transmitidas por el agua es, por supuesto, la principal prioridad para la gestión del agua dirigida a las fuentes específicas destinadas al consumo humano. Esto exige el control y la regulación de todo tipo de contaminantes, desde químicos hasta biológicos. La mayoría de las áreas urbanas han mejorado la cobertura, dejando a las áreas rurales y periurbanas con la necesidad de pasos futuros para mejorar la cobertura. También es necesario mejorar la infraestructura de purificación y tratamiento de aguas residuales para hacer frente a los riesgos actuales teniendo en cuenta los contaminantes

emergentes. Se debe enfatizar la necesidad de introducir programas de monitoreo mejorados adaptados a la información nacional y regional sobre la calidad del agua.

9. Los impactos del **Cambio Climático Global** sobre los recursos hídricos se han observado en todo el hemisferio y plantean desafíos adicionales para la gestión del agua en el futuro. Estos desafíos que deben abordarse para que las fuentes de agua y la calidad del agua permanezcan seguras. Las amenazas a la calidad del agua se derivan de impactos climáticos que incluyen 1) aumentos en la frecuencia de eventos extremos, sequías e inundaciones que pueden provocar la liberación de contaminantes que afectan los diferentes usos, 2) temperaturas crecientes que causan floraciones de algas con mayor frecuencia debido a procesos de eutrofización en aguas superficiales. El aumento de la aridez hace que sea aún más necesario priorizar la protección de las fuentes de agua existentes y su calidad.

10. **Gobernabilidad de la calidad del agua y el desarrollo de políticas** son la clave para mejorar la gestión de los recursos hídricos en el futuro, ya que las reducciones en su calidad significan una disminución en el suministro de agua. Existen desafíos difíciles para asegurar la gestión de la calidad del agua debido a la necesidad de estructuras institucionales colectivas que funcionen efectivamente en proteger la calidad del agua, y hay una falta de monitoreo necesarios para identificar problemas específicos en la mayoría de los países; la dificultad para identificar la fuente exacta del problema debido a fuentes de contaminación no-puntuales se suma a la complejidad de la regulación. Se requieren herramientas de política como el establecimiento de estándares para determinar si se están cumpliendo los objetivos de calidad del agua. La introducción de mejores prácticas de manejo en la agricultura y en las zonas urbanas son fundamentales para lograr mejoras en la calidad del agua. El establecimiento de la gestión integrada de las cuencas hidrográficas también es fundamental ya que estos programas desarrollan estrategias desde un enfoque multidimensional destinadas a enfrentar múltiples fuentes de contaminación y problemas que afectan la calidad del agua. Es importante enfatizar la necesidad del desarrollo y la aplicación de las ciencias del agua para desarrollar programas efectivos de gestión de la calidad del agua.

La gestión del agua establecida en los marcos institucionales legales ha hecho importantes contribuciones a la gestión del agua, pero ha tenido limitaciones para avanzar de manera eficaz para mejorarla; en algunos casos, han tardado en tomar en consideración los cambios ambientales y los contaminantes emergentes que afectan la calidad del agua. Para preservar los recursos hídricos existentes en las Américas es fundamental desarrollar una gestión que tenga en cuenta el uso racional de todos los recursos y su relación entre ellos.

REFERENCIAS

Ayers, Robert U., Allen V. Kneese and Ralph C. d'Arge. 2015. Economics and the Environment: A Materials Balance Approach (New York, NY: Routledge) pp.121.

Baumol, William J. and Wallace E. Oates. 1993. Economics, Environmental Policy and the Quality of Life (Engelwoood Cliffs, NJ: Prentice Hall, Inc.) pp. 377.

Dolbear, F. Trenery. 1977. On the Theory of Optimum Externality. American Economic Review. Vol. 57, pp. 90-103.

Hecky, R., Smith, R.E.H., Barton, D.R., Guildford, S.J., Taylor, W.D., Charlton, M.N. and Howell T. (2004). The nearshore phosphorus shunt: a consequence of ecosystem engineering by dreissenids in the Laurentian Great Lakes. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 61, pp. 1285-1293.

Interamerican Network of Academies of Sciences (IANAS) 2019, Water Quality in the Americas: Risks and Opportunities, Mexico. https://ianas.org/wp-content/uploads/2020/07/02-Water-quality-INGLES.pdf

Petsko, E. (2019). "La nueva Ley de Pesca de Canadá podría ayudar a reconstruir las 33 poblaciones de peces agotadas críticamente". OCEANA, December 25, 2019. https://humanidadymedio.wordpress.com/2019/12/25/la-nueva-ley-de-pesca-de-canada-podria-ayudar-a-reconstruir-las-33-poblaciones-de-peces-agotadas-criticamente/

Red Interamericana de Academias de Ciencias-IANAS, (2019), Calidad del Agua en las Américas: Riesgos y Oportunidades. México, IANAS. https://ianas.org/wp-content/uploads/2020/09/03-Water-quality-ESPA%C3%91OL.pdf

Schindler, D. W. and 12 Others. (1981). Atmosphere-Biosphere Interactions: Toward a Better Understanding of the Ecological Consequences of Fossil Fuel Burning. Washington, D. C. National Academy Press. 263 pp.

Styles L. (2015). Gestión de Residuos y Proveedores de Desechos. Retrieved from: https://dlca.logcluster.org/pages/releaseview.action;jsessionid=1270838B1EB9202214A1E5FD2737CB44?pageId=7897123

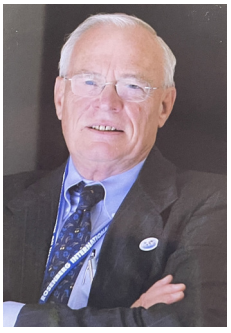
United Nations Children´s Fund (UNICEF) and World Health organization (WHO), Joint Monitoring Programme for Water Supply Sanitation and Hygiene (JMP), 2019. Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017.

United Nations Environmental Programme (UNEP) (2016). A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a Global Assessment. Nairobi: UNEP. Retrieved from: https://uneplive.unep.org/media/docs/assessments/unep_wwqa_report_web.pd

Venktaraman, Bhawanit. 2013. Access to Safe Water: A Paradox in Developed Nations. Environment. Vol. 55, No. 4. Jul/August. Pp. 24-34

AUTORES

HENRY VAUX



Henry Vaux es Profesor Emérito de Economía de Recursos en la Universidad de California, Riverside, y Vicepresidente Emérito Asociado de la Universidad del Sistema de California. Anteriormente se desempeñó como Director de la Universidad de los Recursos Hídricos de California. Fue el presidente fundador del Foro Internacional Rosenberg sobre Políticas del Agua. El Foro se reunió cada dos años en diferentes lugares del mundo para considerar y analizar políticas y estrategias para una gestión eficaz del agua como recurso. Sus principales intereses de investigación son la economía del uso del agua, política del agua, agricultura de regadío agricultura y marcas de agua.

El profesor Vaux ha trabajado en numerosos comités del Consejo Nacional de Investigaciones y encabezó delegaciones científicas en nombre del Consejo a nivel internacional en países como México, Irán y Túnez. Durante la década de 1990, se desempeñó como Presidente de la Junta de Ciencia y Tecnología del Agua en el Consejo. Es un Asociado de la Academia de Ciencias, Ingeniería y Medicina de los EE. UU. Recibió su A.B. y doctorado de la Universidad de California y la Universidad de Michigan respectivamente.

KATHERINE VAMMEN

La Dra. Katherine Vammen es especialista en Gestión y Calidad del Agua y Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Naturales. Recibió su doctorado con especialidad en Bioquímica, Genética y Biología del Desarrollo de la Universidad de Salzburgo, Austria.

Actualmente es la Directora del Instituto Interdisciplinario de Ciencias Naturales (IICN) de la Universidad de Centroamérica (UCA, Managua, Nicaragua). Ella es Co-Chair del Programa de Agua de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS) y Punto Focal en representación de la Academia Nicaragüense de Ciencias en la red.

Katherine fue Decana de la Facultad de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de la UCA desde 2016-2018. La Dr. Vammen fue la fun-

dadora y ex coordinadora de la Maestría Regional Centroamericana en Ciencias del Agua y y ex subdirectora del Centro de Investigación en Recursos Acuáticos de la Nacional Universidad Autónoma de Nicaragua (CIRA / UNAN).
Sus publicaciones más recientes incluyen:
1. Vammen, K. y Guillen, S.M. Los recursos hídricos de Nicaragua y el COVID-19: entre el pánico
y apatía. Revista Brasileña de Biología, ISSN 1678-4375. DOI:
2. Vaux, H., Vammen, K., Bernex N., Fábrega, J., Forde, M., Roldan, G. y Torregrosa, M.L. (2020)
El desafío de la gestión del agua urbana en las Américas. En Medio ambiente: ciencia y políticas para el desarrollo sostenible, 62: 2. 14-29. DOI: 10.1080 / 00139157.2020.1708170.
3. Vammen, K. y Vaux, H. (Eds.) (2019). Calidad del agua en las Américas: riesgos y oportunidades. Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS), México.

GABRIEL ALFONSO ROLDÁN PÉREZ

El Dr. Gabriel Alfonso Roldán Pérez es Licenciado en Biología y Química, Universidad de Antioquia, Medellín, 1963; Master en Ciencias, Kansas State Teachers College, Emporia, Kansas, EE. UU. 1970; Doctor en Ciencias (Dr. rer. Nat.), Universität des Landes Hessen, Kassel, Alemania, 1980.
Fue Profesor de Biología, Universidad de Caldas, Manizales; Profesor de Ecología y Limnología, Universidad de Antioquia, Medellín; Director de Investigación y Profesor de Limnología, Universidad Católica de Oriente, Rionegro; Jefe de la Facultad de Posgrado del Departamento de Biología, Universidad de Antioquia; Jefe del Instituto de Investigaciones Marinas, INVEMAR, Santa Marta; Jefe del Centro de Investigaciones, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Antioquia; Director y fundador de la revista Actualidades Biológicas, publicación del Departamento de Biología de la Universidad de Antioquia.
También fue invitado a impartir cursos, conferencias y seminarios en diferentes países de América Latina. Ha recibido diversos premios nacionales e internacionales. Ha publicado doce libros sobre biología y limnología, y más de 50 publicaciones científicas.
Actualmente es Director de Publicaciones de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales; también es miembro de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
El Dr. Gabriel Alfonso Roldán Pérez es el Punto Focal que representa a la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS).

ERNESTO JOSÉ GONZÁLEZ RIVAS

Biólogo egresado de la Universidad Central de Venezuela (UCV), Doctor en Ciencias, Mención Ecología, también de la Universidad Central de Venezuela. Profesor adjunto al Instituto de Biología Experimental de la Facultad de Ciencias (IBE-UCV), donde se desempeña como docente - investigador desde 1993.
Líneas de investigación: 1) Limnología de yacimientos, 2) Interacciones fitoplancton - zooplancton, y 3) eutrofización de cuerpos de agua.
Ha dirigido y participado en 11 proyectos de investigación relacionados con la caracterización fisicoquímica y biológica de los cuerpos de agua de Venezuela. Ha dirigido 20 Proyectos Especia-

les de Licenciatura en Biología y 1 Tesis Doctoral en Ecología.

Ha participado en 12 cursos y talleres internacionales sobre Ecología Acuática. Publicó un libro sobre "Trabajo de campo en ambientes acuáticos" dirigido a Educación Básica y editado por CENAMEC en 1995, 58 artículos en revistas científicas y capítulos de libros, 18 informes técnicos y 1 artículo en Internet.

Presentó 129 conferencias y ponencias en congresos y reuniones científicas nacionales e internacionales; y participó en el proyecto "Capacitación en Manejo de Lagos y Embalses en Centroamérica".

Reconocimientos: "Orden Waraira-Repano" en su Primera Clase por méritos científicos en conservación ambiental, "Orden José María Vargas" en su tercera, segunda y primera clases, Premio "Enrique Montbrún" a la Carrera Académica, Programa de Promoción al Investigador (PPI) y Programa de Estimulación de la Innovación y la Investigación (PEII).

El Dr. Ernesto José González Rivas es miembro de varias Sociedades Científicas y Profesionales, Portavoz de la Orden de la II Promoción de Licenciados de la Facultad de Ciencias (2017), Patrocinador de los Licenciados en Biología de la Facultad de Ciencias (2002, 2008 y 2018), Árbitro en 36 revistas científicas nacionales e internacionales. Fue director del Instituto de Biología Experimental de la UCV (período 2011-2019) y Jefe del Laboratorio de Limnología (1995 - actualidad).

También fue jefe del Departamento de Ecología de la Facultad de Biología de la Facultad de Ciencias de la UCV (2006-2008).

Es el Punto Focal Nacional de Venezuela en el Programa de Agua de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS), y lo ha sido desde 2006.