

H₂O EN ESTADO VULNERABLE

DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED



Ministerio de
Educación
Presidencia de la Nación



Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura

PRESIDENTA DE LA NACION
Cristina FERNÁNDEZ DE KIRCHNER

MINISTRO DE EDUCACIÓN
Alberto SILEONI

SECRETARIA DE EDUCACIÓN
María Inés ABRILE de VOLLMER

SECRETARIO DEL CONSEJO FEDERAL DE EDUCACIÓN
Domingo DE CARA

SECRETARIO DE POLÍTICAS UNIVERSITARIAS
Alberto DIBBERN

SUBSECRETARIO DE PLANEAMIENTO EDUCATIVO
Eduardo ARAGUNDI

SUBSECRETARIA DE EQUIDAD Y CALIDAD
Mara BRAWER

INSTITUTO NACIONAL DE FORMACIÓN DOCENTE
Graciela LOMBARDI

DIRECCIÓN NACIONAL DE FORMACIÓN DOCENTE E INVESTIGACIÓN
Andrea MOLINARI

COORDINADORA DE INVESTIGACIÓN EDUCATIVA DEL INFED
Ana PEREYRA

PRESENTACIÓN

Durante el año 2010 en el Instituto Nacional de Formación Docente se desarrolló la primera etapa del dispositivo Escritura en Ciencias que contó con la participación de profesores de institutos de formación docente de las provincias de Buenos Aires, Catamarca, Chaco, Córdoba, Corrientes, Entre Ríos, Formosa, La Pampa, La Rioja, Neuquén, Salta, San Luis, Santa Cruz, Santa Fe, Santiago del Estero, Tierra del Fuego y Tucumán.

Inspirada en un programa del Sector Educación de la Oficina de UNESCO, Montevideo denominada *Docentes Aprendiendo en Red*, la propuesta de Escritura en Ciencias conforma una experiencia innovadora en nuestro país, reuniendo a 30 profesores de diferentes provincias que, a través de un trabajo grupal, llevan a cabo la escritura de 6 textos sobre contenidos de problemáticas actuales de las ciencias naturales. La selección de los temas y de los expertos investigadores se logró gracias al aporte y colaboración del comité de la revista Ciencia Hoy que auspicia esta línea de trabajo.

Esta experiencia se desarrolló a lo largo de un año mediante un dispositivo semipresencial, en el cual los grupos de estudio se reúnen periódicamente orientados por coordinadores de escritura y asesorados por destacados investigadores de nuestro país, estudian e investigan sobre los temas. Los profesores llevan adelante un proceso de elaboración de los textos, mediante un uso intensivo de aula virtual realizando intercambios muy activos que tienen como meta específica producir libros sobre temas científicos, en un ejercicio de trabajo colaborativo.

Escritura en Ciencias pretende inscribirse dentro de las tendencias actuales de los dispositivos de formación docente, desplegando un *trayecto de formación* donde se implica la experiencia y la práctica de los participantes, en un proceso conjunto de construcción de conocimiento. Desde esta propuesta se asume que escribir profesionalmente es una práctica y un aprendizaje continuo, que supone un arduo trabajo, que se pone en juego en diferentes contextos sociales, y por eso, frente a cada nueva situación es preciso 'reaprender' las maneras de escribir propias del texto o disciplina que lo demanda.

El desarrollo actual de políticas de formación marca un tiempo de transición y de cambios que empiezan a modificar las lógicas de formación de los docentes. La

característica de este dispositivo de Escritura en Ciencias traduce algunas de las propuestas actuales de formación en investigación, tomando en cuenta un conjunto de variables que contribuyen a la formación sostenida de los profesores.

Es sabido que la escritura académica constituye un aspecto relevante de este proceso. Cuando se investiga, la escritura interviene de diferentes maneras y son variados los modos en que se requiere su uso: escribir planes de escritura, sintetizar lecturas, tomar notas, desarrollar ideas y conceptos, articular discusiones teóricas, son algunas de las muchas operaciones que se activan para la elaboración de un texto. Estas cuestiones se enlazan solidaria y necesariamente dentro del proceso que demanda la tarea y la producción intelectual. El trabajo alcanza otro nivel de complejidad cuando se asocia a un proceso de construcción colectiva, el cual supone algunas condiciones inexcusables para su realización:

- Los trayectos formativos, posibilidad de continuidad y persistencia sobre el trabajo propios y el de otros

Sabemos que durante mucho tiempo en la Argentina los espacios de formación se caracterizaron en propuestas a los docentes para que llevaran por su cuenta la aplicación de grandes principios o cuerpos teóricos que se desplegaban en esos espacios. Algunos rasgos predominantes de esta formación que marcaron todo un estilo de capacitación se reconoce en el predominio del formato 'curso' y la capacitación en cascada que, por efecto derrame, debía llegar desde un centro que se encuentra arriba hacia el lugar más lejano, por lo general, el espacio del aula.

Los problemas fundamentales que conllevan esas lógicas son la intermitencia, la fragmentación y superposición de perspectivas que en no pocos casos dificultan la aplicación que los docentes intentan hacer con las propuestas teóricas. Hay suficiente literatura sobre estas cuestiones y sus consecuencias, entre las más relevantes, la escasa huella que esas modalidades han dejado para las posibilidades de un trabajo enriquecedor con las prácticas docentes.

La idea de *Trayecto formativo* se torna superadora de algunas tradiciones asentadas en la realización de un curso. Posibilita el cumplimiento de procesos formativos y transcurre en una temporalidad de continuidad que permite a los protagonistas ser hacedores de una tarea o producción junto a otros.

- Énfasis en las necesidades prácticas de los docentes en los programas de formación

Paulatinamente se intenta poner en foco ‘las necesidades prácticas’ de los docentes como centro de los programas de formación en servicio. Esta tendencia muestra un movimiento opuesto a aquellas que se presentan alejadas de esas necesidades y que sobredimensionan aspectos teóricos con escaso vínculo con la producción durante la oferta de formación.

En esta propuesta, la práctica de la escritura se coloca en el centro, concebida más que como una *macrohabilidad* que hay que dominar, como una herramienta al servicio del pensamiento epistémico, que trabaja en la adecuación y reorganización de géneros discursivos primarios, para expresar saberes y conocimientos, en *géneros secundarios pertinentes* a situaciones comunicativas con otro nivel de complejidad. Argumentar, explicar, describir, ejemplificar, manejar el discurso de autoridad, referir a fuentes, de manera directa o indirecta, incluir y presentar una evidencia empírica son algunas de las operaciones específicas de este tipo de escritura. Constituyen estrategias puntuales que requieren aprendizaje, reflexión y desarrollo autónomo.

Escritura en Ciencias se convierte en un espacio y oportunidad para que los profesores puedan desarrollar la práctica de la escritura ligada a contextos muy específicos del campo científico.

- Los docentes son sujetos de saber y corresponsables de los procesos de formación

Las posiciones llamadas *aplicacionistas*, que conciben a los profesores como prácticos, ejecutores de algún tipo de teoría, les otorgan un lugar subsidiario y subalterno que termina invisibilizando capacidades y alternativas de un trabajo más creativo vinculado con el conocimiento.

Un presupuesto que se encuentra en la base de las nuevas propuestas, además de verificar la ineficacia de las que hemos mencionado, es la idea de que los docentes son sujetos de saber y corresponsables de los procesos de formación. Y este reconocimiento no es menor y constituye una pieza clave para comprender el sentido de las políticas actuales de formación docente.

La idea que los profesores pueden constituirse en autores de textos que abonen espacios formativos implica un cambio de su estatuto en la manera de concebir su

trabajo. Esta es una nota distintiva del proyecto de Escritura en Ciencias y uno de los propósitos fundamentales. Este cambio de estatuto sobre su trabajo conlleva también la idea de la corresponsabilidad en sus procesos de producción y formación.

- El desarrollo de la práctica de escribir a lo largo de todo un proceso de formación

Si bien existe consenso sobre la puesta en foco de las necesidades prácticas de los docentes, es preciso tener en cuenta que este deseo presenta una serie de matices a la hora de traducirlo a propuestas concretas para la formación continua. Las propuestas de formación continua requieren para el desarrollo profesional atender a cuestiones de ¿Cómo hacer aparecer la tarea y la realización de una producción a lo largo de todo un proceso de formación que, sin desestimar cuestiones teóricas, ponga especial énfasis en las maneras prácticas de resolverlo?

Inspirado en esas ideas precedentes, Escritura en Ciencias concibe a la producción de los textos como el hilo articulador y conductor de todo el proceso del trayecto formativo. Todos los otros elementos del dispositivo colaboran a modo de andamiaje para que cada producción pueda ser elaborada.

- El desafío de encontrar los mecanismos institucionales para que los docentes se constituyan en fuerza renovadora de las prácticas.

Existen numerosas propuestas de formación de modalidades presenciales o semi presenciales donde los docentes cuentan con tutorías y diferentes andamiajes que colaboran como sostén y apoyatura durante todo el proceso para favorecer la producción. Pero, como sostiene Flavia Terigi, constituye todo un desafío “encontrar los mecanismos institucionales para que esos docentes se constituyan en una fuerza renovadora de las prácticas”.

En esta propuesta, el reto se resuelve mediante un trabajo de articulación entre investigadores con los grupos de trabajo y las intervenciones de los orientadores de escritura, que entran en un andamiaje artesanal que procura leer y atender todo el tiempo a las necesidades de construcción que plantean los equipos de profesores. Esta actividad propone la idea de una estructura abierta y dinámica que se rearma continuamente, sin desestimar los propósitos y objetivos generales de esta línea de trabajo. Se trata de dispositivos que operan con otra temporalidad y que a

simple vista, se tornan más costosos económicamente. No obstante, esta aparente “lentitud” que acompaña intercambios muy activos, es la que genera condiciones para horadar y dejar huella perdurable y transformadora en las experiencias profesionales de los docentes.

- Las producciones combinan procesos investigativos y formativos

La confluencia entre investigadores, docentes y coordinadores de escritura reunidos en este dispositivo del INFED implica una apuesta por superar la escisión entre investigación y formación docente que ha caracterizado durante muchos años los modelos de la formación pedagógica. El vínculo de cooperación y acompañamiento a las producciones entre los distintos perfiles involucrados en el dispositivo de la primera edición, superó con creces las expectativas iniciales del equipo del INFED que generó el dispositivo.

Las producciones que se presentan a continuación expresan la potencialidad de un modelo hermenéutico de la formación docente frente a las limitaciones de concepciones aplicacionistas o academicistas.

Los textos abordan los siguientes temas:

- 1- Los plaguicidas, aquí y ahora
- 2- H₂O en estado vulnerable
- 3- Del gen a la proteína
- 4- La multiplicidad de la vida
- 5- Cerebro y memoria
- 6- La evolución biológica, actualidad y debates

Escritura en Ciencias trabaja por el desarrollo de la escritura profesional de los docentes sobre la convicción de que los profesores convocados manifiestan su capacidad para constituirse en autores de textos escritos vinculados con las ciencias, destinados a la consulta y estudio en las aulas de la formación.

Es nuestro deseo que estos textos producidos al calor de estos fecundos procesos de intercambios sean de ayuda y consulta permanente para profesores y estudiantes de Institutos y escuelas de nuestro país.

Ana Pereyra, Coordinadora del Área de Investigación del INFED
Liliana Calderón, Coordinación de Escritura en Ciencias, INFED

ESCRITURA EN CIENCIAS

H₂O **EN ESTADO VULNERABLE**

Autores:

Mónica Liliana Tuntisi
Andrea Beatriz Villalba
María Valeria Pereyra
Francisco Javier Alfaro
Marcelo Mario Miguel
David Gonzalo Yampa

Orientación y asesoramiento científico: Miguel Angel Blesa

Coordinación de Escritura: Alicia Vázquez

H₂O en estado vulnerable / Tuntisi Mónica Liliana ... [et.al.]. - 1a ed. - Buenos Aires: Ministerio de Educación de la Nación, 2012.

140 p. : il. ; 20x16 cm. - (Escritura en ciencias)

ISBN 978-950-00-0923-2

1. Ciencias Naturales.Enseñanza. I. Mónica Liliana, Tuntisi
CDD 507

Autores: Mónica Liliana Tuntisi, Andrea Beatriz Villalba, María Valeria Pereyra, Francisco Javier Alfaro, Marcelo Mario Miguel, David Gonzalo Yampa

Coordinación general: Ana Pereyra, Liliana Calderón

Revisión general del contenido: Antonio Gutierrez

Colaboración: Gabriela Giordano, Renata Colella

Profesores-coordinadores de escritura: Alicia Vázquez

Orientación y asesoramiento científico: Miguel Angel Blesa

Diseño editorial: Renata Kándico, Gaston Genovese www.estudiolate.org

Hecho el depósito que establece la ley 11.723

“Los textos de este libro son copyleft. El autor y el editor autorizan la copia, distribución y citado de los mismos en cualquier medio y formato, siempre y cuando sea sin fines de lucro, el autor sea reconocido como tal, se cite la presente edición como fuente original, y se informe al autor. La reproducción de los textos con fines comerciales queda expresamente prohibida sin el permiso expreso del editor. Toda obra o edición que utilice estos textos, con o sin fines de lucro, deberá conceder estos derechos expresamente mediante la inclusión de la presente cláusula copyleft.”

Fecha de catalogación: 06/03/2012

ÍNDICE

Introducción	21
Capítulo I: Físicoquímica de las aguas contaminadas	23
David Gonzalo Yampa y María Valeria Pereyra	
Introducción	23
Químicamente AGUA	24
Física y Química de la contaminación del agua	27
La trama Física de la contaminación de agua	29
¿Olores y sabores en el agua?	30
El agua en la mira: Turbidez, materia en suspensión, coloración, burbujas	30
¿Por qué aguas que parecen tener una mala calidad son aptas para el consumo humano?	33
La temperatura del agua, ¿cómo influye en su calidad?	33
Tensión Superficial e Hidrocarburos	34
Dos variables a tener en cuenta: PH y conductividad.	35
Cuando el rio suena hay flujos de corriente	37
Lixiviación y percolación.....	39
La trama Química de la contaminación del agua	40
Origen de los contaminantes químicos	40
Fuentes antropogénicas	40
Fuentes Naturales	40
Contaminación por compuestos inorgánicos	42
Sulfuros	42
Nitrógeno	42
Metales pesados	44
Niveles de metales pesados en agua potable	46
Contaminantes orgánicos	47
Parámetros para medir la cantidad de materia orgánica	47
Consideraciones fisicoquímicas finales de la contaminación del agua	48

Capítulo II: Biología de la contaminación del agua, una mirada

ecotoxicológica - Andrea Villalba	53
Introducción	53
Efectos biológicos de la contaminación acuática	53
Biodegradación y biotransformación: ¿sinónimos?	60
¿Por qué importa la Bioacumulación?	61
La utilidad de los Bioindicadores	61
Bioensayos: recetas con buenos resultados	66
Eutrofización: la obesidad del ambiente acuático	67
Algunas consideraciones sobre el agua subterránea y su contaminación	69
Contaminación del agua y evolución: para reflexionar	70

Capítulo III: Cuando el agua contamina, la salud enferma

Francisco Alfaro

Agua para beber ¿Dónde?	74
Aguas Residuales: ¿Cuál es su grado de contaminación?	76
El Agua que enferma	79
Bacterias transmitidas por el agua	80
Enfermedades provocadas por Virus cuyo vehículo es el agua	83
Protozoos de importancia en el agua	86
Contaminantes químicos	87
Productos agroquímicos.	87
Bifenil policlorados (C ₁₂ H ₁₀ -n)	88
Aldrín (C ₁₂ H ₈ Cl ₆); Dieldrín (C ₁₂ H ₈ Cl ₆ O)	88
Dioxinas (C ₁₂ H ₄ Cl ₄ O ₂) y Furanos (C ₄ H ₄ O)	89
DDT (C ₁₄ H ₉ Cl ₅)	90
Endrina (C ₁₂ H ₈ Cl ₆ O)	90
Clordano (C ₁₀ H ₆ Cl ₈)	91
Toxafeno (C ₁₀ H ₁₀ Cl ₈)	91
Heptacloro (C ₁₀ H ₅ Cl ₇)	92
Metales pesados	92
Nitratos	92
Toxinas cianobacterianas	92

Glifosato	93
Control e indicadores de la calidad del agua para el consumo humano	93
Marco Regulatorio	95
Legislación Provincial	97
Capítulo IV: Arsénico, un problema grave	99
Mónica Tuntisi	
La situación del Arsénico en Argentina	99
Métodos de depuración	100
Métodos para la remoción del arsénico en el agua	101
1- Separación sólido-líquido. 9 procesos diferentes	101
a) Ablandamiento con cal	101
b) Coagulación - Adsorción - Filtración	101
c) Coagulación - Filtración	101
d) Con sales de hierro y aluminio	102
e) Presencia de hierro y manganeso	102
f) Hidróxido férrico granular	102
g) Hierro con filtración directa	102
h) Alúmina activada	103
i) Intercambio iónico	103
2- Procesos de membrana	103
a) Electrodialisis inversa	103
b) Osmosis inversa	104
c) Nano-filtración	105
3- Procesos biológicos	106
a) Actividad bacteriana	106
b) Fitorremediación acuática	107
Capítulo V: Análisis del estado actual del agua en argentina con relación a la contaminación - Marcelo M. Miguel	111
Un panorama para la reflexión	111
Un primer paso: Definir conceptos	112
Casos paradigmáticos en Argentina	114

El ámbito de las industrias y su relación crítica con el agua	115
Cuando la producción genera contaminación	117
1- Las curtiembres y su impacto ambiental	117
2- Las papeleras en la mira	119
3- Peligro de contaminación del agua por actividad agropecuaria	121
4- El agua y los centros urbanos	122
5- La minería, impacto en las cuencas acuíferas	124
Política de control y gestión ambiental sobre el recurso agua con relación a la contaminación	125
Palabras Finales	128
Bibliografía	129

INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua es un tema con una larga historia de estudios científicos y producciones pseudocientíficas, que ha dado lugar a debates y controversias. Algunas de estas discusiones han rozado intereses de diversa índole, muchas veces contrapuestos, otorgándole a la temática un componente particular.

Con el objetivo de echar luz, en medio de este complejo contexto, queremos llegar a quienes tienen la responsabilidad de formar a futuros formadores de ciudadanos.

Así, alumnos y docentes de nivel superior de carreras con núcleo central en la Ciencias Naturales son los destinatarios de esta obra, en la que se busca, desde una mirada sistémica, acercar información necesaria para resignificar conocimientos. En consecuencia, este libro se constituye en un recorte actualizado del saber sobre la contaminación del agua, además de fuente de consulta permanente para leer y comprender la problemática, posibilitando al lector la adquisición de fundamentos para posicionarse críticamente.

En este sentido, el lector podrá encontrar aspectos que se relacionan con la contaminación del agua desde una mirada físico-química, biológica y su impacto en la salud humana, como así también los métodos actuales de remediación. Se abordarán además las implicancias que tienen sobre el tema los aspectos legales y las gestiones políticas actuales, para finalizar con el estudio de los casos más relevantes de contaminación del agua en la Argentina.

De esta manera, confluye la mirada de los autores en una producción colectiva, pero diseñada de forma tal que cada capítulo puede ser leído de manera independiente, ya que cada uno enfatiza un aspecto en particular.

Este libro será de utilidad en diferentes contextos, en donde se tomen posiciones y decisiones sobre el manejo del agua como recurso vital necesariamente gestionado con relación a la contaminación y sus impactos sobre nuestro ambiente.



CAPITULO I

Física-química de la contaminación del agua

David Gonzalo Yampa y María Valeria Pereyra

Introducción

El agua, sustancia que en sus diferentes estados y formando parte de sistemas variados, es determinante en la historia de la humanidad y acompaña a los seres vivos desde el mismo momento en que la vida surge en la tierra. Componente abundante de la superficie terrestre y, más o menos puro, forma la lluvia, los ríos, mares, y casquetes polares; es parte constituyente de todos los organismos vivos y aparece formando parte de muchos compuestos químicos.

Desde épocas muy antiguas la accesibilidad a este recurso determinó éxodo de pueblos, generación de ciudades y desaparición de ciertas culturas. El problema de la escasez de este recurso, y de su accesibilidad, ha aumentado notablemente en estas últimas décadas debido a la gran explosión demográfica y al avance industrial y tecnológico que ha tenido la humanidad.

El desarrollo de este capítulo se centrará en el análisis de aquellas sustancias que llegan al agua alterando sus características y cualidades y por lo tanto, limitando su utilización como recurso imprescindible para el desarrollo de la vida.

Químicamente AGUA

Molecularmente el agua está compuesta por dos elementos: el Hidrógeno y el Oxígeno, combinados mediante enlaces covalentes, las moléculas de agua interactúan entre sí formando Enlace Hidrógeno o Puente Hidrógeno, que disminuye las fuerzas de repulsión entre las moléculas. Esto permite que se encuentre en estado líquido a temperatura y presión ambiente, diferencia notable con otros hidruros análogos como el sulfuro de hidrógeno, metano y amoníaco. Así, el agua se considera una sustancia muy particular debido a las propiedades fisicoquímicas que presenta y que no se condicen con las reglas de generalidad para el grupo de hidruros del grupo VI de la Tabla Periódica, del cual forma parte.

En este apartado, definiremos tres conceptos clave: agua potable, contaminante y agua contaminada.

Curiosamente, cuando se trata de definir el agua, se hace hincapié en lo que no es, se dice que es incolora, inodora e insípida, pero esta afirmación solo es cierta para el agua pura, aquella que ha sufrido procesos por los que se eliminaron las sustancias que en ella se podrían encontrar disueltas.

Por lo anterior, se define como agua potable, apta para el consumo humano, *aquella que no contiene sustancias o cuerpos extraños de origen biológico, orgánico, inorgánico o radiactivo en tenores tales que la hagan peligrosa para la salud. Deberá presentar sabor agradable y ser prácticamente incolora, inodora, límpida y transparente.*- Art. 982 Código Alimentario Argentino (modificado por Resolución 494/94). Por lo tanto el agua potable tiene diferente sabor de acuerdo a la zona del país, debido al tipo y cantidad de sales disueltas en función a la composición mineral de los suelos.

El estudio del agua es fascinante, no solo por la abundancia y la diversidad en composición que existe en nuestro planeta, ni por lo importante que es para el desarrollo de la vida, sino porque presenta ciertas características que la hacen muy especial; entre ellas:

- El carácter disolvente. Por ello se entiende que el agua forma soluciones, por ejemplo con sustancias que constituyen las rocas; por lo que en la naturaleza no la encontramos en forma pura sino en forma de soluciones.
- Presenta una dilatación anómala. En estado sólido, a diferencia de muchas otras sustancias, si bien no aumenta su masa, el agua incrementa su volumen, modificándose su densidad; en estado sólido es menos densa que en estado líquido

- ya que el sistema en el cual cristaliza deja unos “huecos”, que son empaquetamientos menos densos, acrecentando su volumen en igual unidad de masa y disminuyendo por tanto su densidad. Este proceso es útil en la naturaleza en el caso de los casquetes polares ya que el hielo forma una película protectora del ecosistema acuático resguardándolo de las bajísimas temperaturas nocturnas.
- Con respecto a las temperaturas de fusión y ebullición, presenta valores anormalmente elevados respecto a los de los hidruros del grupo VI; la podemos encontrar en estado líquido en un rango de temperaturas que van de 0 a 100° C, lo que hace posible la vida.

El hombre utiliza este recurso en actividades como la agrícola, industrial, transporte marítimo y fluvial; pesca e icticultura, recreación y doméstica. Debido al perfil agroindustrial que presenta la Argentina es posible comprender el nivel de uso de los recursos hídricos con los que cuenta. Esta no constituye una cuestión menor si la pensamos aplicando el concepto de **Agua Virtual**, que refiere a la cantidad de agua que se usa para producir un bien o un servicio. Millones de metros cúbicos son necesarios en los procesos de fabricación y cultivo para cada uno de los pasos de la cadena de producción y transporte. Estos fenómenos son difícilmente perceptibles al ojo humano; son más evidentes si los tratamos en “minutos de grifo abierto” en lugar de contabilizarlos en metros cúbicos. Por ejemplo, 100 gramos de carne necesitan 10 metros cúbicos de agua o, lo que es lo mismo, el equivalente 714 minutos (12 horas) de un grifo abierto; en cambio, solamente son necesarios 145 minutos de grifo abierto para obtener 100 gramos de arroz.

Con relación a la utilidad del agua para la industria, su ingreso en las plantas requiere una serie de tratamientos determinados según la etapa del proceso. Por ejemplo, si se emplea para alimentar una caldera será de suma importancia controlar la dureza de la misma, esta está dada por las sales de calcio y magnesio presentes, así también serán tratadas aquellas aguas que salgan de la industria para evitar impactos ecológicos negativos.

Son muchas las sustancias que pueden llegar a las fuentes de agua por distintos motivos y alterar las propiedades y características de las mismas. Estas sustancias, cuya presencia no es habitual en las fuentes naturales, o su cantidad excede determinados límites, recibe el nombre de *contaminante*, éste término no solo engloba sustancias químicas sino también factores físicos y biológicos.

También existen sustancias cuya presencia en el agua se mantiene más o menos constante en el tiempo, denominadas sustancias conservativas, ya que su variación es ínfima. Éstas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Composición típica del agua de mar y potable.

Componente	Concentración (mg/kg)agua de mar	Concentración (mg/Kg)agua potable
Sodio	10760	6,3
Magnesio	1294	4,4
Calcio	413	15,0
Potasio	387	2,3
Estroncio	8	0,07
Ac. Bórico	26	0,015
Dióxido de silicio	3	13,1
Cloruro	19353	7,8
Sulfato	2712	11,2
Bicarbonato	142	58,5
Bromuro	67	0,014
fluoruro	1	0,10

Fuente: Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Nación, Transformaciones Químicas y Química Ambiental. Modulo II: La química ambiental. Autores. Cervelli de Vidarte, Corti, Drewes y Martinelli. Año. 2003

El pH es otro parámetro a tener en cuenta, el cual toma valores comprendidos entre 7,8 - 8,2 según el tipo de agua y está determinado básicamente por la cantidad de bicarbonato presente. Por lo tanto podemos definir *Contaminante de las aguas a cualesquiera formas de materia o energía cuya presencia, evacuación o liberación pueda causar daños a la biota.* (CONTROL DE LA CONTAMINACION DE LAS AGUAS * Luis Enrique Sánchez Departamento de Engenharia de Minas Escola Politécnica da Universidad de São Paulo)

Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), el agua está contaminada cuando su composición se haya alterado de modo que no reúna las condiciones necesarias para el uso al que se la hubiera destinado, en su estado natural.

Física y Química de la contaminación del agua

Los factores físicos y sustancias contaminantes del agua se pueden clasificar de muy diferentes maneras, teniendo en cuenta para ello su origen, su estructura química o bien el impacto sobre la biota. Una posibilidad bastante usada es agruparlos en los siguientes ítems, en donde se incluyen a los microorganismos que se tratarán en capítulos posteriores, analizando en este capítulo sólo algunos aspectos generales:

- a. **Microorganismos patógenos.** En este grupo se incluyen bacterias, virus, protozoos y otros organismos unicelulares que causan enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. que se incluyen en un grupo denominado enfermedades hídricas, ya que el medio por el cual llegan los microorganismos al hombre es el agua. En los países en vías de desarrollo se considera a las enfermedades producidas por estos patógenos como una de las causas de muerte prematura, sobre todo de niños. Los organismos llegan al agua a partir de las heces y restos orgánicos de personas infectadas. Uno de los parámetros o índices que se evalúan a la hora de determinar el grado de salubridad de un agua es el número de colonias de bacterias coliformes totales, que según la OMS, debe ser cero por cada 100 ml de agua analizada. Se desarrollará este tema en el capítulo 3.
- b. **Desechos orgánicos.** Se denomina así al conjunto de sustancias orgánicas que se origina en las heces tanto de humanos como de animales, generalmente de granjas, y está formado principalmente por carbono, oxígeno, nitrógeno y azufre. Estas sustancias pueden ser descompuestas por bacterias aeróbicas; es decir, en procesos de consumo de oxígeno. Durante el proceso de degradación de este tipo de desechos, si su cantidad es excesiva, la proliferación de bacterias agota el oxígeno indispensable para la supervivencia de la fauna y de la flora del ambiente. Para medir la cantidad de oxígeno presente y, de esta forma, indirectamente determinar el grado de contaminación por sustancias orgánicas, se utilizan como índices la cantidad de Oxígeno Disuelto (OD), o la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), que es el oxígeno que se consume en un determinado volumen de agua en un plazo fijo de tiempo (5 días), a una temperatura estándar (15°C) y en condiciones de oscuridad. Este cálculo indica la cantidad de materia orgánica presente en el agua: cuanta más hay, más activas estarán las bacterias aerobias, y más

oxígeno se consumirá. Por tanto si la DBO es alta indica contaminación por materia orgánica, por lo tanto, mala calidad de agua.

- c. **Sustancias químicas inorgánicas.** En este grupo están incluidos ácidos, sales de metales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si se encuentran presentes en cantidades altas pueden causar daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua en las industrias. Llegan al agua desde los efluentes industriales; por ejemplo, la vinaza de los ingenios o los residuos orgánicos desde las cítrcolas, entre otras.
- d. **Nutrientes vegetales inorgánicos.** Nitratos y Fosfatos son los compuestos solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad elevada inducen el crecimiento de algas y otros organismos provocando la eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, que utilizan el oxígeno en tal propósito, disminuyendo el disuelto en el acuifero, la vida de otros seres vivos se inhibe. El resultado es un agua maloliente e inutilizable.
- e. **Compuestos orgánicos.** En este grupo se incluyen moléculas orgánicas como petróleo, gasolina, aceites, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, etc. que acaban en el agua y permanecen, en algunos casos, largos períodos de tiempo, al ser poco o nada biodegradables. Entre ellos también se encuentra un grupo de compuestos denominado la Docena Sucia, que comprende doce sustancias químicas en las que se incluyen a pesticidas, PCBs, dioxina y furano. Por su alta toxicidad y persistencia fueron prohibidos durante la Convención de Estocolmo del año 2001 en la que se trató la regulación de los Compuestos Orgánicos Persistentes (COPS) (Consultar capítulo 3).
- f. **Sedimentos y materiales suspendidos.** Se incluyen en este conjunto partículas arrancadas del suelo y arrastradas a las aguas junto con otros materiales en suspensión. En términos de masa total, este conjunto constituye la mayor fuente de contaminación del agua. Al ser insolubles en agua estos compuestos provocan turbidez, que dificulta la vida de algunos organismos. Los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan lagos o pantanos y obstruyen canales, ríos y puertos.
- g. **Sustancias radiactivas.** En este grupo se incluyen isótopos radiactivos solubles que se biomagnifican a través de la cadena trófica.

- h. **Contaminación térmica.** El agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales eleva la temperatura de ríos o embalses produciendo lo que se denomina *shock* térmico, resultando la disminución de la capacidad del agua para retener el oxígeno y afectando la disolución de determinadas sustancias.

En la mayoría de los casos las variables mas consideradas para la valoración física y química del agua a partir de indicadores, son el pH, OD, DBO, una especie de nitratos o amonio, fósforo total y sólidos suspendidos totales. La ventaja de utilizar métodos físico-químicos para la determinación de la calidad del agua se basa en que sus análisis suelen ser rápidos y pueden controlarse con mayor frecuencia, a diferencia de los métodos biológicos, basados en la observación y medición de ciertas comunidades de seres vivos en las aguas. Por otra parte, la elección de las especies debe ser cuidadosa ya que de ésta depende la evaluación del recurso, que generalmente se realiza para un uso determinado, a diferencia de las físico-químicas que permiten una evaluación para diferentes tipos de uso. (Ver capítulo 2).

La trama Física de la contaminación de agua

El análisis físico del agua no se realiza con la frecuencia o prioridad con que se verifica el microbiológico (Chapman, 1996). Sus evaluaciones tienen lugar *in situ*, pero en general, éstas no alcanzan para definir el agua como potable. Habitualmente, la acción tóxica de los contaminantes físicos es más crónica que aguda y los cambios en el agua tienden a ser a largo plazo, a menos que se trate de una polución específica. Por ejemplo, es recomendado el monitoreo de la temperatura de muchos depósitos de agua, ya que su aumento disminuye la solubilidad de gases como el oxígeno y aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción.

El tratamiento de las variables físicas que tienen que ver con la contaminación de las aguas se organizará teniendo en cuenta, primero, las propiedades organolépticas, olores, sabores, turbidez y coloración, luego se analizarán otras cuestiones físicas fundamentales involucradas en la contaminación del agua, como la temperatura, el pH, la conductividad, los hidrocarburos y la tensión superficial, y para terminar, los flujos de corriente y la contaminación del agua.

¿Olores y sabores en el agua?

Las propiedades organolépticas son de difícil determinación cuantitativa, ya que se encuentran influenciadas por la subjetividad del operador. Para ser más específicos, el sabor y olor desagradables se deben a una variedad de razones tales como: excesiva concentración de algunas especies químicas como el hierro, aluminio o manganeso; vegetación en estado de putrefacción, condiciones de estanqueidad debido a la falta de oxígeno en el agua, o presencia de ciertas algas (López *et al.*, 2005).

Un ejemplo es la eutrofización del lago San Roque en Córdoba, la cual produce con frecuencia un olor parecido al del “gamexane” (aunque no posee esta sustancia), que se percibe habitualmente desde el paredón del dique o desde las orillas, como también un mal gusto y olor que suele poseer el agua corriente que llega a la ciudad de Córdoba (Kopta, 1999). Sin embargo, se admite que las aguas destinadas a la bebida deben estar exentas de olor perceptible. Para ello conviene considerar el valor umbral de olor, que está dado por la dilución máxima que es necesario efectuar al agua bajo análisis, con agua libre de olor, para que en la primera el olor sea apenas perceptible.

El agua en la mira:

Turbidez, materia en suspensión, coloración, burbujas

Si tenemos en cuenta el sentido de la vista, podemos hablar de turbidez, coloración, transparencia, propiedades relacionadas con las partículas en suspensión y las sustancias disueltas.

Se entiende como turbidez a la expresión de la propiedad óptica causante de la dispersión y la absorción de la luz en lugar de su transmisión en línea recta. Aunque no se puede establecer una relación clara entre el tipo de contaminación y la turbidez, en cambio podemos decir que esta última es producida por materia en suspensión, como arcilla o materias orgánicas e inorgánicas sutilmente fragmentadas, compuestos orgánicos solubles, plancton y otros microorganismos.

En la dispersión luminosa también intervienen el tamaño, la forma y el índice de refracción de las partículas. Los exámenes de turbidez son importantes porque evalúan la cantidad de luz que ingresa a diferentes profundidades y, con ello, el nivel hasta el cual es posible que se desarrollen organismos fotosintetizadores. Esta

propiedad también va a incidir sobre la salud humana puesto que las partículas en cuestión pueden resultar agentes patógenos difíciles de remover.

Se dice que el color aparente se manifiesta cuando no se ha removido la turbiedad, mientras que color verdadero del agua aparece en caso contrario, siendo las sustancias solubles las responsables de este fenómeno. La aparición de coloración es indicador de baja calidad del agua. Hay tres métodos de examen de color regidos por normas oficiales, UNE-EN ISO 7887/1995: Calidad del Agua. Examen y Determinación del Color; el examen del color aparente mediante observación visual de una muestra de agua en una botella obteniéndose una primera indicación del grado de color del agua; la determinación del color real de una muestra con instrumental óptico, aplicable a aguas no tratadas (las que son tomadas de los acuíferos naturales y consideradas potables por naturaleza), potabilizadas e industriales débilmente coloreadas; y la determinación del color por comparación visual con soluciones patrón de hexacloroplatinato, en donde se determina la intensidad del color amarillo de la muestra en comparación visual con una curva estándar de cloroplatinato de potasio, método aplicable a aguas no tratadas y potabilizadas.

Es sabido también que las longitudes de onda más bajas y más altos son los que se absorben mejor, por debajo de unos cuantos metros de profundidad podríamos encontrar apenas longitudes de onda verdes y amarillas. Los responsables de la absorción de las longitudes de onda azules y rojas son los materiales orgánicos y, por ejemplo, en las aguas limpias no contaminadas, el color amarillo se debe a sustancias húmicas; los colores rojizos se deben a compuestos de hierro y las tonalidades negras a la presencia de manganeso. Colores indeseables son el azul o azul-verdoso, asociados a presencia de cianobacterias, lo que determina la necesidad de control de calidad de agua.

En la práctica se utiliza el Disco de Secchi para determinar el color aparente de un cuerpo de agua, al introducirlo en ella es posible medir la turbiedad, de acuerdo a los siguientes rangos:

- < 0.20 m agua demasiado turbia (lodosa). Si es por fitoplancton elevada concentración de algas, con baja en el nivel de O₂. Si es por turbidez, baja la producción.
- 0.20 -0.30 m rango intermedio (inicio de problemas)
- 0.30 -0.45 m si es por fitoplancton, rango óptimo
- 0.45 -0.60 m fitoplancton escaso
- 0.60 m agua demasiado clara, productividad inadecuada hay el peligro de crecimiento de malezas acuática

Por ejemplo, si hay exceso de humus en dilución, el agua se torna color café o té dependiendo del tipo de suelo. El color café también se encuentra en bosques y zonas pantanosas o en lugares en los que se fertiliza con excrementos; el hierro, a su vez, produce coloración amarillenta. Si el color es café, producido por humus, con lecturas menores de 0.20 m del disco Secchi, la calidad del agua no es mala pero produce reducción en la entrada de luz y muerte de organismos bénticos. El fitoplancton da color café, café-verdoso, café-amarillento, amarillo, verde (Chang Gómez, s.f.).

Como bien se dijo, estas propiedades están muy relacionadas con la materia en suspensión. Pero además, los sedimentos originados por los sólidos suspendidos, destruyen los lugares de alimentación y reproducción de animales acuáticos al mismo tiempo que inciden directamente obstruyendo y recubriendo lagos, represas, ríos y bahías; y afectando a la hidratación de los animales que abrevan de esos acuíferos.

Las partículas totales, que son impurezas del agua, se pueden clasificar como partículas no filtrables o en suspensión, filtrables o disueltas y una tercera posibilidad es el caso intermedio que corresponde a los coloides. En general los coloides no tienen un límite fijo de tamaño y se suelen estudiar bajo un enfoque fisicoquímico teniendo en cuenta sus propiedades.

Los sedimentos son reconocidos como fuente de contaminantes en los sistemas acuáticos ya que pueden ser introducidos en los mismos y acumularse por diferentes vías, incluyendo el vertido de efluentes conteniendo químicos y otros productos provenientes de diversas actividades urbanas, industriales y agrícolas. Los sedimentos de aguas dulces desempeñan un importante rol ecológico al mediar en el intercambio de químicos entre las fases particulada, disuelta y biológica.

Por ejemplo, estudios realizados en el Río Salado inferior en la provincia de Santa Fe, que recibe el aporte de distintas industrias (principalmente curtiembres y talleres mecánicos) y productos de actividad hortícola y agrícola, mostraron que el contenido de Cr, Cr (VI) y Cu fue mayor a los niveles guía en sedimentos y en agua. Un creciente interés por conocer el grado de la toxicidad del sedimento, ha generado una gran documentación sobre ecotoxicología (Andreotti *et al.*, 2006).

Continuando con el análisis de las propiedades observables, es necesario señalar que en un acuífero también se pueden advertir burbujas en el fondo del mismo generadas por gases como metano, butano, CO₂. La sobreabundancia de éstos se debe a la presencia de organismos descomponedores en el fondo. La espuma es común en las piscinas de cultivo intensivo debido a la aireación y alimentación. Si la

tasa de fotosíntesis es alta se puede encontrar espuma, pero muchas veces la película superior puede producirse por polen. En depósitos de aguas claras (de especies bioacuáticas) con elevada turbidez se hallan algas bénticas; cuando se forman burbujas en el fondo arrastran sedimento y algas que no son buenas para la calidad de agua (Chang Gómez, s.f.).

En muchos ríos de la Argentina como el Río Salí en la provincia de Tucumán y los ríos Chico, Medinas, Gastona y Pueblo Viejo, que descienden del macizo del Aconquija y vierten sus caudales al dique frontal de Río Hondo, se observa que la carga de impurezas ha aumentado bruscamente a causa de la erosión acelerada de campos de cultivos, deforestación, construcciones y explotaciones mineras, afectando la limpieza del agua (Wetzel, 1981, Chapman, 1996, Bonelli *et al.*, 2007).

¿Por qué aguas que parecen tener una mala calidad son aptas para el consumo humano?

En el medio natural el agua dista mucho de ser pura y presenta propiedades específicas que afectan a los sentidos, lo mismo ocurre con el agua destinada al consumo humano. En Córdoba, curiosamente, el agua no cumple con las condiciones que imponen las normas de la OMS pero y pese a que “el agua no cumple con las cualidades de ser inolora e incolora es completamente apta para el consumo humano” (Dávila, 2010).

La temperatura del agua, ¿cómo influye en su calidad?

Bien podría ser incluida dentro de las propiedades organolépticas, pero por su importancia, merece un apartado especial ya que las variaciones de temperatura en el agua pueden afectar los procesos vitales que implican reacciones químicas y la velocidad de éstas. Así, la demanda de oxígeno en presencia de altas temperaturas es particularmente crítica, puesto que el agua “caliente” posee una capacidad menor para retener oxígeno disuelto que el agua fría.

Los ecosistemas acuáticos próximos a las centrales eléctricas están sujetos no solo a los efectos de una temperatura elevada, sino también a los choques térmicos de cambios rápidos en temperatura, lo que afecta la actividad y velocidad de natación de los peces, con la reducción de la capacidad de capturar su alimentos.

Por otro lado, los mecanismos reproductores, como el desove, están accionados por cambios de temperatura por lo que fuertes variaciones térmicas en el agua pueden afectar este ciclo.

La temperatura desempeña en todos los procesos lexicológicos un papel esencial ya que al aumentar, acelera los procesos químicos. Las temperaturas letales para cada especie deben establecerse experimentalmente porque dependen en forma directa de la temperatura de aclimatación y la velocidad con que ésta aumenta. A partir de los 33 °C los peces comienzan a manifestar un comportamiento anómalo y a valores menores de 5°C corresponde a temperaturas de volteo. (Bistoni *et al.*, s.f.). Las temperaturas altas son más favorables para organismos patógenos, por lo que una frecuencia baja de enfermedad en los peces podría convertirse en mortalidad masiva.

Tensión Superficial e Hidrocarburos

La tensión superficial es una propiedad de las superficies que limitan dos fases y se define como la fuerza de tracción que se ejerce en la superficie del líquido tendiendo siempre a reducir la extensión de dicha superficie, deformándola. La tensión superficial del agua máxima es $\gamma = 72,75 \text{ Dy/cm}$ a 20°C y disminuye con la temperatura hasta alcanzar un valor nulo en el punto crítico. La presencia en el agua de algunos cuerpos (llamados tensoactivos) altera la tensión superficial. Entre ellos se pueden distinguir cuerpos hidrófobos e hidrófilos y su presencia se debe a vertidos urbanos e industriales.

Un detergente típico de lavandería contiene 18 % de LAS (sulfonatos lineales de alquilo); 50 % de tripolifosfato y el resto contiene llenadores inertes (blanqueadores, perfumes etc.) Si bien son biodegradables tienen efectos contaminantes tales como la formación de espumas que paralizan los procesos de depuración natural o artificial, disminución de la solubilidad del oxígeno y/o aumento del contenido de fosfato en las aguas de desecho, lo que favorece el proceso de la eutrofización (López *et al.*, 2005).

Cuando hidrocarburos y aceites entran en contacto con el agua, esparciéndose como manchas en la superficie, afectan de igual manera al lugar físico en donde se producen, como a animales y vegetación presentes en esa zona. Así por ejemplo, en un derrame de petróleo sobre el mar se ven afectados primeramente los productores debido a que la mancha de petróleo en la superficie no les permite la entrada del sol

y por lo tanto la realización de fotosíntesis, afectando el zooplancton, disminuyendo su disponibilidad de alimento. Esta menor cantidad de alimento afecta también a los peces que consumen zooplancton y a las especies carnívoras.

Además, los componentes pesados del petróleo que se depositan en el fondo del mar pueden contaminar cangrejos, ostras, etc., matándolos o tornándolos inadecuados para el consumo humano. Por otro lado, afectan a las aves marinas, mamíferos y reptiles acuáticos provocándoles la muerte por ingestión o por intentar limpiarse.

Pero el efecto tóxico de los hidrocarburos depende de la cantidad y estado del aceite, el tiempo de exposición, los factores ambientales y la sensibilidad de los organismos del ecosistema impactado. Ante un derrame de petróleo, las plantas manifiestan daños iniciales como muerte del follaje y tejidos, aunque algunas especies se regeneran a través de tejidos meristemáticos; en general, la comunidad vegetal responde a la contaminación con un cambio en la composición de especies. En el caso de los ecosistemas de humedales, algunas especies sufren daño foliar al entrar en contacto con el aceite, mientras que otras permanecen relativamente exuberantes y vigorosas (García-López *et al.*, 2006).

Dos variables a tener en cuenta: pH y conductividad

La conductividad en los cuerpos de agua dulce se encuentra primariamente determinada por la geología del área a través de la cual fluye. Por ejemplo, aguas que corren en sustratos graníticos tienden a tener menor conductividad, ya que los mismos están compuestos por materiales que no se ionizan. Descargas de aguas residuales suelen aumentar la conductividad debido al aumento de la concentración de Cl^- , NO_3^- y SO_4^{2-} u otros iones. Debe tenerse en cuenta que los derrames de hidrocarburos, compuestos orgánicos como aceites, fenol, alcohol, azúcar y otros compuestos no ionizables, aunque sí contaminantes, no modifican mayormente la conductividad (Goyenola, 2007). Desde el punto de vista ecológico el aumento o disminución de la conductividad se encuentra relacionada con las variaciones en la densidad de algunas poblaciones acuáticas.

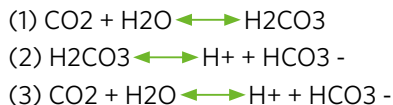
La conductividad puede relacionarse a la pureza química del agua. Mientras más pura es el agua, menor es la concentración de electrolitos en ella y por lo tanto, mayor es la resistencia del medio a la transmisión de corriente eléctrica. La cantidad de sólidos disueltos en una solución, la eficiencia de procesos de tratamiento de

agua y la concentración de sales en una salmuera o salar son factores que pueden modificar esta propiedad.

La conductividad de aguas para usos domésticos puede tener valores muy cerca de los que presentan las fuentes de aguas locales. Mientras que algunas descargas industriales tienen valores de conductividad de alrededor de 10,000 μS . (Massol *et al.*, 2002).

Con respecto al pH, se puede decir que en aguas naturales, éste varía entre 6 y 9. Según Massol (2002) en el caso de aguas oceánicas, donde el sistema de amortiguación de carbonato y bicarbonato opera efectivamente, el pH varía dentro de unos límites estrechos (8.1 ~ 8.3). En aguas cercanas a la costa, el pH de agua de mar se puede alejar del valor promedio indicado por efecto de la actividad fotosintética, la respiración celular y el efecto de descargas de origen antropogénico, mientras que en aguas interiores las variaciones en pH son grandes. El pH de lagos alcalinos puede tener valores mayores a 10 ó 11 unidades, mientras que el pH en algunas ciénagas o pantanos puede ser menores de 4.0.

La principal fuente del ión hidronio en cuerpos de agua naturales es el ácido carbónico (H_2CO_3). El sistema de alcalinidad tiene interacciones importantes con los procesos de fotosíntesis y respiración, las que se ilustran en las siguientes ecuaciones:



Según el CO_2 es incorporado en la fotosíntesis, su concentración en agua puede ser restituida por difusión molecular de CO_2 atmosférico o puede ser repuesto por el sistema de alcalinidad a través de la disociación de bicarbonato (ecuación 1). En aguas con alta productividad, el proceso fotosintético puede agotar los niveles de CO_2 libre, a tal punto que el crecimiento de plantas acuáticas se ve limitado y el pH puede alcanzar valores mayores a 9. Por otro lado, los procesos de respiración aerobia y anaerobia generan CO_2 , causando que el pH disminuya.

La mayoría de las especies ícticas viven principalmente en aguas con pH entre 6 y 8 y a valores mayores de 9 se daña la superficie de los tejidos y se produce una excesiva secreción de mucus. Sin embargo, la resistencia a la variación es diferente

según las especies. Algunas son extremadamente sensibles y otras soportan notables diferencias (Bistoni *et al.*, 1999)

Cuando el pH aumenta, también se incrementa la frecuencia respiratoria de los peces afectados; las algas proliferarán consumiendo nutrientes en desmedro de las plantas y las bacterias encontrarán un medio adecuado para multiplicarse. Estas últimas, favorecidas por el estrés de los peces, aprovechan el medio para convertirse en patógenas y desatar una bacteriosis.

Cuando el río suena hay flujos de corriente

El agua superficial está influenciada por la composición de los terrenos que atraviesa, de la misma forma que las características químicas de las aguas subterráneas están muy influenciadas por el sistema de flujo y por la litología del acuífero. En su tránsito por diferentes zonas, el agua sufre una serie de procesos modificadores de su química, a saber, intercambio iónico con arcillas que aumentan su contenido en sodio y reducción de calcio y/o magnesio, hidrólisis de silicatos con precipitación de SiO₂ y neoformación de arcillas, precipitación de carbonatos que disminuyen el contenido en calcio y magnesio, mezcla de aguas de distintos tipos, afluentes, reducción de sulfatos, etc.; que se traducen en general en modificaciones del pH, del contenido de alcalinotérreos, de SiO₂ y de los sólidos totales disueltos (Moreno de Guerra, 1979).

La principal característica de la contaminación de fuentes no localizadas es que los mecanismos primarios de transferencia de la tierra al agua son impulsados por los procesos hidrológicos que dan lugar a la escorrentía de nutrientes, sedimentos, plaguicidas, etc. Ello es importante no sólo porque ayuda a comprender la naturaleza de la contaminación, sino también porque la elaboración de modelos de los procesos hidrológicos es el mecanismo principal a través del cual se estiman y prevén la escorrentía y los efectos acuáticos.

Un concepto a considerar es el de la conductividad hidráulica que es una característica física del suelo y mide la capacidad del mismo de dejar pasar el agua, en condiciones de saturación, a través de los espacios naturales existentes en el mismo. La conductividad hidráulica depende de la textura del suelo, de su composición mineral y orgánica, etc. y es central en el estudio de las aguas subterráneas. Este concepto no debe confundirse con el de "porosidad", que mide el volumen del espa-

cio vacío que hay en un suelo. La conductividad hidráulica tiene en cuenta hasta qué punto la porosidad está formada por espacios comunicados entre sí que permiten el paso del agua. Para comprenderlo mejor, decimos que, por ejemplo, la espuma de estireno es muy porosa pero impermeable, mientras que una esponja es al mismo tiempo porosa y permeable.

La velocidad de infiltración, es decir la velocidad con que el agua superficial penetra en el suelo (cm/h) es uno de los términos más comunes de las ecuaciones hidrológicas utilizadas para calcular la escorrentía superficial. Infiltración no es lo mismo que conductividad hidráulica; ya que la primera está controlada fundamentalmente por fuerzas capilares del suelo que, a su vez, responden a las condiciones dominantes de humedad y textura del mismo, grado de compactación de la superficie, etc. La infiltración varía entre distintos episodios de lluvia y dentro de cada uno de ellos, en función de factores como la humedad previa del suelo, la vegetación existente, etc. En general, la velocidad de infiltración comienza con un valor elevado durante una precipitación, y disminuye a un valor bajo cuando el suelo se ha saturado.

La interacción entre velocidad de infiltración e intensidad de precipitación regula en buena parte el volumen de la escorrentía superficial, entendida como el volumen de agua disponible en la superficie después de descontadas todas las pérdidas (incluyen la evapotranspiración de las plantas, el agua que se almacena en depresiones superficiales causadas por las irregularidades de la superficie del suelo, y el agua que se infiltra en el suelo). Las tormentas de gran intensidad suelen producir abundante escorrentía superficial, pues la intensidad de la precipitación supera con creces la velocidad de infiltración. De la misma manera, en las zonas de lluvias monzónicas y de tormentas, la duración e intensidad de la precipitación suele superar la capacidad de infiltración.

La destrucción de la vegetación superficial protectora y la compactación del suelo, sobre todo en zonas tropicales, da lugar a importantes fenómenos de erosión provocada por el gran volumen de la escorrentía superficial. La escorrentía superficial es la fuente principal de productos químicos agrícolas, desechos animales y sedimentos en los cauces de las vías de agua.

Lixiviación y percolación.

La erosión y la lixiviación de suelos pueden mover grandes cantidades de nutrientes, iones y compuestos químicos a cuerpos de aguas subterráneas, superficiales y zonas costeras (Dojlido y Best, 1993). Los nutrientes, especialmente el nitrógeno y el fósforo pueden crear condiciones locales de eutrofización y como resultado, generar eventos de anoxia, contaminación y mortandad masiva de poblaciones acuáticas.

Los efectos físicos químicos de la lixiviación y/o percolación más serios son: incremento de acidez, elevadas concentraciones de metales pesados y reactivos, materiales en suspensión, efecto en los sedimentos de fondo, etc. Estos efectos son, por un lado, generalmente adversos y limitan el uso de los cuerpos de agua contaminados, afectando directamente a la vida acuática, a los humanos y animales al consumir agua contaminada, o indirectamente (vía cadena alimenticia), al consumir productos de cultivos irrigados con aguas contaminadas. Por otro lado los daños a la infraestructura económica (corrosión de alcantarillado y sistemas de suministro de aguas, contaminación y alteración de campos y suelos de cultivo, etc.), son también posibles.

Los procesos de oxidación y de lixiviación son afectados por la mineralogía, textura y granulometría del material. La superficie total expuesta a la oxidación y lixiviación se amplía miles de veces con la disminución del tamaño de la roca original por efecto de trituración y molienda. Las concentraciones reales de metales en el DAR (Drenaje Ácido de Roca, o de residuo minero-metalúrgico, es el flujo de contaminación química inorgánica) están regidas por factores dependientes del lugar, como flujo de aireación, bacterias oxidantes, flujo de agua y presencia de agentes neutralizantes. Por ello, para poder prever las descargas futuras de metales de los desmontes, colas de concentración y otros residuos de actividades mineras, es necesario investigar todos los parámetros relevantes del material que influyen en los procesos de oxidación y lixiviación. (Unidad Sectorial de Medio Ambiente, 2001).

Los suelos poseen diferente susceptibilidad a la lixiviación de nitratos, siendo usualmente más elevada en los de textura gruesa. En los suelos arcillosos, las grietas y otros espacios de flujo preferencial permiten transportar directamente nitratos a la capa freática. Los suelos bajo siembra directa, con canales estabilizados formados por raíces o lombrices, pueden presentar el mismo efecto. El riego incrementa el riesgo potencial de la contaminación de capas freáticas con nitratos, ya que los

excesos de agua, ya sea por este motivo o por precipitaciones elevadas, favorecen el movimiento de nitratos hacia la profundidad del perfil (Lavado *et al.*, 2009).

Un factor importante a considerar con relación a la contaminación de agua subterránea es la composición química de los suelos, la capacidad de lixiviación de los mismos, la altura de la columna de suelo involucrada en el sistema. Por ejemplo en Alberti, provincia de Buenos Aires, el riesgo potencial de lixiviación anual es bajo, siendo menor con lluvias por debajo del promedio. Sin embargo, el índice de nitratos disponibles de ser lixiviados es alto, lo que sugiere su posible acumulación en los estratos superiores del suelo, que son susceptibles a lixiviarse de existir un ingreso importante de agua en el perfil. Para un año con precipitaciones superiores al promedio, el riesgo potencial de lixiviación anual pasa a ser moderado. La combinación de nitratos susceptibles a lixiviarse y el exceso de agua generan el riesgo potencial de lixiviación (Lavado *et al.*, 2009).

La trama Química de la contaminación del agua

- Origen de los contaminantes químicos

El origen de los contaminantes acuíferos es muy variado. Son producidos por actividades como las domésticas, industriales y agrícolas, que pueden llegar a las aguas subterráneas, por filtración y percolado. Los contaminantes que llegan a los cursos de agua pueden proceder de fuentes naturales, como es el caso del arsénico o antropogénicas, siendo ésta última la de mayor relevancia en la actualidad.

El desarrollo económico del país, acompañado por la industrialización y el incremento en el desarrollo de nuevas técnicas agrarias suponen una mayor utilización del recurso agua y por lo tanto también una mayor generación de residuos contaminantes, el transporte fluvial y marítimo no dejan de tener su impacto en el recurso.

- a. **Fuentes Naturales.** Generalmente las fuentes de contaminación natural son dispersas o también llamada por algunos autores como no puntuales, y no provocan concentraciones elevadas de contaminantes salvo por acumulación en la cadena trófica, caso por ejemplo del mercurio.
- b. **Fuentes antropogénicas.** Existen cuatro puntos principales de contaminación antropogénica:
 1. **Industrial.** Según el tipo de industria se producen distintos tipos de residuos. Normalmente en los países desarrollados muchas industrias poseen eficaces

sistemas de depuración de las aguas, sobre todo las que producen contaminantes más peligrosos, como metales tóxicos. En algunos países en vías de desarrollo la contaminación del agua por residuos industriales es muy importante. A modo de ejemplificar se presenta la siguiente.

Tabla 2. Contaminación del agua por residuos industriales

Sector industrial	Substancias contaminantes principales
Construcción	Sólidos en suspensión, metales, pH.
Minería	Sólidos en suspensión, metales pesados, materia orgánica, pH, cianuros.
Energía	Calor, hidrocarburos y productos químicos.
Textil y piel	Cromo, taninos, tenso activos, sulfuros, colorantes, grasas, disolventes orgánicos, ácidos acético y fórmico, sólidos en suspensión.
Automoción	Aceites lubricantes, pinturas y aguas residuales.
Navales	Petróleo, productos químicos, disolventes y pigmentos.
Siderurgia	Cascarillas, aceites, metales disueltos, emulsiones, sosas y ácidos.
Química inorgánica	Hg, P, fluoruros, cianuros, amoníaco, nitritos, ácido sulfhídrico, F, Mn, Mo, Pb, Ag, Se, Zn, etc. y los compuestos de todos ellos.
Química orgánica	Organohalogenados, organosilícicos, compuestos cancerígenos y otros que afectan al balance de oxígeno.
Fertilizantes	Nitratos y fosfatos.
Pasta y papel	Sólidos en suspensión y otros que afectan al balance de oxígeno.
Plaguicidas	Organohalogenados, organofosforados, compuestos cancerígenos, biocidas, etc.
Fibras químicas	Aceites minerales y otros que afectan al balance de oxígeno.
Pinturas, barnices y tintas	Compuestos organoestámicos, compuestos de Zn, Cr, Se, Mo, Ti, Sn, Ba, Co, etc.

Libro electrónico CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL MEDIO. Contaminación del agua por residuos industriales. <http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/120ProcC.htm> (consultado en Julio 2010).

En la tabla anterior se mencionan algunos ejemplos de vertidos que las industrias realizan ya sea directamente a la cuenca de los ríos o bien desechos que son lanzados al aire en las chimeneas y que luego son precipitados con las lluvias y filtrados a las reservas acuíferas subterráneas.

En provincias como Tucumán, una de las fuentes de contaminación de ríos es la industria azucarera, que vuelca la “vinazas” -que es una mezcla de materia orgánica con ácidos y también contiene compuestos del nitrógeno, azufre y fósforo y su pH ronda los 3-, y asimismo los (hidrocarburos, plomo, otros metales, etc.), sales, ácidos, etc. que pueden llegar directamente a los cauces de ríos o bien ser depositados en embalses, diques, o filtrar hacia las napas acuíferas.

2. Navegación. Produce diferentes tipos de contaminación, especialmente con hidrocarburos; los más relevantes son los vertidos de petróleo, accidentales o no, que provocan importantes daños ecológicos.
3. Agricultura y ganadería. La actividad agrícola produce vertidos de pesticidas, fertilizantes y restos orgánicos de animales y plantas que contaminan de una forma difusa pero muy notable las aguas.

- **Contaminación por compuestos inorgánicos**

Dentro de las sustancias de origen inorgánico más relevantes para ser tratadas se encuentran los compuestos del azufre y del nitrógeno, sin dejar afuera los Metales pesados.

- a. **Sulfuros.** El sulfuro de hidrógeno (H_2S) es un gas muy soluble en el agua, de 3,5 a 7 g/l en condiciones normales (no en medios ácidos), de olor a huevos podridos y muy venenoso, incluso para las bacterias. El sulfuro puede provenir de diferentes fuentes tales como drenaje ácido de minas, aguas negras en las que el oxígeno ha sido utilizado y en su lugar se encuentran sulfuro y aguas residuales, en los que por acción bacteriana el sulfato es reducido a éste o bien en los efluentes de la industria papelera, petroquímica de curtiembres o mataderos (Contaminantes y Fuentes de Contaminación, s. f.). La descomposición anaeróbica de compuestos orgánicos azufrados genera H_2S y otros gases como CH_3SH (metanotiol), que producen olor desagradable en zonas pantanosas. El ácido sulfúrico puede ayudar a disolver los metales en las minas y así aumentar el grado de contaminación.
- b. **Nitrógeno.** El nitrógeno se encuentra presente en las aguas y en el suelo como ión amonio, nitrato o nitrito, en ambientes como ríos y lagos; se encuentra en general en forma de nitrato, mientras que el amonio y amoniaco predominan en ambientes anaeróbicos, como en el fondo de los lagos.

Se denomina amonificación al proceso, relativamente rápido, por el cual el Nitrógeno presente en los aminoácidos que constituyen las proteínas se convierte en amonio, o bien como resultado del uso de fertilizantes conteniendo amonio. Constituye una parte fundamental del ciclo que cumple dicho elemento en la naturaleza, representado en la figura siguiente.

Figura 1.1 Ciclo del Nitrógeno



El amonio sufre un proceso en dos etapas hasta convertirse en nitrato que es absorbible por las plantas, la primera mediada por nitroso monas que oxidan el amoníaco a nitrito y luego nitro bacterias que convierten el nitrito en nitrato.

El ciclo del nitrógeno en la naturaleza se completa mediante la desnitrificación, un proceso también catalizado por bacterias tales como pseudomonas o desnitrificantes, que convierten el nitrato en nitrógeno, o amoníaco, requiriendo para este proceso la presencia de materia orgánica, luego el amonio se oxida a nitrato y se produce un aumento de la acidez.

En algunos lugares el agua potable especialmente en las zonas rurales, suele presentar concentraciones altas de nitrato. Esto es debido al uso de fertilizantes,

también se puede observar en zonas urbanas donde la presencia de pozos ciegos mal bloqueados produce el pasaje de aguas residuales al acuífero.

El límite de nitrato es de 10 ppm según la Agencia de Protección Ambiental de EEUU (EPA), su exceso produce problemas a la salud humana, en especial a los bebés. Existen bacterias que pueden reducir el nitrato a nitrito y éste se combina con la hemoglobina en la sangre, produciendo una coloración azulada en la piel del bebé, enfermedad conocida como metaglobulemia.

Metales pesados

Se puede definir a los metales pesados como aquellas sustancias cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua. Los más importantes son: Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Estaño (Sn) y Zinc (Zn). En este grupo también se incluye al Arsénico (As), a pesar de no ser un metal.

Los metales pesados en la hidrosfera provienen de fuentes naturales y antropogénicas. En forma natural los metales entran a la hidrosfera desde la atmósfera y el agua de escurrimiento, y en el caso de lagos y océanos, a través de ríos y vertientes.

A su vez las fuentes antropogénicas de elementos pesados son industriales, tales como minería y fundición; producción de compuestos y materiales que contienen elementos pesados, quemado de combustibles fósiles, efluentes cloacales, etc. Estos compuestos pueden llegar al hombre de diversas formas como, por ejemplo, mediante la absorción por plantas del metal a través de la raíz y, a su vez, a las especies animales que se alimentan de aquellas (bioconcentración). Pero éstas no son las únicas formas que tienen los metales pesados de llegar a las aguas, también existe una importante contaminación doméstica, producida por el uso abusivo de pilas y baterías elaboradas en base a Hg, Ni o Cd, que, desechadas en forma inapropiada pueden contaminar las napas de agua.

El plomo, por ejemplo, ingresa principalmente a través de la atmósfera, por eso su concentración en los cuerpos de agua es máxima; en cambio, la concentración de cadmio y otras especies es mayor en las profundidades. En este último caso, se explica por la actividad volcánica que tiene lugar en las profundidades de los océanos, que es donde el mercurio presenta mayor concentración. En la siguiente tabla se muestran las consecuencias de la contaminación del agua con estas sustancias para el hombre

Tabla 3. Lesiones provocadas por metales pesados.

Metales pesados	Afecciones que producen en el hombre
Arsénico	Lesiones en la piel; trastornos circulatorios; alto riesgo de cáncer.
Cadmio	Lesiones renales. Mutaciones y deformidades en los recién nacidos. Cáncer.
Cromo	Dermatitis alérgica. Problemas hepáticos y renales. Cáncer
Plomo	Bebés y niños: retardo en desarrollo físico o mental; los niños podrían sufrir leve déficit de atención y de capacidad de aprendizaje. Adultos: trastornos renales; hipertensión
Mercurio	Lesiones renales. Trastornos neurológicos.

Fuente: Metales pesados presentes en el agua. (consulta en Julio 2010).
<http://www.fcyt.umss.edu.bo/docentes/29/practicas/practica4.pdf>

De esta tabla se puede deducir que son múltiples los trastornos que el hombre experimenta cuando consume agua contaminada por metales pesados. Muchas veces el diagnóstico no es tan sencillo ya que la clínica en estas patologías no es tan específica, pudiendo confundirse, es por eso que son tan letales.

Los niveles de elementos pesados en agua potable se dividen arbitrariamente en dos componentes: filtrables o disueltos y materia en suspensión. ¿Cuáles son unos y cuáles los otros? (filtrables y en suspensión).

Existen factores que determinan la distribución de metales entre las fases sólida y líquida tales como la especiación química que ha sido definida, en forma general, como el proceso de identificación y cuantificación de las formas químicas de un mismo elemento en una muestra dada (Hlavay *et al.*, 2004) y está determinada por pH, pE, presencia de ligando orgánico, etc.; la retención por parte de la biota ya sea mediante ingestión o adsorción y por último la precipitación como sales solubles.

La velocidad del flujo del río influye en el nivel de concentración de elementos en condiciones de traza. Al aumentar el caudal baja la concentración por dilución, ~~cosa~~ fenómeno que ocurre con vertidos a mar abierto. En general, los niveles de Cd, Pb, y Hg se correlacionan con la densidad de población a los márgenes de los ríos.

La concentración de los elementos al nivel de trazas en ríos es a menudo superior a que se encuentra en mares y océanos debido a que es en los ríos en donde se vierten los desechos industriales, en forma directa y, al ser el volumen del agua

menor que en mares, éste influye en la concentración final alcanzada por el metal. Los niveles tolerables para estos elementos se representan en la Tabla 4.

Tabla N° 4. Niveles tolerables de metales pesados, según distintos países, de acuerdo a valores guía.

Norma	Elemento					
	Plomo	Cadmio	Aluminio	Zinc	Cobre	Cromo
OMS (1995) Valores Guía	0,010	0,003	0,2	3,00	2,00	0,05
BRASIL (1990) Portaria 36-GM	0,050	0,005	0,2	5,00	1,00	0,05
ARGENTINA (1994) Código Alimentario	0,050	0,005	0,2	5,00	1,00	0,05
CHILE (1984) NCH 409/1	0,050	0,010	--	5,00	1,00	0,05
MEXICO (1988) NOM	0,050	0,005	0,2	5,00	1,50	0,05
PERU (1999) DIGESA	0,050	0,005	0,2	3,00	1,00	0,05
URUGUAY (1999) Dt: 27335	0,050	0,005	0,5	5,00	1,00	0,05
BOLÍVIA (1999) IBNORCA NB 512	0,010	0,005	0,2	5,00	0,50	0,05
COLOMBIA (1998) RAS-98	0,010	0,003	0,2	5,00	1,00	0,01
CANADA (1995) HE EHD	0,010	0,005	--	5,00	1,00	0,05
USA (1998) NP- DWR	0	0,005	0,2	5,00	1,30	0,10

Fuente: Normas Internacionales para la Calidad del Agua de Bebida, CEPIS/ OPS-OM. Alvez ZC. Qualidade da água. Meio Ambiente por inteiro. Jornal da Secretaria Municipal do Meio Ambiente 1995. Ano 1, n. 1, -7

Los parámetros recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), en la Guía de Valores para Calidad de Agua Potable, son adoptados considerándose el concepto de Ingesta Diaria Aceptable (IDA), que es definida como: «la concentración máxima en la cual un constituyente no representa ningún riesgo para la salud

del consumidor expuesto a él en un intervalo de tiempo o a lo largo de su vida» (Fecha, número de página. Faltan referencias).

Los valores máximos recomendados por la OMS, no pueden ser considerados exigencias legales *per se*, sin embargo, existen con la finalidad de ser utilizados como base para el establecimiento de los valores normalizados por las autoridades, según las necesidades específicas en cada país. A través de dicha guía, la OMS consigue establecer los valores recomendables de elementos trazos en agua potable considerando tanto aquellos oligoelementos esenciales como los que presentan toxicidad para el ser humano. Los valores recomendables son establecidos para un consumo medio diario de 2 L/día para personas adultas de 60 kg. Estos metales cuando son ingeridos en exceso pueden acarrear diferentes problemas de salud, incluyendo problemas neurológicos, reproductivos y cancerígenos.

Contaminantes orgánicos

Dentro de los contaminantes orgánicos podemos citar los derivados del petróleo, entre ellos aceites y todo tipo de hidrocarburos; también se encuentran los detergentes, los productos utilizados en la actividad agraria como fertilizantes y agroquímicos en general, cuyo efecto más directo sobre la masa de agua es disminuir la cantidad de oxígeno, producir la eutrofización de las aguas y, por lo tanto, su inutilidad para el consumo. En la Tabla 5, se representan estas relaciones.

Parámetros para medir la cantidad de materia orgánica

Los lagos y ríos no sólo son fuentes de abastecimiento de aguas, sino que constituyen una importante fuente de proteínas materializadas en la fauna. Las mencionadas fuentes de agua son seriamente contaminadas por las actividades humanas, tales como los sedimentos, descargas agrícolas y químicos tóxicos. Los análisis más comunes para determinar la calidad de agua se refieren a la Demanda Química y Bioquímica de Oxígeno (DQO, DBO) y al Oxígeno Disuelto (OD) (Guevara, 2001).

1. **DQO:** Es la demanda química de oxígeno, definida como la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua, oxidables, en condiciones determinadas. Esta medida es una estimación de la cantidad de materia oxidable presente en el agua, ya sea su origen orgánico o mineral.

Tabla N° 5. Fuente potencial y efectos de los contaminantes orgánicos en el agua

Componente	Fuente potencial	Efecto en el agua
Sustancias demandantes de O ₂	Materia orgánica, especialmente heces	Consumo de oxígeno disuelto
Orgánicos biorrefractarios	Residuos industriales, productos caseros	Toxico de la vida acuática
Detergentes	Detergentes hogareños	Previene la remoción de grasas y aceites
Fosfatos	Detergentes	Nutrientes de algas
Grasas y aceites	Procesamiento de comidas Residuos industriales	Peligro para cierto tipo de vida acuática
Agentes quelantes	Detergentes y residuos industriales	Solubilización y transporte de metales pesados

Fuente: Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Nación, Transformaciones Químicas y Química Ambiental. Modulo II: La química ambiental. Autores. Cervelli de Vidarte, Corti, Drewes y Martinelli. Año 2003.-

(Contaminantes y Fuentes de Contaminación, s. f.).

Las aguas no contaminadas tienen valores de DQO inferiores a 10 mg/l O₂.

2. **DBO:** La demanda Bioquímica de Oxígeno, es una prueba que mide la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios. Existen distintas variantes de la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno, entre ellas las que se refieren al período de incubación. La más frecuente es la determinación de DBO a los cinco días (DBO5).
3. **Carbono orgánico Total (COT):** Este parámetro, como su nombre lo indica, es la medida del contenido total de carbono de los compuestos orgánicos presentes en las aguas. Se refiere tanto a compuestos orgánicos fijos como volátiles, naturales o sintéticos. Es la expresión más correcta del contenido orgánico total. (Contaminantes y Fuentes de Contaminación, s. f.).

Consideraciones fisicoquímicas finales de la contaminación del agua

Finalmente, y en aproximación al siguiente capítulo, se afirma que las variables físico-químicas que intervienen en estudios de contaminación de los cuerpos de

agua y los factores abióticos analizados, no ejercen influencia aisladamente, sino que deben ser estudiados en interacción con los indicadores bióticos.

Los resultados de un monitoreo deben permitir resolver los diferentes tipos de conflictos como el uso del agua y la integridad ecológica de los sistemas acuáticos, los cuales involucran aspectos socioeconómicos. Una herramienta importante son los índices de calidad del agua, pues su cálculo involucra más de una variable, de tal manera que el uso correcto de estos indicadores permite utilizarlos para la evaluación de los programas de gestión de recursos hídricos.

La contribución de los sedimentos a la contaminación está vinculada al tamaño de las partículas y al volumen del carbono orgánico en partículas, asociado con los sedimentos. En el caso del fósforo y los metales, el tamaño de las partículas es de importancia decisiva, debido a la gran superficie externa de las muy pequeñas. Muchos de los contaminantes persistentes, bioacumulados y tóxicos, especialmente los compuestos clorados incluidos en muchos plaguicidas, están fuertemente asociados con los sedimentos y en especial con el carbono orgánico transportado como parte de la carga de sedimentos de los ríos.

A diferencia del fósforo y los metales, el transporte y destino de los productos químicos orgánicos asociados con los sedimentos se complican por la degradación microbiana que tiene lugar durante el transporte de los sedimentos en los ríos y en los sedimentos depositados. No obstante, el papel de los sedimentos en el transporte y destino de los productos químicos agrícolas, tanto en lo que se refiere a los nutrientes como a los metales y los plaguicidas, son bien conocidos y se deben tener en cuenta al supervisar esos productos químicos y al aplicar modelos con el fin de determinar las estrategias óptimas de ordenación en los campos de cultivo y en las cuencas hidrográficas. Por esta razón, los modelos que utilizan el concepto de «fugacidad» (es decir, que emplean las características de partición de los productos químicos como base para determinar el compartimento ambiental - atmósfera, sedimentos, agua, biota - en que se encuentra primariamente el producto químico) han resultado eficaces como medio de prever las rutas y destino ambiental de los contaminantes (Mackay y Paterson, 1991).

Los productos químicos orgánicos asociados con los sedimentos ingresan en la cadena alimentaria de diversas maneras. Los sedimentos son ingeridos directamente por los peces; no obstante, más normalmente, los sedimentos finos (en particular, la parte de carbono) constituyen el suministro alimentario de los organismos bén-

ticos (que habitan en el fondo), que, a su vez, sirven de alimento para organismos superiores. En último término, los compuestos tóxicos se acumulan biológicamente en el pescado y otros depredadores superiores. Así pues, los plaguicidas transportados desde la tierra como parte del proceso de escorrentía y erosión se concentran en los depredadores superiores, incluido el hombre. Así pues, las diferentes poblaciones relacionadas al acuífero, sufren los efectos de la contaminación. Los aspectos biológicos se tratan desde la mirada Ecotoxicológica.



CAPÍTULO II

Biología de la contaminación del agua, una mirada ecotoxicológica

Andrea Villalba

Introducción

Luego de conocer los elementos físicos y químicos susceptibles de ser considerados a la hora de realizar un análisis de la contaminación del agua, resulta de interés abordar ciertos aspectos biológicos de la misma. Para afrontar este desafío hemos decidido hacerlo desde el ámbito de la Ecotoxicología, una disciplina bastante nueva y poco difundida en la currícula de las carreras de nivel superior no universitario.

Efectos biológicos de la contaminación acuática

Los ecosistemas acuáticos mantienen una gran diversidad de organismos, incluso mayor a los terrestres y, en ellos, los impactos de la contaminación inducen cambios en la estructura de sus diversas comunidades, de sus poblaciones, y la de los propios organismos (Bartram y Ballance, 1996).

Entre las consecuencias que provocan los tóxicos sobre las comunidades, es posible mencionar:

- Cambios de riqueza específica: tal es el caso de disminución de número de especies de invertebrados en el sitio de descarga de efluentes industriales a un río, respecto de aguas abajo; mientras que aguas arriba, donde no llega el efecto del contaminante, la riqueza es superior.

- Modificaciones en las redes tróficas: como ocurre cuando los fosfatos, uno de los contaminantes más frecuentes de aguas superficiales, proveniente de fertilizantes y desechos animales, provocan mortalidad de peces (ver eutrofización) alterando el nivel trófico correspondiente.
- Alteraciones en la estratificación y/o zonación: que tienen lugar tras el vertido de un contenido ácido contaminante a un curso de agua, lo que produce una zonación horizontal, debido a que cerca del vertido el pH es inferior, con lo que las plantas crecerán alejadas del mismo.
- Cambios en la periodicidad de actividades.
- Alteración de interacciones entre especies.

Mientras que sobre las poblaciones, los efectos son:

- Cambios de densidad y la diversidad específica, las que pueden estar influenciadas por la contaminación orgánica, con una disminución brusca en la estación afectada por el vertido de los efluentes del parque industrial, por ejemplo.
- Variaciones de biomasa: son las que tienen lugar cuando, por ejemplo, importantes volúmenes de pesticidas escurren a ambientes acuáticos.
- Modificaciones en las tasa de natalidad, mortalidad, dispersión y/o crecimiento.
- Alteraciones en la distribución por edades o distribución interna.
- Incidencia de enfermedades. Estudios recientes sobre cepas aisladas de *Escherichia coli* en lagunas de efluentes de tambo de cuencas lecheras de la Argentina, muestran que casi 95% de las cepas presentan resistencia a neomicina, más de 40% a ampicilina, más de 60% a cefalotina, 26% a tetraciclina y casi 5% a gentamicina (Herrero, observación personal, quién es Herrero?)
- Cambios en la genética de las poblaciones. Un grupo de compuestos capaces de alcanzar concentraciones con efectos tóxicos son los conocidos genéricamente como compuestos orgánicos halogenados totales. Se originan principalmente por el contacto de hipoclorito de sodio con materia orgánica, lo que da como resultado la aparición de trihalometanos (THM), productos órgano clorados alifáticos y aromáticos, muchos de ellos genotóxicos (Emmanuel *et al.*, 2004). *Saccharomyces cerevisiae* D es un ejemplo, que muestra efecto genotóxico, con incremento en las frecuencias de conversión génica (Paz *et al.*, 2008).
- Alteración de interacciones intraespecíficas.

Estos efectos no tienen lugar de manera individual, sino que pueden confluir varios de ellos. Por ejemplo, el enriquecimiento orgánico puede conducir a la explosión demográfica y dominancia de ciertas especies oportunistas indicadoras, siendo normales también descensos en la biomasa si la contaminación es considerable. Por otro lado, un contaminante no solo genera efectos directos, también los hay indirectos. Los efectos son directos cuando la consecuencia de la presencia del contaminante es sobre los organismos, mientras que si los contaminantes actúan sobre el medio físico con consecuencias sobre la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, los efectos se consideran indirectos.

Por ejemplo, sobre las comunidades acuáticas, el zinc altera la composición de algas en el fitoplancton, al tiempo que provoca un aumento de la biomasa (efecto directo), lo que indirectamente generará modificaciones en la estructura trófica del ecosistema (efecto indirecto).

Sin embargo, para que un contaminante afecte la biota tiene que estar biodisponible, lo que significa no solo que debe estar presente en el ambiente, sino que no debe estar asociado o "atrapado" a algún componente del ecosistema. Para comprender mejor este aspecto, pensemos en un contaminante que puede asociarse al sedimento del bentos y no afectar a los organismos limnéticos, o viceversa; o una masa determinada de petróleo que precipita al fondo de un ambiente acuático y queda atrapado en la cama de moluscos dispuestos sobre el fondo y las rocas. Así, si nuestro objetivo es conocer la presencia de una sustancia en un ecosistema o la forma en que se transporta, tendremos que analizar distintos componentes y no sólo aquel donde se halla la población que nos interesa. También ocurre a menudo que un contaminante no está biodisponible, pero por cambios de factores físicos o químicos (cambio de pH, temperatura, etc.), pasa a otro componente del ecosistema. El cromo puede encontrarse en el agua como Cr (III) y Cr (VI) y pese a que es un elemento esencial para humanos y animales, niveles superiores a 15 mg/L en agua de ríos y 0.10 mg/L en agua potable resultan tóxicos en estos seres vivos. Particularmente, el Cr (VI) tiene efectos carcinogénicos en animales y mutagénicos en humanos y bacterias. Actualmente se sabe que ciertas especies de hongos pueden reducir el cromo hexavalente a trivalente (menos tóxico), pero para hacerlo, el pH del medio debe ser muy bajo. Así, a pH que varía entre 1 y 4, la bioconcentración del metal es óptima, según la especie, mientras que a medida que asciende el pH, disminuye la adsorción del mismo (Acosta *et al.*, 2008).

Como comentábamos en el párrafo anterior, en los derrames de petróleo, parte del mismo se volatiliza en las primeras horas, otra parte comienza la degradación, pero ha ocurrido que una buena proporción del derrame puede precipitar y quedar atrapado en las camas de mejillones y entre las rocas. Esta barrera física determina persistencia del contaminante en el ambiente y tendencia a la biomagnificación del mismo: los mejillones que son detritívoros tienen alto contenido de lípidos en su cuerpo; cuando ingieren hidrocarburos lo almacenan en el cuerpo y lo transfieren a eslabones superiores de la cadena. Esta biomagnificación constituye un concepto clave en la interpretación ambiental.

Otra cuestión a tener en cuenta es que los contaminantes no afectan de igual manera a los individuos y, por ende, a todas las poblaciones. Como sabemos, entre los individuos de una misma especie existen variaciones genéticas naturales, diferentes tasas de metabolismo, paquetes enzimáticos distintos, etc., lo que determina distinta sensibilidad a los tóxicos. Veamos el caso de metales pesados sobre *Pistia stratiotes* L. (repollito de agua), que ve afectada su tasa de crecimiento por la presencia de 1 ppm de plomo en el ambiente acuático, mientras que 1 ppm de cromo estimula su crecimiento (Marozzi *et. al.*, 2004).

Esta sensibilidad particular en las especies ha determinado que, frente a la evaluación de cuerpos de agua, nunca debemos hacerlo a través de bioensayos con una sola especie. Se recomienda trabajar con tres especies distintas y seleccionar los datos arrojados por la más sensible (ver Bioensayos).

También ocurre que ciertos acontecimientos se interpretan a menudo y apresuradamente como generados por la presencia de contaminantes, pero en realidad otras son procesos completamente naturales. A manera de ejemplo, una importante mortandad de peces en el río Salado del Norte (Santo Tomé-Santa Fe) fue interpretado *a priori* como consecuencia del lavado de recipientes portadores de agroquímicos en el río, hasta que estudios posteriores determinaron que la falta de oxígeno disuelto provocada por las altas temperaturas asociado al escaso caudal de agua, era la razón de la muerte masiva. Casos como éste están muy difundidos. En 2010, en las costas de Tigre, San Fernando, San Isidro, La Plata, Berisso, Ensenada, San Nicolás y Baradero (en la provincia de Buenos Aires) se observaron peces muertos o moribundos, también en el río Paraná y en general en toda la cuenca, incluidos ríos de Bolivia y del Paraguay. La causa sería la presencia de un hongo oportunista que aprovecha el impacto en el sistema inmunológico causado por las diferencias

bruscas de temperatura: los peces viven en cuerpos de agua más profundos donde las bajas temperaturas son reguladas y/o amortiguadas, pero ingresan en aguas someras para buscar alimento y allí la baja temperatura los impacta.

Cuando un contaminante ingresa al ambiente acuático, por lo general puede afectar a una o varias poblaciones, puede ser transportado a otros estratos del cuerpo de agua o a otro ambiente, o puede también ser transformado. Interpelar acerca de cómo interactúa un contaminante con los organismos constituye una indagación central cuando se quiere conocer el sitio de acción, el metabolismo y el almacenamiento de la sustancia. Es necesario saber que la primera dosis de un tóxico provoca interacciones nocivas con el organismo y que, al mismo tiempo, esta primera dosis y las posteriores alteran los procesos que se van generando las dosis subsiguientes. Por otro lado no hay que pensar que sitio de acción, de almacenamiento etc. son siempre lugares diferentes dentro del organismo. Aquellos xenobióticos con alta lipofilidad, al tener gran capacidad de bioacumulación en grasas, seguramente tendrán idéntico sitio de acumulación y de acción. En estos casos, dentro del reino *Animalia*, el sistema nervioso, los órganos sexuales y el hígado, son algunos de los que más pueden verse afectados por estas sustancias. Así actúan los organoclorados.

La absorción supone el ingreso al organismo superando la primera barrera biológica que lo separa del ambiente en que se encuentra. Este pasaje está regulado por las interacciones fisicoquímicas entre la barrera y el tóxico. El tóxico ingresa al organismo, en un primer momento, por acción de la fuerza impulsora del proceso, hasta lograr cierto equilibrio a un lado y otro de la barrera. Sin embargo este proceso es reversible y depende, principalmente, de la temperatura, pH y las características de las membranas biológicas. Para poder explicar la susceptibilidad de un organismo a un tóxico se recurre a la constante octanol-agua ($K_{o/w}$), que nos da idea de la lipofilidad del mismo. Cuanto más lipofílico sea un tóxico mayor será su $K_{o/w}$ pues el mismo tenderá a disolverse más en un compuesto no polar como es el etanol. Este alcohol tiene características similares a los compuestos grasos, de ahí la posibilidad de hacerse una extrapolación de valores entre ambas sustancias. En los ensayos de biodegradación, la baja solubilidad puede traducirse en una escasa biodisponibilidad y ser, por tanto, inferior a las tasas de biodegradación esperadas.

Un caso particular es el de las múltiples sustancias componiendo una misma masa, como sucede con las mezclas de hidrocarburos, donde los componentes múlt-

tiples y la imposibilidad de obtener soluciones homogéneas, hacen imposible un control. Habrá entonces, que considerar el empleo de los datos obtenidos de partes solubles en agua y la utilización de esos datos en el esquema de clasificación. La biodegradación, la bioacumulación, el coeficiente de reparto y la solubilidad en agua son todos ellos aspectos que presentan problemas de interpretación, donde cada componente de la mezcla puede comportarse de manera diferente

Una vez que se ha producido la absorción (a través de la piel, epidermis, ingestión, respiración), el contaminante se distribuye (mediante la sangre, hemolinfa, savia) para poder llegar a ciertos sitios, si determinados factores se lo permiten, y allí puede transformarse. Esta biotransformación juega un papel importante porque destruye parte de la concentración y puede dar origen a otras sustancias no activas, aunque a veces origina sustancias que en pequeñas cantidades son los verdaderos tóxicos. En este último caso decimos que la transformación es bioactivante. Vale aclarar que no siempre hay transformación (la sustancia contaminante sale del organismo tal cual entró).

Una cuestión que siempre debe tenerse en claro es que estos procesos de absorción, distribución, transformación y excreción son simultáneos en los organismos.

Con respecto a las transformaciones, estas son generadas por acción fotolítica, hidrolítica, oxidativas o por procesos de biodegradación o biotransformación. Pero también hay que subrayar que los mecanismos de acción de los tóxicos en el agua son dependientes de sus concentraciones. El cambio de concentración de un tóxico en un ambiente acuático puede variar (pensemos en un ambiente donde se producen lluvias o crecidas súbitas), debido a que los organismos expuestos suelen contar con diferentes metabolismo para concentraciones bajas y altas. Como consecuencia, las evaluaciones en laboratorio, no pueden ser extrapoladas, ni a otras concentraciones, ni a campo.

Esta atención no debemos tenerla con los compuestos inorgánicos y metales pesados que tienen toxicidad variable en función de pH, dureza del agua, etc. y donde la degradabilidad tiene poco o ningún significado, aunque la bioacumulación debe ser considerada.

Otro aspecto a considerar es el de la extrapolación de efectos agudos a efectos crónicos. La toxicidad aguda para los fines de clasificación se refiere a la propiedad intrínseca de una sustancia de ser nociva para un organismo cuando éste se expone a aquélla durante un tiempo corto. Generalmente se expresa en términos de una

concentración que es letal para el 50 % de los organismos de ensayo (CL50), provoca un efecto adverso medible en 50 % de esos organismos (por ejemplo, inmovilización en el caso de las dafnias), o induce una reducción del 50 % de las respuestas de los organismos de ensayo (tratados) en comparación con organismos testigo (no tratados) (por ejemplo, la tasa de crecimiento en las algas). La toxicidad crónica, a efectos de clasificación, designa las propiedades potenciales o reales de una sustancia para provocar efectos adversos en organismos acuáticos durante exposiciones que se determinan en relación con el ciclo de vida del organismo. Esa toxicidad crónica se traduce habitualmente en una serie de efectos subletales y se expresa, por lo general, en términos de una concentración sin efecto observado (NOEC) o una CE50 equivalente.

Entre los efectos observables suelen figurar la supervivencia, el crecimiento y/o la reproducción. La duración de la exposición en los ensayos de toxicidad crónica puede variar mucho en función del efecto medido y de la especie utilizada en el ensayo. Si bien se reconoce que la toxicidad aguda por sí sola no es un modo lo suficientemente preciso de predecir la toxicidad crónica para el establecimiento de peligros de manera directa, se considera que en combinación con un potencial de bioacumulación (es decir, con un $\log K_{ow}$ e a 4 que FBC -factor de bioconcentración- < 500) o bien con una posible exposición a largo plazo (es decir, en ausencia de una degradación rápida), puede usarse como un sustituto apropiado a efectos de clasificación. Las sustancias que muestren una toxicidad aguda y también una bioacumulación importante normalmente presentarán toxicidad crónica en concentraciones bastante inferiores (Naciones Unidas, 2007).

La relación precisa entre toxicidad aguda y crónica es difícil de predecir y, por tanto, los datos de sustitución son por lo general cautelares. Del mismo modo, las sustancias que no se degradan rápidamente tienen un potencial mayor de exposición prolongada, lo que a su vez puede entrañar una toxicidad a largo plazo.

Para algunas sustancias poco solubles que normalmente se consideran que tienen una solubilidad en agua < 1 mg/l, no se ha detectado ninguna toxicidad aguda en los ensayos realizados al límite de solubilidad. Si en esas sustancias, sin embargo, $FBC \geq 500$ o, en su defecto, $\log K_{ow}$ mayor o igual a 4 (lo que indica un potencial de bioacumulación) y si las sustancias no se degradan rápidamente, se aplica una clasificación que constituye una suerte de red de seguridad, mediante una categoría de peligro crónico 4.

Biodegradación y biotransformación: ¿sinónimos?

Una vez que un contaminante es incorporado a un organismo vivo comienza un proceso de modificación de su estructura química denominado biotransformación, cuyo resultado será la producción de sustancias más o menos activas o inactivas. Los activos darán lugar a otras reacciones con receptores, que serán los responsables de los efectos biológicos del contaminante. Tanto activos como no activos, serán sustancias susceptibles de ser excretadas por el organismo.

Desde el momento que un organismo se expone a una sustancia tóxica, la biotransformación es la variable que más modula la toxicidad (Castro, 2009). Para comprender esto, veamos el caso de aquellos compuestos que son liposolubles, que cuando son absorbidos por un organismos experimentan una rápida filtración glomerular, pero son reabsorbidos por los túbulos (debido a que éstos tienen membrana lipoproteica) y vuelven al plasma, para acumularse en el tejido graso o tardar, a veces, unos 60 días en ser totalmente excretados. Para que la eliminación al exterior sea más eficiente, el proceso de biotransformación modifica las sustancias liposolubles en otras más hidrosolubles y fáciles de excretar. Esta transformación es conseguida mediante la adición de grupos polares en partes de la molécula de mayor polaridad, gracias a la acción de enzimas catalizadoras.

Estos procesos de biotransformación tienen dos etapas: una etapa o fase 1 que consiste en oxidaciones, reducciones o procesos de hidrólisis que provocan que determinados grupos funcionales del contaminante sean suplantados por otros nuevos; mientras que la etapa o fase 2 desactiva finalmente la sustancia y la hace eliminable. Sin embargo éstas constituyen generalidades que encuentran excepciones en las distintas especies e inclusive entre cepas distintas de una misma especie, donde pueden observarse comportamientos distintos frente a un mismo tóxico.

Un proceso que no debe confundirse con la biotransformación es la biodegradación. El primero supone la modificación parcial de un contaminante; en tanto que el segundo una modificación completa. Los hongos y bacterias son los principales organismos degradadores de los componentes orgánicos del agua, pues se encargan de la descomposición de moléculas orgánicas en moléculas más pequeñas y finalmente en dióxido de carbono y agua. A esta degradación completa, a veces, se la denomina mineralización.

Esta capacidad, de los organismos mencionados, para degradar contaminantes hace que los mismos se empleen en distintos procesos como tratamiento de aguas residuales (en digestores, lagunas de estabilización), digestión de biosólidos, *land farming* y remediación (ver cap. 4).

La biodegradación de un compuesto orgánico comprende una serie de etapas de degradación biológica catalizadas por enzimas producidas por los microorganismos. Las enzimas se encuentran frecuentemente dentro de la célula; pero también se producen exoenzimas que son liberadas al medio, y estas exoenzimas son importantes para iniciar el proceso de biodegradación de macromoléculas. Por ejemplo, la molécula de celulosa es muy grande y no puede ingresar a las células de los microorganismos; primero debe ser degradada a unidades más pequeñas que puedan ser transportadas así al interior de la célula microbiana. Para que esto ocurra ninguna de las enzimas involucradas puede faltar, pues se detiene el proceso.

Las enzimas microbianas no reconocen estructuras químicas muy diferentes a la de los compuestos naturales, por esa razón la ausencia de las enzimas apropiadas es una de las causas de la persistencia de los contaminantes en el ambiente. Los contaminantes que poseen estructura muy diferente a las de las moléculas naturales serán degradados muy lentamente o no serán degradados.

¿Por qué importa la Bioacumulación?

La bioacumulación es un hecho que marcó un cambio en la forma de enfocar los temas de contaminación y está asociada al surgimiento de la ecotoxicología. Para determinar la relación entre la cantidad de xenobiótico presente en el ambiente y la cantidad que ingresa a los organismos, se recurre al cálculo de factores, que en el caso del ambiente acuático se denomina factor de concentración.

El factor de bioconcentración está determinado por la partición del compuesto entre el agua y los componentes hidrofóbicos del organismo, es decir, con las características químicas del contaminante en cuestión. En el caso de compuestos no polares (no solubles en agua), con elevada lipofilidad (solubles en grasas), el compuesto tiende a permanecer en el organismo; si el organismo no puede metabolizarlo y eliminarlo, tiende a bioacumularse. El coeficiente de partición octanol/agua de una sustancia es el modelo utilizado para predecir la distribución

de un compuesto orgánico entre el agua y los lípidos del organismo, habiéndose demostrado que existe una relación entre los factores de bioconcentración para los compuestos orgánicos lipofílicos y el valor del coeficiente de partición octanol/agua (Kow).

En general, los compuestos con alta lipofilidad, sumado a una baja capacidad metabólica del compuesto por parte de los organismos, determinan su persistencia y bioacumulación (ej, metilmercurio, aldrin, dieldrin, DDT, PCB's).

Los organismos que ocupan los niveles superiores de las cadenas tróficas son los más afectados por el fenómeno de biomagnificación; por ejemplo, los grandes mamíferos marinos, dado que las cadenas tróficas marinas son largas (por lo general más largas que las terrestres).

En los grandes mamíferos acuáticos, los contaminantes tienden a estar en los depósitos de grasas, pero cuando el organismo metaboliza las grasas en períodos de falta de alimento, los contaminantes pueden circular nuevamente por el organismo; se ha observado que durante veranos muy calurosos, disminuye la cantidad de fitoplancton, y por lo tanto, la densidad de peces. Los delfines tienen menos alimento disponible y consumen sus tejidos grasos; el contaminante pasa a sangre y ejerce entonces su efecto sobre el organismo, que es básicamente, el deterioro del sistema inmunológico lo que facilita el aumento de enfermedades infecciosas severas mortales (Reijnders, 1986) sobre delfines, provocado por hongos y virus.

La utilidad de los Bioindicadores

El concepto de bioindicador se refiere a especies seleccionadas por su sensibilidad o tolerancia (normalmente es la sensibilidad) a varios parámetros. Una especie como indicadora requiere de conocimiento previo sobre su composición comunitaria bajo condiciones normales, incluyendo el ciclo de vida de las especies, su estacionalidad y sus variaciones naturales, de manera que sea posible comparar las condiciones antes y después de una perturbación ambiental (Raz-Guzman, 2000).

Basado en este concepto, el empleo de bioindicadores es una técnica ecológica que se sustenta en la medición de la diversidad y presencia o ausencia de organismos específicos (De La Lanza *et. al.*, 2000).

Generalmente, cuando se trabaja con bioindicadores, no es necesario ensayar todas las especies presentes en un ecosistema acuático. Hay que escoger, por

tanto, especies representativas que abarquen un amplio rango de niveles tróficos y agrupaciones taxonómicas. Los taxones elegidos (peces, crustáceos y plantas acuáticas), que constituyen el conjunto básico de casi todos los perfiles de amenaza, representan una serie mínima de datos para una descripción plenamente válida del riesgo. Los valores más bajos de toxicidad disponibles, normalmente se usarán para definir la categoría de peligro. Debido a la gran diversidad de especies en el medio ambiente, se suelen seleccionar tres especies. De éstas, por razones de prudencia se toma el valor inferior de resultados para definir la categoría. Al proceder así, se reconoce que la distribución de la sensibilidad de las especies puede alcanzar varios órdenes de magnitud y que habrá así especies más o menos sensibles en el medio (Naciones Unidas, 2007).

El uso de bioindicadores en la determinación del impacto de un contaminante es cada vez más frecuente y se complementa con toda la información que ofrece la evaluación de los factores físicos y químicos. Complementados ambos, los datos obtenidos ofrecen información a largo plazo. Algunos organismos, frente a un evento de contaminación del medio acuático, pueden desaparecer o tolerarlo. En cualquiera de los dos casos, sea que los individuos desaparezcan o toleren el contaminante, se los considerará como indicadores biológicos.

Los protistas que conforman el fitoplancton, zooplancton o microbentos constituyen unos de los mejores bioindicadores en ambientes acuáticos debido a que tienen cortos ciclos de vida y por esta razón, rápidamente pueden evidenciar el efecto de la presencia de contaminantes. Para pensar en el impacto que puede acarrear la alteración de una población y/o ecosistema, debemos tener en cuenta el nicho ecológico de cada grupo de organismos. Si éstos cumplen el rol de productores (algas y plantas) y sus poblaciones son diezmadas, habrá un impacto energético importante en el ecosistema.

Existen protocolos internacionales que identifican perfectamente las especies que deben ser usadas como bioindicadores. Se trata de especies cuya sensibilidad ha sido medida y por ende puede ser previsible el efecto de ciertos contaminantes para ciertas situaciones. Un organismo se considera bioindicador siempre y cuando se conozca el grado de tolerancia del mismo ante un contaminante, aunque no es capaz de darnos información debido a sus hábitos alimentarios o a su ciclo de vida. Por citar algunos organismos que logran ser usados como bioindicadores están los moluscos, turbelarios, insectos, anélidos, hirudíneos, peces y el plancton, donde

también es importante considerar la abundancia con que se les encuentra y la época del año (Silva *et. al.*, 2006).

Para actuar como bioindicadores, los organismos deben proporcionar información sobre la tolerancia o susceptibilidad que presentan a cierto tipo de contaminante, de tal manera que cada una de ellas proyecta información sobre el estado del medio acuático. Hay organismos que consiguen proporcionar información de cambios físicos y químicos en el agua, ya que a lo largo del tiempo revelan modificaciones en la composición de la comunidad (Laws, 1981).

Metcalfe (1989) enumera las principales razones para su uso como indicadores biológicos:

- Sensibilidad y rapidez en la reacción ante distintos contaminantes con una amplia gradación en la respuesta frente a un variado espectro de clases y grados de estrés.
- Ubicuidad, abundancia y facilidad de muestreo. Tamaño adecuado para su determinación en laboratorio.
- Carácter relativamente sedentario, reflejando las condiciones locales de un tramo fluvial.
- Fases del ciclo de vida suficientemente largas como para ofrecer un registro de la calidad medioambiental.
- Gran diversidad de grupos faunísticos con numerosas especies, entre las cuales siempre habrá alguna que reaccione ante un cambio ambiental.

Veamos un ejemplo para comprender mejor la utilidad de los bioindicadores y los índices bióticos. En un estudio realizado por Fernández *et.al.*, (2002) en el río Lules (Tucumán, Argentina) donde hay sospechas de contaminación difusa por el desarrollo de actividades agrícola-ganaderas en la zona ribereña adyacente, se aplicó el índice BMWP (*Biological Monitoring Working Party*) para corroborar o no esta hipótesis de trabajo. El BMWP es un índice biológico que consiste en asignar a cada familia de invertebrados encontrada en el ambiente acuático estudiado, un número determinado entre 1 (tolerantes) y 10 (no tolerantes). Existen estudios previos de carácter ecotoxicológico donde a cada familia se le ha asignado un número, pues ya se evaluó su sensibilidad a distintos niveles de contaminación. Luego, la sumatoria de los números correspondientes a las familias encontradas en el sitio monitoreado, genera un resultado que es comparado con una tabla donde se categorizan los re-

sultados y se obtiene el grado de contaminación del ambiente estudiado, tal cual se muestra en la Tabla 6.

Tabla N° 6: Calidad de aguas según el índice BMWP

Calidad de aguas según el índice BMWP		
Clase	Puntuación	Calidad del agua
I	> 120	Aguas muy limpias
	101-120	Aguas limpias
II	61-100	Aguas ligeramente contaminadas
III	36-60	Aguas contaminadas
IV	16-35	Aguas muy contaminadas
V	< 16	Aguas fuertemente contaminadas

Fuente: <http://www.miliarium.com/prontuario/Indices/IndicesCalidadAgua.htm>[Consulta: 13 de diciembre de 2010]

En el caso del río Lules, de los seis muestreos que se realizaron solo uno arrojó un número tal que encasilló a ese punto de muestreo como agua contaminada. Como vemos, este dato no es suficiente como para afirmar que el río está contaminado. Deberíamos preguntarnos si existe algún evento que no hemos considerado y que está generando ese resultado. (O es que acaso el río no está contaminado como sostienen las sospechas de mencionadas por Fernández, no?).

Vale destacar que, dentro del reino animal, los macroinvertebrados bentónicos son los organismos más utilizados desde hace varias décadas como indicadores de calidad del agua en los biomonitoreos de ambientes acuáticos por presentar numerosas ventajas. Viven en íntimo contacto con el sedimento y con las sustancias tóxicas que se encuentren en él y, como resultado de sus estrategias de vida y su hábito sedentario, actúan como monitores continuos del lugar que habitan. La abundancia que presentan en los diversos sistemas acuáticos y el gran número de especies que integran la comunidad zoobentónica, ofrece un amplio espectro de respuestas al estrés ambiental. Generalmente, los organismos bentónicos son

capaces de reflejar diferentes perturbaciones antropogénicas (contaminación orgánica, acidez, pérdida de hábitats, entre otros) a través de cambios en su estructura o función (Plafkin *et al.*, 1989).

Bioensayos: recetas con buenos resultados

Unos de los conceptos que debe tenerse en claro para tratar este tema es el concepto de efecto agudo y crónico. La toxicidad aguda se refiere a la propiedad intrínseca de una sustancia de ser nociva para un organismo cuando éste se expone a aquélla durante un tiempo corto. Generalmente se expresa en términos de una concentración que es letal para el 50 % de los organismos de ensayo (CL50), que provoca un efecto adverso medible en 50 % de esos organismos (por ejemplo, inmovilización en el caso de las dafnias), o induce una reducción del 50 % de las respuestas de los organismos de ensayo (tratados) en comparación con organismos testigo (no tratados) como por ejemplo, la tasa de crecimiento en las algas (Naciones Unidas, *op.cit.*)

La toxicidad crónica hace referencia a las propiedades potenciales o reales de una sustancia para provocar efectos adversos en organismos acuáticos durante exposiciones que se determinan en relación con el ciclo de vida del organismo, por lo que la duración de la evaluación de los mismos puede durar tiempo variable (varios días, meses o años) según el efecto considerado y la especie utilizada. Entre los efectos observables suelen figurar la supervivencia, el crecimiento y/o la reproducción.

Las poblaciones más utilizadas y estandarizadas para efectuar bioensayos corresponden a peces, crustáceos, algas, o también se puede utilizar a *Lemna sp.*, *Lactuca sativa*, *Allium cepa*, entre otras. Pero, para evaluar una sustancia, no alcanza con bioensayos y habrá que investigar las bases de datos apropiadas y otras fuentes para obtener los elementos de información siguientes:

- la solubilidad en agua
- el coeficiente de reparto octanol-agua ($\log K_{ow}$)
- el factor de bioconcentración en organismos.
- la toxicidad acuática aguda [C(E)L50].
- la toxicidad acuática crónica (NOEC).
- los datos de degradación disponibles (e información específica de biodegradabilidad rápida)
- los datos de estabilidad del contaminante en el agua.

A la hora de clasificar las sustancias en el sistema armonizado, los datos sobre toxicidad de especies marinas y de agua dulce pueden considerarse equivalentes. Con todo, algunos tipos de sustancias, por ejemplo productos químicos orgánicos ionizables o sustancias organometálicas, pueden manifestar toxicidad diferente en agua dulce y en agua de mar. Dado que el propósito de la clasificación es caracterizar el peligro en el medio ambiente acuático, habría que inclinarse por el resultado que mostrase la toxicidad mayor.

La OECD (*Organisation for Economic Cooperation and Development, según sus siglas en inglés, u OCDE, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico*), en 1998, determina que, para evaluar la toxicidad aguda es conveniente partir de una CL50 en 96 horas para los peces, de una CE50 en 48 horas para crustáceos y/o de una CE50 en 72 o 96 horas para algas. Esas especies se consideran representativas del conjunto de los organismos acuáticos y los datos relativos a otras especies, como la lenteja de agua *Lemna*, se pueden también tomar en cuenta si la metodología del ensayo es adecuada. Los datos de toxicidad crónica son más escasos que los de toxicidad aguda y el abanico de procedimientos de ensayo está menos normalizado. Habitualmente se monitorea la fase de vida temprana en peces, la reproducción de dafnias, la inhibición del crecimiento de algas, la inhibición germinación de semillas, la inhibición de elongación de la raíz, etc.

Eutrofización: la obesidad del ambiente acuático

La eutrofización de las aguas continentales está causada por el enriquecimiento con nutrientes inorgánicos, fundamentalmente compuestos de N y P derivados de aguas residuales y fertilizantes agrícolas, lo que afecta la distribución de las especies por alteración de las características químicas del ambiente en el que viven. Sin embargo estas no son las únicas fuentes: el agua de lluvia posee pequeñas cantidades de amoníaco y ácido nítrico, formados a partir de la acción de descargas eléctricas que permiten la unión del nitrógeno e hidrógeno.

Cuando penetra el suelo, el agua se enriquece con más amoníaco, nitritos y nitratos, provenientes de la acción de bacterias nitrificantes que transforman el amoníaco en sales de nitrógeno. Por su parte el fósforo proviene de derivados de este elemento producidos por bacterias en el propio suelo. A estas fuentes se suman el uso de fertilizantes y la combustión de vegetación, que contribuye a aumentar estos

elementos en el agua. La deforestación con su consecuente aumento de capacidad de escurrimiento de suelos desnudos, aportan mayor cantidad de fósforo y nitrógeno a los cuerpos de agua. Si pensamos en los desechos urbanos, quizás los mayores aportes de fósforo provienen de los detergentes (Branco, 1984).

Ahora bien, ¿ambos elementos determinan eutrofización? Según estudios realizados, el nitrógeno es el factor limitante, pues al agregar nitratos al agua, sin adición de fósforo, la producción de algas multiplica diez veces su producción, mientras que si se agrega fósforo el aumento es del 6% (fuente?).

Está comprobado que la floración de algas se produce cuando la concentración N:P es 30:1, aunque el fósforo reviste importancia puesto que, a diferencia del nitrógeno, no puede ser obtenido de la atmósfera. Como no es posible, entonces, controlar la contribución de N al agua, tampoco se puede dominar la producción algal.

Se ha observado que puede existir cierta sucesión poblacional en ambientes en eutrofización: las cianófitas indicadoras de eutrofización son del género *Anabaena*, alga fijadora de nitrógeno. Al intensificarse el proceso, aparece *Microcystis*, un alga no fijadora de nitrógeno del aire. Primero aparecerían las fijadoras de N, cuando el P deja de ser limitante, aunque el N lo sea aún. Después la concentración de N sería tal, que deja de ser limitante, por lo que aparece *Microcystis*. De León (2004) señala también, como algas indicadoras de eutrofización, a los géneros: *Anabaenopsis*, *Nodularia*, *Nostoc*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, etc.

Una de las consecuencias ecológicas de la eutrofización es la acumulación desmesurada de vegetación, que es consumida a gran escala por los descomponedores del lugar. Macrófitas acuáticas flotantes o fijas forman parte de esta vegetación, además de las algas mencionadas. Estas macrófitas suelen reducir la producción de algas al limitar el ingreso de luz al ambiente acuático. Pero las grandes masas de algas son consumidas por el zooplancton y los peces, fundamentalmente porque las cianófitas van acompañadas de masas de mucílagos poco palatables. Al ser eliminadas por microorganismos consumidores, lo que provoca desequilibrios en el balance de oxígeno, esas masas comienzan a actuar como contaminantes, originando condiciones de demanda biológica de oxígeno, anaerobicidad y sedimentos orgánicos particulares y localizados. Baja la concentración de oxígeno y la diversidad biológica. Las masas de vegetales muertos sedimentan en el fondo donde restan capacidad al ambiente y pueden ingresar en procesos de descomposición anaerobióica. La pérdida de capacidad del ambiente acuático termina por convertirlo en un ambiente

carente de agua y con un perfil de material biológico sólido.

Por otro lado, la densidad de cianófitas aumenta de tal forma que desequilibra el ecosistema acuático e impide el uso del agua para consumo humano. Las aguas interiores y los ambientes lóticos, en general, tienen menor productividad y, por ende, menor tendencia a eutrofizarse.

En el Río Salado del Norte, a la altura de la localidad de Castelli (Buenos Aires) se ha detectado la presencia de algas verde-azuladas indicadoras de eutrofización. Estas especies toxigénicas pueden originar neuro o hepatotoxinas, dependiendo de las cepas. Recordemos que es en la Pampa Argentina donde transcurre el tramo más importante, por su extensión, del Río Salado. Este río presenta factores climáticos desfavorables como un régimen de precipitaciones escaso y altas temperaturas por lo que las floraciones son casi permanentes, aumentando el nivel de eutrofización en forma continua.

En el embalse San Roque (Córdoba), a partir de primavera se evidencia en el lago un estrato superficial más cálido y un perfil de disminución de la temperatura con relación a la profundidad. Los perfiles verticales de oxígeno disuelto se relacionan directamente con los de temperatura registrando condiciones de anoxia en el hipolimnion durante el verano. Bajo estas condiciones, el fitoplancton registró densidades elevadas todo el año y estuvo compuesto fundamentalmente por Cianofíceas, Dinofíceas, Diatomeas, Clorofíceas, Desmidiáceas y Euglenofíceas (Bustamante *et al.*, 2007).

Algunas consideraciones sobre el agua subterránea y su contaminación

Debido al uso de plaguicidas, derrames de combustibles y actividades mineras, se evidencian problemas de contaminación de aguas subterráneas a escala mundial (García *et al.*, 2010). El caso menos controlable es el asociado a fuentes difusas (no puntuales) de origen rural (fertilizantes, pesticidas) y urbano, cuyo mecanismo es el lavado por las precipitaciones, mientras que el caso más comprometido, por su alcance y dificultad de control, es la contaminación por actividades agrícolas.

En términos generales:

- Un contaminante puede llegar directamente al agua subterránea, luego de variables períodos de tiempo (decenas o cientos de años), pero también puede

hidrolizarse, fotodegradarse o ser transformado por los microorganismos, generando metabolitos más o menos tóxicos, o bien puede adsorberse al sedimento y permanecer en ese estado.

- Los procesos de degradación en el suelo son más lentos a mayor profundidad.
- La textura del suelo y el tipo de sedimentos son condicionantes de la circulación de contaminantes: en suelos arcillosos, por ejemplo, el tamaño de los poros no favorece la presencia de microflora y de oxígeno, lo que contribuye a la permanencia de las sustancias tóxicas, en ese estrato, sin degradarse.
- A mayor materia orgánica mayor actividad microbiana y mayor capacidad e adsorción de contaminantes.
- El riego induce la lixiviación, sobre todo si el terreno es llano; mientras que, si hay declive, se favorece la deriva a cuerpos de agua superficiales.
- La mayor persistencia de contaminantes en el terreno favorece la llegada al agua subterránea.

Finalmente, una cuestión a considerar es que, una vez que el contaminante está asociado al agua subterránea, se encuentra prácticamente libre (debido a la escasa presencia de material adsorbente) para ejercer efecto sobre la biota, la que ve reducida su capacidad de huida por las limitaciones de espacio físico, tornándose muy vulnerable a la exposición.

Contaminación del agua y evolución: para reflexionar

Si partimos de la base de que las poblaciones acuáticas o relacionadas al medio acuático poseen variabilidad individual, relación entre la variabilidad fenotípica y la eficacia reproductiva, y entre ese fenotipo y el genotipo de los individuos, poco cuesta imaginar que la presencia de contaminantes en el ambiente constituya un agente selectivo sobre las mismas.

Cualquier carácter, o conjunto de caracteres, que permita a las poblaciones que las poseen superar con éxito este agente de selección (presencia de contaminantes), nos pondrá en presencia de lo que genéricamente se denomina adaptación. En consecuencia, habrá un proceso adaptativo; es decir, la modificación evolutiva de un carácter bajo la selección provocada por la contaminación y que implica una mayor eficiencia o ventajas funcionales (eficacia biológica) en ese ambiente contamina-

do, con respecto a poblaciones ancestrales. Los agentes químicos, como uno de los más importantes y actuales factores de selección natural, determinarán la aparición de nuevas variantes que exploten de forma más eficaz estos ambientes (procesos adaptativos). Las adaptaciones podrían ser morfológicas si apareciesen estructuras más eficaces para, por ejemplo, la captación de oxígeno en ambientes poco oxigenados, fisiológicas (desarrollo de hemoglobinas más eficaces en el transporte de oxígeno en determinados ambientes) y comportamentales, como seleccionar activamente el ambiente óptimo (Soler, 2002).

Como es posible observar, este aspecto de la contaminación del agua nos abre un panorama amplio de estudio, tanto en el ámbito de la Evolución como de la Ecotoxicología. Es de desear que en el lector hayan surgido muchas preguntas orientadas a nuevas indagaciones. El tema de la contaminación del agua no está agotado. Veamos, entonces, en el próximo capítulo, cómo es posible abordar este tópico desde el ámbito de la salud.



CAPÍTULO III

Cuando el agua está contaminada, la salud pública está en peligro

Francisco Alfaro

Este capítulo intenta constituir un acercamiento a la compleja interacción de la contaminación del agua en relación con la salud humana; sin pretender agotar su análisis, se plantean algunas cuestiones, sobre las que conviene reflexionar.

Una de ellas se centra en las problemáticas ambientales, donde el agua sea tal vez el recurso que define los límites del desarrollo sostenible. Se sabe también que no hay sustituto para el agua y que el equilibrio entre las demandas de la humanidad y la cantidad aprovechable ya es cada vez más escasa y precaria para algunas regiones del mundo.

Por otra parte, la contaminación es un problema preocupante, de allí que adquiera importancia el análisis de cuestiones tales como el control de calidad del agua, las enfermedades producidas por las aguas residuales, también por la actividad humana y productiva que afectan en mayor medida a los sectores más vulnerables de la sociedad.

Teniendo en cuenta este panorama, se puede formular las siguientes preguntas: Frente al problema de la escasez del recurso y las posibilidades de utilizar otras fuentes de suministro, ¿Es suficiente la cantidad de agua disponible actualmente? ¿Cuál es el grado de contaminación? ¿Se puede revertir esta situación? Tal vez éstos no sean los únicos interrogantes que se puedan plantear, pero, en este capítulo se abordarán desde el impacto que tiene sobre la salud.

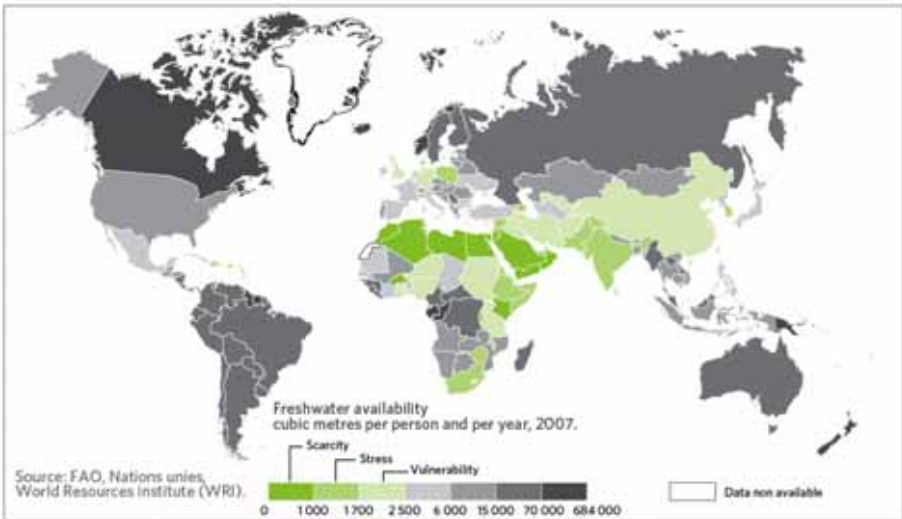
Agua para beber ¿Dónde?

Los datos que muestra la Oficina de Naciones Unidas de apoyo al Decenio Internacional

Para la Acción: El agua fuente de vida 2005-2015, indican que la escasez de agua afecta ya a todos los continentes. Cerca de 1.200 millones de personas, casi una quinta parte de la población mundial, vive en áreas de insuficiencia física de agua, mientras que 500 millones se aproximan a esta situación. Otros 1.600 millones, alrededor de un cuarto de la población mundial, se enfrentan a situaciones de insolencia económica de agua, donde los países carecen de la infraestructura necesaria para transportar el agua desde ríos y acuíferos.

Es por ello que la carencia de agua constituye uno de los principales desafíos del siglo XXI al que se están enfrentando ya numerosas sociedades de todo el mundo. La falta de agua es un fenómeno no solo natural sino también causado por la acción del ser humano; se desperdicia, está distribuida de forma irregular, parte de ella está contaminada y se gestiona de forma insostenible.

Figura 3.1



Distribución del agua en el mundo Fuente: FAO y WFI, 2000.
Consultado el 16 de Septiembre de 2010

Entonces, ¿Es suficiente el agua que hay en el planeta tierra? ¿Cuál es el grado de contaminación? ¿Se puede revertir? Seguramente, estas no sean las únicas preguntas que nos podamos formular, pero es seguro que algunas de ellas compromete al hombre individual y a la sociedad en su conjunto.

Atendiendo al primer interrogante planteado, ¿Es suficiente el agua disponible en el planeta para satisfacer las necesidades de consumo? La respuesta sería que hay suficiente agua dulce para abastecer a los casi 7.000 millones de personas, pero es conveniente tener en cuenta los datos que a continuación exponemos.

Si se observa el Planeta Tierra o Planeta azul desde el espacio, se advierte que está cubierto con agua en casi el 80% de su superficie. De este total, el 97,5% es salada y solo un 2,5 % es dulce y, de ella, el 79 % está congelada en los casquetes polares y glaciares, el 20% está constituido por aguas subterráneas y el 1 % restante es líquida y de fácil acceso dada su acumulación: 25% en lagos, 38 % en humedad del suelo, 8 % en vapor de agua atmosférica y 1% en ríos y agua accesible a las plantas, según fuentes consultadas (<http://www.Worldwater.org/>)

Tabla N° 7. Disponibilidad de agua dulce en el mundo

Ubicación	%	Parcial	Total
Océanos y otras aguas saladas		96%	
Lagos salados (Mares internos) Aguas subterráneas saladas		1%	97 %
Glaciares Nieves y Casquetes polares		79 %	
Aguas Subterráneas		20 %	
Agua Dulce superficial			
Lagos	25 %		
Humedad del suelo	38%	1%	3%
Vapor de agua atmosférica	8 %		
Ríos	1%		
Agua accesible para las plantas	1%		

Fuente (<http://www.Worldwater.org/>) Consultado el 11 de octubre de 2010

Dada la situación que se acaba de describir, no resulta fácil responder al interrogante, ya que depende de cómo se use este recurso y el grado de responsabilidad que cada uno asuma al respecto. Esta es una cuestión que desde hace varios años constituye una preocupación para la comunidad internacional y ha movilizó estudios de estimación del impacto del crecimiento poblacional y las actividades agroindustriales.

Para hacer un acercamiento al problema del agua para el consumo humano y su relación directa con la salud, es necesario hacer referencia a las diversas clases de agentes contaminantes del agua. Podríamos establecer las siguientes:

Agentes causantes de enfermedad: bacterias, virus, protozoos y gusanos parásitos que se incorporan desde los sistemas de aguas residuales y las aguas residuales sin tratar. Agentes consumidores de oxígeno: residuos que se pueden descomponer por las bacterias consumidoras de oxígeno.

Aguas Residuales: ¿Cuál es su grado de contaminación?

En su instinto de vivir en sociedad, el hombre siempre ha tendido a desarrollarse en comunidades, desde grupos de familias, tribus, aldeas, ciudades, lo que ha conllevado a la necesidad de superarse, de crecer, de mejorar su calidad de vida.

A estas complejidades se le suman los cambios demográficos, ya que en los últimos 60 años se ha duplicado la población mundial, lo que afecta de manera directa a los recursos naturales, su disponibilidad presente y futura. Por eso, teniendo en cuenta las múltiples interacciones que se dan entre ambiente y sociedad, una de ellas es el de las aguas residuales.

¿Qué son las aguas residuales? Simplemente se las podría definir como fluidos que escurren en los sistemas de alcantarillados. Esencialmente, se trata de agua que ha sido utilizada para la preparación de los alimentos, limpieza doméstica, lavado público e industria. En todos estos casos, los desechos que producen incorporan residuos de todo tipo que se convierten finalmente en este tipo de aguas.

En el caso de las aguas negras su denominación se debe habitualmente a la coloración que presentan, dado que resultan de los sanitarios y, por lo tanto, pueden transmitir parásitos y provocar infecciones; requieren por ello un tratamiento especial, cuya responsabilidad recae por lo general en los municipios y, en el caso de que este servicio sea privado, en las empresas concesionarias.

En este sentido, en la Argentina, según un informe de Obras Sanitarias de la Nación (OSN), desde 1880 hasta 1980, este organismo era responsable de la prestación de los servicios de agua potable y cloacas en las principales ciudades, mientras que en poblaciones más pequeñas estaba a cargo de los estados provinciales, municipales o de cooperativas locales.

En 1980 comenzó un proceso de descentralización de los servicios y la responsabilidad de OSN fue delegada a los estados provinciales, salvo en la ciudad de Buenos Aires y en el Provincia de Buenos Aires, que continuaron siendo atendidos por la empresa estatal, hasta abril de 1993, fecha en que el Estado Nacional las privatizó por el término de 30 años. (Completar: Aguas Argentinas fue RE estatizada en el año 2006)

Por una parte, en ciertas jurisdicciones se constituyeron empresas públicas locales, en tanto que otros estados provinciales combinaron algunas de las variantes anteriormente descritas y algunas son los municipios o cooperativas las que asumen la responsabilidad del tratamiento de las aguas residuales.

La contaminación de las aguas de superficie resulta la llegada de las aguas residuales y cloacales o negras sin tratar, que han sido eliminadas por los alcantarillados; es decir, aquellas provenientes de los domicilios y que contienen entre otras sustancias, detergentes, grasas, desechos orgánicos; también las que proceden de industrias farmacéuticas, químicas y petroquímicas, de bebidas alcohólicas, de curtiembres, o las de los agroalimentos.

Se pueden agrupar en varias categorías algunos de los organismos responsables de producir enfermedades.

Una primera categoría es la de los *microorganismos*, como bacterias, virus, protozoos, gusanos y parásitos, que originan enfermedades como el cólera y provocan cientos de muertos y miles de afectados en varias regiones del mundo, según afirma Jon K. Andrés, director adjunto de la Organización Panamericana de Salud (OPS), brazo en Latinoamérica de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Una segunda categoría es la de *los agentes consumidores de oxígeno* (bacterias). Cuando las poblaciones de bacterias aeróbicas son excesivas, la descomposición de los residuos orgánicos producidos por los seres humanos y por el ganado, provoca la proliferación de las bacterias, las cuales agotan el oxígeno disuelto, OD, o la DBO (demanda biológica de oxígeno) y puede ser la causa de la muerte de otros organismos que viven en el agua, tales como peces.

Una tercera categoría es la de los *agentes contaminantes inorgánicos solubles en agua*, tales como ácidos, sales y metales tóxicos, mercurio, plomo. Grandes cantidades de estos compuestos transforman el recurso en inapropiado para el consumo, lo que puede causar la muerte de la vida acuática. Además están los Nitratos y Fosfatos, sustancias que las plantas necesitan para desarrollarse pero que en cantidades excesivas inducen al crecimiento exponencial de algas verdes provocando la eutrofización de las aguas, que produce la mortandad de los pescados y, cuando se consume estas aguas, también provocan problemas sanitarios.

Una cuarta categoría es la de los *agentes contaminantes orgánicos* tales como aceite, plásticos, pesticidas y detergentes, dañinos para los seres humanos y para las plantas y animales acuáticos

Una quinta categoría es la del *sedimento suspendido*, dado que causa una disminución en la absorción de la luz por el agua y las partículas a través de ella separan compuestos peligrosos tales como pesticidas.

Una sexta son los *cambios de temperaturas por emisiones de agua caliente* (polución térmica).

Una séptima son los *compuestos radiactivos solubles en el agua* que pueden causar cáncer, defectos de nacimiento y daño genético siendo por tanto agentes contaminantes muy peligrosos del agua.

Se puede identificar las fuentes de aguas residuales (Ramalho, 2003); ellas son: aguas domésticas o urbanas, aguas residuales industriales, escorrentía de uso agrícola, pluvial.

Un aspecto que ha sido poco tratado en este capítulo, es la *contaminación debido al uso agrícola* que está adquiriendo una gran importancia sobre todo en la Comunidad Europea y en nuestro país, en zonas rurales netamente ganaderas, que hoy se ven fuertemente desplazadas como consecuencia del avance de las fronteras agropecuarias; el fenómeno de las fumigaciones con agroquímicos, utilizados en diferentes producciones agrarias, está empezando a constituir uno de las causas mayores de contaminación de arroyos, lagos y ríos.

Ahora bien, el sector que comprende a las industrias agroalimentarias desarrollan un papel importante en la economía del país y sobre todo en Argentina, donde se realizan investigaciones biotecnológicas que les permite ser cada vez más competitivas, mejorando, por otra parte, las medidas de elaboración y de conservación de los alimentos y, por lo tanto, su calidad. Pero como contrapartida, sus productos

residuales no son tratados adecuadamente y son vertidos en afluentes que finalmente llegan a los grandes ríos (Calvo *et al.*, 2003). Frente al panorama descrito, vale la pena interrogarse acerca de si es posible realizar acciones que permitan alta productividad económica sin producir contaminación y la respuesta está en países de la Comunidad Económica Europea donde la responsabilidad empresarial esta supervisada por los controles estatales en el cumplimiento de las normas ambientales.. Si se puede lograr desarrollo industrial con responsabilidad ambiental en otros países, quizás se podría empezar a responder a esta pregunta.

El Agua que enferma

El impacto de la población sobre los sistemas ecológicos se ha ido tornando más evidente en los últimos tiempos, poniendo de manifiesto la estrecha relación existente entre los elevados niveles de explotación y vulnerabilidad de los mismos.

Teniendo en cuenta la literatura sobre este tema, se observa que existen diferencias entre las enfermedades de transmisión hídrica y las de origen hídrico. Por lo que define a las *enfermedades de transmisión hídrica* como aquellas en que el agua actúa como vehículo del agente infeccioso cuando los microorganismos patógenos presentes en el agua son biológicos más que químicos, por las excretas de personas o animales infectados, causando trastornos notorios en el tracto digestivo de ambos. Estas son enfermedades causadas por bacterias, virus, hongos, protozoarios y helmintos (Iriarte, 2002). A su vez, *enfermedades de origen hídrico* son aquellas causadas por determinadas sustancias químicas, sean estas orgánicas o inorgánicas, que estén presentes en el agua en concentraciones inadecuadas, en general superiores a las especificadas en las normas y guías que existen para aguas de consumo (Iriarte, 2002). Se denomina brote a un incidente en el que dos o más personas padecen una enfermedad similar, como consecuencia de la ingestión de agua o alimento proveniente de la misma fuente, y que, según la evidencia epidemiológica, implica al agua como el origen de la enfermedad.

Las enfermedades transmitidas por el agua están básicamente en función de la calidad de la misma. La calidad de las aguas de consumo humano es afectada por la contaminación orgánica, principalmente de desechos humanos, animales o químicos. Las enfermedades diarreicas son las principales enfermedades transmitidas por el agua inadecuadamente tratada.

Las enfermedades de origen hídrico se diseminan por la contaminación de los sistemas de agua potable, con la orina y las heces de animales o personas infectadas, las lixiviaciones de rellenos sanitarios, pozos sépticos, tubos de alcantarilla de nivel industrial o doméstico; con el paso del tiempo se ha encontrado cada vez mayor cantidad de sustancias tóxicas, productos químicos para la agricultura, fertilizantes y plaguicidas que contaminan las aguas de superficie.

Los procesos de saneamientos en Argentina evidencian un progresivo deterioro, tan graves como la falta de control que se observa en los vertederos de las aguas residuales; por esa razón las enfermedades transmitidas a través del agua conforman un problema de riesgo sanitario de importancia, que sin embargo no afecta a todos por igual: los grupos poblacionales que no cuentan con redes cloacales son los más directamente afectados.

Si bien existen deferentes criterios para agrupar a las principales vías de transmisión de enfermedades microbianas y parasitarias relacionadas con el agua, aquí se desarrollaran las siguientes: bacterias virus, protozoos y contaminantes químicos.

Bacterias transmitidas por el agua

La **Disentería** es una enfermedad infecciosa aguda, causada por una bacteria *Shigellae dysenteriae*, y una serie de microorganismos que provoca diarrea sangran-te, con dolores abdominales agudos o crónicos del intestino grueso humano, la que puede producir úlceras en las paredes intestinales. Esta forma de disentería es más frecuente en las regiones tropicales del planeta con higiene deficiente, pero, como es más contagiosa, se producen brotes epidémicos en todo el mundo. La disentería bacilar se propaga por contaminación del agua y los alimentos. Las heces de los enfermos y de los portadores sanos contienen grandes cantidades de bacterias. Las moscas transportan las bacterias en sus patas, en su saliva y en sus heces, y las depositan en los alimentos.

La **Leptospirosis** es una antroprotozoonosis de distribución mundial, causada por espiroquetas patógenas del género *Leptospira* y caracterizada por una vasculitis generalizada

La infección es comúnmente transmitida a las personas cuando el agua que ha sido contaminada por la orina de los animales infectados se pone en contacto directo con lesiones en la piel o mucosa, aunque la bacteria *Leptospira interrogans* puede

ingresar al organismo a través de la piel sin lesiones. Se recomienda, por lo tanto, la vacunación para las poblaciones en riesgo sanitario.

El **Cólera** es una infección intestinal aguda causada por la ingestión de alimentos o agua contaminados por la bacteria *Vibrio cholerae*. Tiene un periodo de incubación breve entre menos de un día y cinco días, y la bacteria produce una enterotoxina que causa una diarrea copiosa, indolora y acuosa que puede conducir con rapidez a una deshidratación grave y a la muerte si no se trata prontamente. La mayor parte de los pacientes sufren también vómitos.

El cólera representa aún una amenaza mundial y es un indicador fundamental del grado de desarrollo social. Si bien no supone una amenaza para los países que garantizan una mínima higiene a nivel poblacional, la enfermedad sigue siendo un reto para los países que no pueden asegurar el acceso a agua potable y un saneamiento adecuado.

Tabla N° 8. Número de muertes por contaminación desde 1991 a 1996. (Sintetizado para Argentina, Bolivia, Perú, Chile y Paraguay)

Casos (muertos) 1991	Casos (muertos) 1991	Casos (muertos) 1992	Casos (muertos) 1993	Casos (muertos) 1994	Casos (muertos) 1995	Casos (muertos) 1996	Casos acumulados (muertes) 1991-1996
Argentina	0	553 (15)	2.080 (24)	889 (15)	188 (1)	474 (5)	4.184 (60)
Bolivia	206 (12)	22260 (383)	10.134 (254)	2.710 (46)	3.136 (86)	2.847 (68)	41.293 (849)
Perú	322.562 (2.909)	210.836 (727)	71.448 (575)	23.887 (199)	22.397 (171)	4.518 (21)	655.648 (4.602)
Chile	41 (2)	73 (1)	32 (0)	1 (0)	0	1 (80)	148 (3)
Paraguay	0	0	3 (0)	0	0	4 (0)	7 (0)

Fuente: Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd57/riesgo.pdf> Consultado 14 de octubre de 2011

Durante los primeros cinco meses de 1996, Argentina sufrió una epidemia de cólera que alcanzó su punto máximo durante el mes de febrero, concentrada principalmente en la Provincia de Salta. La epidemia ocasionó un total de 422 casos y 5 defunciones, notificando su último caso el 25 de mayo. Durante el mes de octu-

bre (semana epidemiológica No. 41), otro brote de cólera incrementa el acumulado anual a 474 casos, es decir 2,5 veces más que el total de 1995 que fue de 188 casos. Hasta el 15 de febrero de 1997 un total de 405 casos ha sido notificado, del cual, 95% pertenece a la zona fronteriza con Bolivia de Salta y Jujuy, (Organización Panamericana de la Salud, Boletín Epidemiológico Vol. 18 N°1 de Marzo de 1997).- Tabla N° 8 muestra la ruta de la pandemia focalizándose los mayores casos en Perú, luego Bolivia y Argentina.

Tabla N° 9. Principales bacterias transmitidas por el agua.

Bacteria	Fuente	Importancia para la Salud	Periodo de Incubación	Duración	Síntomas Clínicos
Disentería (Shigellae sp.)	Heces	Alta	1 - 7 días	4 - 7 días	Disentería (diarrea con sangre), fiebres altas, síntomas tóxicos, retortijones, pujos intensos e incluso convulsiones
Leptospirosis Leptospira interrogans	Orina	Moderada	7 - 10 días	1 a varias semanas	Gripe con fiebre, dolores de cabeza y de músculos, escalofríos, conjuntivitis, náuseas, vómitos, diarrea.
Cólera Vibrio cholerae	Heces, otros	Alta	Horas - 5 días	1 - 5 días	Diarreas indolora, acuosa, vómitos deshidratación, lleva a la muerte
Fiebre tifoidea Salmonella typhi	Heces	Alta	7- 28 días	5 - 7 días	Fiebre, tos, nausea, dolor de cabeza, vómito, diarrea
Escherichia coli	Heces	Alta	5 - 48 Hs	3 - 19 días	Dolores abdominales, diarrea acuosa, fiebre c/ escalofríos, vómitos.
Salmonella spp.,	Heces	Alta	8 - 48 Hs	3 - 5 días	Diarrea acuosa con sangre

Fuente: Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd57/riesgo.pdf> Consultado 14 de octubre de 2011

Generalmente las cepas de *Escherichia coli* que colonizan el intestino son comensales, sin embargo dentro de esta especie se encuentran bacterias patógenas causantes de una diversidad de enfermedades gastrointestinales (Davipson, et. al., 1992). Unas pocas cepas son enteropatógenas (gérmenes con la capacidad de causar infección en el sistema gastrointestinal), capaces de colonizar el intestino delgado y desencadenar la diarrea. Además, si se consume agua en grandes cantidades,

puede ser infecciosa aun cuando contenga un pequeño número de organismos patógenos. Las infecciones de cualquiera de estos organismos pueden causar diarrea, retortijones abdominales y algunas veces enfermedades más serias que requieren hospitalización. La *E. coli* no responde adecuadamente a los antibióticos, mientras que la *Salmonella* ha desarrollado varias cepas farmacorresistentes (Brock, 2000).

La intoxicación alimentaria con frecuencia puede entonces ocurrir por comer o beber cualquier alimento preparado sin emplear las técnicas apropiadas de lavado de las manos o usando utensilios de cocina insuficientemente higienizados, como así también alimentos que contienen mayonesa (como ensalada de papas con huevos), que han permanecido fuera del refrigerador durante mucho tiempo, lo que es más probable encontrar en restaurantes de autoservicio o comidas al aire libre o en reuniones sociales grandes.

Salmonella typhi, es el agente etiológico de la fiebre tifoidea; si bien la forma más común de transmisión es por alimentos contaminados y por contacto directo con personas infectadas, también se puede transmitir a través del agua. Una falla en los métodos de purificación o durante las inundaciones, sequías o movimientos de tierra, por las que se generan fugas en algunos desagües, puede dar origen ocasionalmente a epidemias.

Enfermedades provocadas por Virus cuyo vehículo es el agua

En este grupo los virus de la hepatitis A y E, los enterovirus, los adenovirus y los rotavirus, constituyen una de las principales causas de la gastroenteritis infantil. Los virus adquieren una importancia especial para la salud pública, ya que se evacuan en gran cantidad a través de deposiciones (heces) de individuos infectados.

El género **Enterovirus**, perteneciente a la familia Picornaviridae, comprende 69 serotipos (especies) que infectan al ser humano: los tipos 1-3 del virus de la poliomielitis.

El espectro de enfermedades causadas por los enterovirus es amplio y varía desde una afección febril leve hasta miocarditis, meningoencefalitis, poliomielitis, herpangina, exantema vírico de manos, pies y boca e insuficiencia multiorgánica neonatal. Se ha descrito la persistencia de los virus en enfermedades crónicas como la miocardiopatía dilatada y el síndrome de fatiga crónica. La mayoría de las infecciones son asintomáticas, sobre todo en los niños; no obstante, ocasionan la excreción de grandes cantidades de virus que pueden causar enfermedades clínicas en otras personas.

La **Hepatitis** consiste en una inflamación del hígado, la cual provoca mal funcionamiento de este órgano. De los tipos de hepatitis virales existentes, solo la A y la E son enfermedades de transmisión hídrica. Se transmite por el contacto con excrementos infectados y por contacto sexual anal con personas contaminadas.

El hombre es el único anfitrión de este virus, por lo que la transmisión se lleva a cabo por el acercamiento entre personas. El virus usualmente ingresa al cuerpo al ingerir sustancias infectadas por materia fecal humana y desde el intestino la infección se expande a todo el organismo, afectando más severamente al cerebro y la médula espinal.

Los **Astrovirus** pertenecen a la familia *Astroviridae*. El nombre se designó debido a que según se observó por medio de microscopía electrónica, estos virus presentan morfología tipo estrella con cinco a seis picos. Son responsables de gastroenteritis en niños y adultos; presentando como principales síntomas, diarrea, náuseas, vómito, fiebre, malestar general, anorexia y dolor abdominal. Algunos estudios han mostrado que la duración de los síntomas es de aproximadamente tres a cuatro días. La infección no suele ser grave y sólo en algunos pocos casos conduce a la deshidratación.

Los **Rotavirus**, pertenecientes a la familia *Reoviridae*, son los agentes etiológicos más importantes de la gastroenteritis aguda (GA) con deshidratación en niños menores de 5 años de todo el mundo, con mayores frecuencias hasta los 2 años de edad.

Los rotavirus de los grupos A, B y C son los agentes causales de la infección en humanos. De estos, el **grupo A** es la principal causa de gastroenteritis severa en niños. Los rotavirus del grupo B y C son morfológicamente idénticos a los del grupo A, pero genética y antigénicamente diferentes y se han asociado a brotes diarreicos en niños, adolescentes y adultos. El periodo de incubación oscila entre 1 - 3 días. El espectro clínico de la infección por rotavirus presenta límites amplios: puede cursar de manera asintomática, dar lugar a una diarrea acuosa con duración limitada, hasta una diarrea severa con vómito, fiebre y deshidratación.

Los **Norovirus** son virus patógenos de humanos y de otros animales, que pertenecen a la familia *Caliciviridae* e incluyen virus de RNA de doble hebra. Los norovirus se transmiten por la vía fecal-oral, ya sea por consumo de alimentos o agua contaminados con materia fecal o a través del contacto directo. Existe evidencia sobre la transmisión por vómito en aerosol (pequeñas gotas eliminadas expulsadas bajo presión). Se consideran los principales agentes víricos de gastroenteritis agudas en países industrializados. (Herbst-Kralovetz *et al.*, 2010; Svraka *et al.*, 2010; Delacour *et al.*, 2010).

Tabla N° 10. Principales Virus transmitidos por el agua

Virus	Fuente	Importancia para la Salud	Periodo de Incubación	Duración	Síntomas Clínicos
Enterovirus (Poliovirus 1,2,3.	Heces	Alta	3 - 14 días (5 -10)	variable	Gastrointestinales (vómitos, diarrea, dolor abdominal y hepatitis) encefalitis, enfermedades respiratorias, meningitis, conjuntivitis
Astrovirus	Heces	Alta	1 - 4 días	2 - 3 días	Nausea, vómito, diarrea, dolor abdominal, fiebre
Virus de la Hepatitis A (VHA)	Heces	Alta	15 - 50 días (25 - 30)	1 - 2 semanas, hasta meses	Cansancio, debilidad muscular, síntomas gastrointestinales como pérdida de apetito, diarrea y vomito, o síntomas parecidos a la gripe, como dolor de cabeza, escalofríos y fiebre, sin embargo, los síntomas más llamativos de esta enfermedad son la ictericia, es decir, el cambio que se produce en el color de ojos y la piel hacia un tono amarillo (a veces intenso), las heces pálidas y la coloración intensa de la orina
Virus de la Hepatitis E (VHE)	Heces	Alta	15 - 65 días (35 - 40)	Similar a lo descrito para el VHA	Similar a lo descrito para el VHA
Rotavirus (Grupo A)	Heces	Alta	1 - 3 días	5 - 7 días	Gastroenteritis con náusea y vómito
Rotavirus (Grupo B)	Heces	Alta	2 - 3 días	3 - 7 días	Gastroenteritis
Norovirus	Heces	Alta	12 y 48 horas	12 a 60 hs	Náuseas, vómitos, diarrea y calambres abdominales

Fuente: Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd57/riesgo.pdf> Consultado 14 de octubre de 2011

Protozoos de importancia en el agua

Los causantes de las enfermedades con base en el agua, son organismos que pasan parte de su ciclo vital en este medio y otra parte como parásitos de animales. Estos organismos pueden prosperar tanto en aguas contaminadas como no contaminadas. Como parásitos, se valen de vectores animales intermediarios (como los caracoles) para prosperar, y luego infectan directamente al hombre, penetrando a través de la piel o al ser ingeridos.

La **Giardiasis**, es una forma de gastroenteritis aguda, causada por el protozoo parásito *Giardia lamblia*, cuya transmisión a las personas sucede, principalmente, por agua contaminada, aunque hay casos provocados por ingestión de alimentos contaminados e incluso por vía sexual. Vive en el intestino delgado adherido a las vellosidades intestinales. Se alimenta y se reproduce hasta que el contenido intestinal inicia el proceso de deshidratación, momento en el que comienza el enquistamiento del trofozoito. Los quistes expulsados junto a las heces ya son infectantes; cuando son ingeridos por un nuevo hospedador, llegan al duodeno, luego se anclan al epitelio intestinal, cerrando así su ciclo vital.

Tabla N° 11. Principales Protozoos transmitidos por el agua

Enfermedad/ Protozoos	Fuente	Importancia para la salud	Período de Incubación	Duración	Síntomas clínicos
Giardiasis <i>Giardia</i> <i>lamblia</i>	Heces	Alta	7- 28 días	Meses – Años	Gastroenteritis aguda, diarrea acuosa y maloliente y calambres abdominales, flatulencias,
Malaria <i>Plasmodium</i> malariae,	Mosquito Anofeles	Alta	30días	Puede pro- longarse por varios años	fiebre, escalofríos, náuseas, vómitos, tos, heces con sangre, dolores musculares, ictericia, defectos de la coagulación sanguínea

Fuente: Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd57/riesgo.pdf> Consultado 14 de octubre de 2011

La **Malaria** es causada por *Plasmodium malariae*, protozooario parásito que causa esta enfermedad en humanos y perros. Tiene dos huéspedes en su ciclo vital: un mosquito género *Anopheles* que actúa como vector y un huésped vertebrado. Al menos diez especies infectan al hombre provocando la malaria o paludismo. Tan sólo las hembras de mosquitos son las que se alimentan de sangre para poder madurar los huevos, y por tanto los machos no pueden transmitir enfermedades. La única forma posible de contagio directo entre humanos es por la transmisión vía placentaria de una mujer embarazada al feto o bien por la transmisión directa a éste a través de la picadura. También es posible por transfusiones sanguíneas de donantes que han padecido la enfermedad.

Contaminantes químicos

Aunque el principal riesgo en el consumo de agua para la salud humana es de origen bacteriano, la contaminación química de los recursos hídricos puede dar como resultado graves problemas en la salud al beberla. Entre los contaminantes químicos se encuentran los metales, los minerales y otras sustancias, tanto orgánicas como inorgánicas. Varias sustancias químicas son potencialmente nocivas e ingresan diariamente en el cuerpo humano en contacto normal con los alimentos ingeridos lo que potencialmente constituye un peligro para la salud si se encuentran en cantidades suficientemente altas. Los contaminantes químicos que merecen especial atención se tratan a continuación.

Productos agroquímicos

En la órbita de Naciones Unidas, a partir del 2001, El Convenio de Estocolmo regula el tratamiento de las sustancias tóxicas, Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs), y a partir del 17 de mayo de 2004, en él se anunció la *docena sucia*, un listado de los doce contaminantes más peligrosos del planeta, según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Fuente: www.unido.org/. (consultado en octubre de 2010)

Argentina, firmante de este convenio, será sede del quinto Encuentro sobre Contaminación Orgánicos Persistentes (COPs) a realizarse en mayo de 2011; este evento constituirá una oportunidad para evaluar el avance logrado en nuestro país

sobre el control de estos compuestos y en la prohibición de nuevos productos químicos, que se sumarán a la lista de los doce que ya existentes.

- **Bifenil policlorados (C₁₂H_(10-n))**

Estas son sustancias altamente nocivas para la salud y el ambiente, considerados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como probables causantes de cáncer, leucemia y otras graves enfermedades.

Estos productos son importantes contaminantes del medio ambiente y se encuentran acumulados en los diversos niveles tróficos superiores, lo que tiende por lo general a biomagnificarse. Una vez que ingresan al organismo, por inhalación de vapores o la ingestión de alimentos que contengan residuos del compuesto, se distribuyen por los tejidos adiposos y la piel. En el caso de las mujeres embarazadas, atraviesa la placenta e ingresa a los tejidos fetales, acumulándose asimismo en leche materna. A estos PCBs (por sus siglas en inglés) todavía se los encuentran en diferentes productos disponibles en el mercado y, sobre todo, en transformadores de electricidad de ciudades y pueblos de Argentina.

Desde el año 2002 la legislación argentina cuenta con la Ley Nacional 25.670 de Presupuestos Mínimos, publicada por el Boletín Oficial del 19 de noviembre de 2002, sancionada para promover la eliminación y gestión de los PCBs.

- **Aldrín (C₁₂H₈Cl₆) y Dieldrín (C₁₂H₈Cl₆O)**

El Aldrín y el Dieldrín son insecticidas con estructura química similar. Desde 1950 hasta 1970, tanto el Aldrín como el Dieldrín se usaron ampliamente como pesticidas en cosechas tales como maíz y algodón en los Estados Unidos.

La forma de incorporar esta sustancia es ingiriendo alimentos como pescados de lagos o arroyos contaminados con cualquiera de estas sustancias químicas, o tubérculos, productos lácteos, o carnes contaminadas.

Efectos sobre la salud también pueden ocurrir después de un período de exposición prolongado de estas sustancias químicas, acumulándose en el cuerpo humano. Algunos trabajadores expuestos por largo tiempo a niveles moderados en el aire experimentaron dolores de cabeza, mareo, irritabilidad, vómitos y movimientos musculares sin control. Los animales expuestos a cantidades altas de Aldrín o Dieldrín también sufren efectos en el sistema nervioso. La exposición oral prolongada a niveles más bajos también afecta al hígado y disminuye su capacidad para combatir

infecciones. No hay evidencia definitiva que demuestre que estos compuestos químicos produzcan cáncer en seres humanos.

- **Dioxinas (C₁₂H₄Cl₄O₂) y Furanos (C₄H₄O)**

Las dioxinas y los furanos (o simplemente dioxinas) son los nombres comunes con los que se conoce a dos grupos de 210 compuestos organoclorados: policlorodibenzo-p-dioxinas (PCDDs, dioxinas) y policlorodibenzofuranos (PCDFs, furanos), los cuales constituyen una compleja mezcla de organohalogenados con diferentes grados de cloración. Los compuestos organoclorados han despertado mucho interés debido a sus efectos tóxicos y características de persistencia en el ambiente, aún a muy bajas concentraciones. Además han presentado efectos tóxicos en animales y humanos, tales como supresión inmune, alteraciones en la piel (cloracné), reducción del conteo de espermias y pérdida de peso corporal. Desde 1993, también forman parte de la lista de disruptores endocrinos.

Por otra parte, en el año 2002, la dioxina 2, 3, 7,8 -TCDD fue clasificada como carcinógeno humano por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Agencia Internacional para el Estudio del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) y la Agencia para la Protección del Ambiente de Estados Unidos (US EPA por sus siglas en inglés). Estas Agencias han experimentado con distintos animales (ratones, entre otros) observando que pueden causar cáncer en distintas partes del organismo como hígado, pulmones, lengua, parte superior de la boca, nariz, glándulas tiroideas, en la piel de la cara y bajo la piel. Se considera a las dioxinas y furanos como probables carcinógenos humanos según la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR -por sus siglas en inglés-, 2004).

En la práctica, estas sustancias se generan involuntariamente, como subproductos no deseados durante la fabricación de herbicidas, conservantes de madera, antisépticos, pesticidas, productos de papel, etc., o durante reacciones químicas fuera de control. También se producen cuando se queman diversas sustancias a temperaturas no muy elevadas, de 250 a 400 °C, tales como PCBs, nafta con plomo, plásticos, papel y madera. Asimismo, pueden formarse dioxinas luego de las combustiones, cuando los gases se enfrían, por síntesis, para lo que necesariamente deben coexistir residuos de carbón sin quemar y/o cloro.

Las dioxinas son del grupo de agentes químicos que afectan el sistema endocrino, es decir, pueden ingresar a las células y obstruir, imitar o alterar las acciones de

las hormonas y generar efectos negativos en el desarrollo neurológico, reproductivo, conductual y en el sistema inmunológico.

- **DDT (C₁₄H₉Cl₅)**

El DDT (diclorodifeniltricloroetano) es un pesticida que se usó extensamente en 1939 como un insecticida; además, fue utilizado ampliamente durante la Segunda Guerra Mundial y de allí en adelante para combatir exitosamente enfermedades transmitidas por insectos en agricultura y también al mosquito Anopheles trasmisor de la malaria. La mayor parte del DDT es degradado lentamente, 2-15 años, dependiendo del tipo de suelo. El contagio se produce por la ingestión de alimentos contaminados con el DDT empleado para controlar plagas, tales como hortalizas y carne, pescado y aves grasosas. Otra forma de contagio se provoca por la inhalación de aire contaminado o por la ingestión de agua contaminada cerca de sitios de desechos o vertederos que contienen niveles más altos de estas sustancias químicas.

El DDT afecta el sistema nervioso. Este pesticida es bioacumulable en tejidos adiposos debido al alto nivel de lipofilia que posee (comportamiento de toda molécula que tiene afinidad por los lípidos), dependiendo siempre de la cantidad de grasa del organismo; puede afectar a poblaciones completas de animales silvestres, por lo que se decidió la prohibición y restricción en su utilización (Ronald *et al.*, 1990).

La Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU. (EPA, por sus siglas en inglés) prohibió el DDT en el año 1972. Pero en el 2006 la Oficina Mundial de la Salud (OMS) anunció que revisaría el rechazo a su uso para controlar los focos crecientes de malaria en el mundo.

- **Endrina (C₁₂H₈Cl₆O)**

Desde 1986 no se ha producido o vendido endrina para uso general en los Estados Unidos. Se usó como pesticida para controlar insectos siendo prohibido por el Convenio de Rotterdam en Diciembre de 2005. Al igual que los plaguicidas organoclorados relacionados, la endrina es lipofílica por lo que tiende a acumularse en los tejidos grasos de los organismos vivos en el agua. Algunas estimaciones indican que su vida media en el suelo es de más de 10 años. Se ha encontrado en agua subterránea y en aguas superficiales, aunque solamente en niveles muy bajos. Es más probable que se adhiera al sedimento del fondo de ríos, lagos y otras masas acuáticas.

Es un producto es altamente tóxico y peligroso para los seres humanos si es manipulado sin cuidado. Por lo tanto, es esencial que se observen las correctas precauciones durante su aplicación. La endrina es rápidamente absorbida y tóxica por boca, por contacto con la piel y por inhalación. La exposición a la endrina puede producir una variedad de efectos nocivos entre los que se incluyen lesiones graves al sistema nervioso (cerebro y médula espinal) y la muerte.

- **Clordano (C₁₀H₆Cl₈)**

El clordano se usó como plaguicida hasta el 1983 en cosechas de maíz, frutas cítricas y en prados y jardines domésticos en los Estados Unidos. Esta sustancia se adhiere firmemente a partículas en la superficie del suelo por lo que es difícil que ingrese al agua subterránea. Puede permanecer en el suelo por más de 20 años. Se acumula en los tejidos de peces, aves y mamíferos, o por la ingestión de pescados en aguas contaminadas con esta sustancia.

El compuesto afecta al sistema nervioso, al sistema digestivo y al hígado de seres humanos y animales. Personas que inhalaron aire con altos niveles de clordano, o que tragaron accidentalmente pequeñas cantidades manifestaron dolores de cabeza, irritabilidad, confusión, debilidad, problemas de la vista, vómitos, calambres estomacales, diarrea e ictericia. Las convulsiones y la muerte son posibles en seres humanos que ingirieron grandes cantidades, al consumir productos de cosechas cultivadas en terrenos que contienen esta sustancia.

- **Toxafeno (C₁₀H₁₀Cl₈)**

El toxafeno fue uno de los insecticidas más usados en los Estados Unidos hasta 1982, cuando la mayoría de sus usos se prohibió; desde 1990 la restricción de su empleo es total. Se lo usó para controlar insectos sobre todo en cosechas de algodón; asimismo se lo aplicó para controlar insectos en el ganado y para aniquilar peces indeseables en lagos.

No se disuelve bien en agua, de manera que es más probable encontrarlo en el aire, el suelo o el sedimento en el fondo de lagos o arroyos; se acumula en peces y en mamíferos, además se degrada muy lentamente en el medio ambiente. El contagio en humanos se debe justamente a la ingesta de estos peces o de agua de pozo contaminada. Aunque también ocurre por exposición a esta sustancia, con la probabilidad de causar daño en los pulmones, al sistema nervioso, los riñones y aun la muerte.

- **Heptacloro (C₁₀H₅Cl₇)**

Es un plaguicida que se usó en la agricultura en los Estados Unidos entre 1950-1980, como tratamiento de las semillas y el suelo y para el control de termitas y hormigas; es posible que se encuentre en el aire y en el polvo de edificios mucho tiempo después de su aplicación. Usualmente las personas están expuestas a estos productos químicos al ingerir comidas con alto contenido graso como la carne, el pescado y los productos lácteos. Asimismo, se transmiten al feto y aún a los lactantes a través de la leche materna. El insecticida se elimina del cuerpo muy lentamente, proceso que implican largos períodos de tiempo (meses o años).

- **Metales pesados**

La contaminación provocada por estos metales es muy amplia, dependiendo de las regiones y del tipo de actividad. En zonas de explotación minera, o en zonas volcánicas, la fuente principal son los sulfuros metálicos expuestos al agua y al aire en forma natural o por acción entrópica (minería).

El agua extraída de las minas, el lixiviado procedente de los lechos de mineral, y los residuos y sedimentos de mineral son la principal causa de la contaminación del agua por materia inorgánica, especialmente en lo que se refiere a metales pesados.

- **Nitratos**

Procedentes de los fertilizantes, aguas residuales y heces de animales, los nitratos desembocan en el agua; si se encuentran en altas concentraciones en agua para el consumo, representan un riesgo para la salud de los lactantes y quizás en niños y también adultos. Los nitratos constituyen una causa potencial, entre otras, de una enfermedad sanguínea denominada meta hemoglobinemia (síndrome del bebé azul) .

- **Toxinas cianobacterianas**

Las Cianobacterias son bacterias fotosintéticas de clase *Coccogoneae Hormogoneae*, generalmente verdes azuladas, con algunas especies capaces de fijar Nitrógeno; también se denominan algas verdes azuladas. El peligro para la salud pública de algunas cianobacterias deriva de su capacidad de producir diversas toxinas que afectan a animales y humanos principalmente expuestos a toxinas, conocidas como «cianotoxinas». A diferencia de las bacterias patógenas, las cianobacterias no se

multiplican en el organismo humano tras su ingestión, sino únicamente en el agua antes de ser ingerida. Algunas especies forman espumas en la superficie del agua; cuando esto ocurre, representa un riesgo específico para la salud humana debido al contacto con las toxinas, por lo que se aconseja no emplear estas aguas para la higiene personal, durante la cual es posible de su ingesta.

- **Glifosato**

Es un hecho indiscutible que el glifosato, al atravesar la barrera placentaria y aumentar en cuatro o cinco veces el ácido retinoico, produce malformaciones en el embrión. Este efecto domina una población restringida: mujeres de zonas rurales, embarazadas y en edad fértil. Pero el glifosato también está asociado a un aumento significativo de casos de leucemia en chicos menores de 15 años, entre otros trastornos que nuestro sistema sanitario no se ha ocupado de investigar epidemiológicamente en profundidad (Paganelli *et al.*, 2010).

- **Arsénico**

Se define como **Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE)** a la enfermedad provocada por la ingestión continua de agua con contenidos de arsénico en valores superiores a los fijados por la Organización Mundial de la Salud ((Fuente: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable: “Epidemiología del Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE) en la República Argentina” (Resolución N° 393/05, Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación).

En este mismo sentido, las personas que ingieren agua contaminada por arsénico inorgánico pueden presentar hiperqueratosis palo-palmar, cuya manifestación principal es la pigmentación de la piel y callosidades localizadas en manos y pies.

Control e indicadores de la calidad del agua para el consumo humano

En América Latina, además de grandes ríos como el Paraná, Uruguay, Amazonas, de la Plata, Orinoco entre otros, se dispone de importantes humedales, verdaderos reservorios de aguas subterráneas, como el Acuífero Guaraní, uno de los más grandes del mundo, compartido por Brasil, Paraguay, Uruguay y Argentina. En total hay unos 73 transfronterizos; en la República Argentina se encuentra el Acuífero Puelche

entre las provincias de Santa Fe y Buenos Aires; éstos son algunos de los diseminados por toda América Latina, todos ellos portadores de agua dulce de excelente calidad, lo que provoca mucho interés por esta parte del planeta en relación a este recurso.

Lo cierto también es que estos grandes recursos hidrológicos no son inmunes a la actividad humana. Según el VIII Taller de Coordinación del Programa UNESCO/OEA ISARM (Acuíferos Internacionalmente Compartidos Gestión de Recursos), Américas, realizado en octubre del 2010 en la ciudad de Santa Fe, organizado por la Universidad Nacional de Litoral sobre Acuíferos Transfronterizos de América, se llegó a la conclusión que “No somos conscientes de que estamos viviendo sobre esta riqueza, hay muy poco conocimiento sobre los acuíferos”. La protección y conservación será fundamental a partir de la generación de información y conocimiento, lo que no es solamente una responsabilidad de gobiernos nacionales sino que es un compromiso internacional compartido, por ello que se considera una cuestión transfronteriza; al respecto, es esencial elaborar planes de gestión a los efectos de evitar y prevenir conflictos interprovinciales e internacionales.

Desde 1977, el Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente (SIMUVIMA) del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la OMS está colaborando con la Unesco y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para establecer una red mundial de vigilancia de la calidad del agua. Mediante el seguimiento de más de 50 variables se obtiene información sobre la idoneidad del agua para el consumo humano y para el uso agrícola, comercial e industrial. La calidad del agua está determinada por la presencia y la cantidad de contaminantes, factores físico-químicos tales como pH y conductividad, cantidad de sales y presencia de fertilizantes, presencia microbiológica, entre otras. La prioridad principal en la elaboración y aplicación de controles de la calidad del agua de consumo está destinada al control de estas sustancias para prevenir enfermedades antes que éstas alcancen el estado de epidemias y, aún en caso de ausencia de éstas, reducir la morbilidad en el conjunto de la población. Asimismo, se sugieren estrategias de gestión de riesgos que garanticen la inocuidad del abastecimiento de agua por medio del control de los componentes peligrosos.

Estas estrategias pueden incluir normas nacionales o regionales; consisten en guías que, por una parte, describen los requisitos mínimos razonables de prácticas seguras para proteger la salud de los consumidores y, por otra, determinan «valores de referencia» numéricos de los componentes del agua o los indicadores de su calidad.

La calidad del agua de consumo se puede controlar mediante una combinación de medidas:

- a. Protección de las fuentes de agua
- b. Control de las operaciones de tratamiento
- c. Gestión de la distribución
- d. Manipulación del agua

De acuerdo a ellas, el Código Alimentario Argentino (CAA) establece las normas vigentes de calidad de agua para el consumo humano a nivel nacional (Indicar el año de la versión consultada).

En el documento referido se determina que con las denominaciones de *Agua potable de suministro público* y *Agua potable de uso domiciliario*, se entiende la que es apta para la alimentación y uso doméstico: no deberá contener sustancias o cuerpos extraños de origen biológico, orgánico, inorgánico o radiactivo en tenores tales que la hagan peligrosa para la salud. Deberá presentar sabor agradable y ser prácticamente incolora, inodora, límpida y transparente.

Marco Regulatorio

Hasta el momento presente ninguna legislación de aguas en América Latina ha probado ser la solución a los problemas existentes en ese sector: escasez y contaminación, desertificación, salinización, agotamiento de reservas subterráneas, merma y sequía de los ríos, exclusión del acceso al agua, elevados precios, mala calidad, uso irracional, gestión deficiente del recurso.

En este sentido en Argentina, como país federal, es difícil disponer de una legislación que abarque todo el ámbito del territorio nacional. Tal vacío legal debió ser resuelto por la reforma Constitucional de agosto de 1994, la que estableció en su artículo 41: "Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el ser humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el derecho de preservarlas". Más adelante, en el mismo artículo sostiene que... "Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas; sin que aquellas alteren las jurisdicciones locales".

Además, en el artículo 121 expone que “Las provincias conservan todo el poder no delegado por esta Constitución al Gobierno Federal, y el que expresamente se hayan reservado por pactos especiales al tiempo de su incorporación”. Lo interesante es que el artículo 124 determina la responsabilidad del uso y conservación de recursos al declarar que “Corresponde a las provincias el dominio original de los recursos naturales existentes en su territorio”.

Algunos proyectos de ley que esperan por su tratamiento en la legislatura nacional, abordan temas como el ordenamiento ambiental, el sistema nacional de información ambiental, estándares de calidad ambiental, red de registro de vertidos a cuerpos y cursos de agua, entre otros.

El 27 de noviembre de 2002 se sancionó la Ley General del Ambiente 25.675, que en su artículo 23 establece el Sistema Federal Ambiental con el objeto de desarrollar la coordinación de la política ambiental, tendiente al logro del desarrollo sustentable, entre el gobierno nacional, los gobiernos provinciales y el de la Ciudad de Buenos Aires. Además esta norma instituye los presupuestos mínimos (art.6), de ordenamiento ambiental (art. 9), mientras que la Ley 22190/1980 determina el régimen de prevención y vigilancia de la contaminación de las aguas u otros elementos del medio ambiente por agentes contaminantes provenientes de buques y artefactos navales. Ellos son:

- Ley 25688 /2002, donde se establece el Régimen de Gestión Ambiental de las Aguas.
- Ley 2797 del 3/9/1881. La legislación nacional prohíbe arrojar a ríos y arroyos residuos cloacales, domiciliarios e industriales sin purificación previa y contaminar las aguas navegables.
- Ley 2797/1891. Prohíbe el volcado a los ríos de aguas cloacales y residuos industriales sin tratamiento
- Ley 1117, Artículo 200. Tipifica la figura de contaminación del agua, preceptuando que será reprimido con reclusión o prisión de tres a diez años al que envenenare o adulterare de un modo peligroso para la salud aguas potables o sustancias alimenticias o medicinales destinadas al uso público o al consumo de una colectividad de personas, agravándose si el hecho fuera seguido de la muerte de alguna persona.

Legislación Provincial

Las leyes o códigos de agua provinciales establecen las prioridades de uso del agua, clasifican y regulan el régimen de concesión, estableciendo las formas, tiempos y procedimientos para el otorgamiento de permisos y concesiones de empleo y de vertido, el cobro de cánones, tributos y demás contribuciones; determina las sanciones y penalidades, que incluyen el revocamiento de la concesión. En general son instrumentos poco flexibles que no permiten tomar en cuenta el valor económico, social y ambiental del agua. La legislación de aguas subterráneas es muy escasa, estando su explotación, en algunos casos, sujeta al régimen de concesión. La Provincia de Mendoza ha dictado la ley 4035 de aguas subterráneas; además, sancionó la primera Ley de Agua en 1884. Las Provincias de Jujuy, Salta, San Juan, La Pampa y Neuquén, incorporan su tratamiento en las leyes de aguas.

En otras provincias los Marcos Regulatorios han sido aprobados por Leyes de las Legislaturas Provinciales (Tucumán, Santa Fe, Buenos Aires, Salta, Misiones, Río Negro, Formosa, Santiago del Estero).

En general, por razones apuntadas anteriormente, el nivel de eficacia en la aplicación y control de la legislación es muy bajo, lo que resulta en su incumplimiento generalizado, como ocurre con la Ley 49172 de Entre Ríos, sobre Regulación del uso y aprovechamiento del recurso natural constituido por las aguas subterráneas y superficiales...y la Ley 5262 sobre Protección a las fuentes de provisión a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera.

Finalmente, la Argentina tiene en sus 23 jurisdicciones y el Distrito Federal una diversidad de normativas legales que elaboran y ejecutan acciones vinculadas a la gestión del recurso hídrico compartido, que afectan o son afectadas por el manejo del agua, que avala la importancia de establecer una gestión integrada. Los avances logrados hasta ahora no son suficientes, los problemas de contaminación son cada vez más agudos y la aplicación de los controles menos eficientes. Quizás este capítulo contribuya para la toma de conciencia de la responsabilidad que cada uno tiene sobre el tratamiento, uso y conservación de los recursos hídricos.



CAPÍTULO IV

Arsénico, un problema grave

Mónica Tuntisi

La situación del Arsénico en Argentina

Indudablemente existen múltiples actividades del hombre que producen contaminantes, pero es necesario reflexionar sobre el impacto que produce la contaminación natural del arsénico en nuestro país. Por tal motivo y más allá de lo abordado en el capítulo 3 sobre el impacto del arsénico en la salud, se ha realizado un análisis pormenorizado de aspectos importantes como localización, características físico-químicas y los métodos de tratamiento y eliminación.

Debemos realizar una una reflexión sobre lo que ocurre en Argentina, ya que es uno de los países con mayor población expuesta al arsénico en aguas superficiales y en aguas subterráneas. La región afectada es una de las más extensas del mundo, comprende principalmente las provincias de Córdoba, La Pampa, Santiago del Estero, San Luis, Santa Fe, Buenos Aires, Chaco, Formosa, Salta, Jujuy, Tucumán, La Rioja, San Juan y Mendoza. Su origen es geológico debido a erupciones volcánicas de la cordillera de Los Andes, asociada al volcanismo terciario y cuaternario desarrollado allí mismo, que data de muchos años. Este proceso continúa actualmente, manifestándose en flujos de lava, géiseres, fumarolas, aguas termales y fenómenos geotérmicos, producido por desintegración de rocas, por deposición atmosférica y, con menor importancia, por la actividad agrícola.

Una investigación publicada en el año 2006 por la Secretaría de Ambiente de la Nación, manifestó que se habían identificado, hasta el momento, alrededor de dieciséis provincias con áreas arsenicales. “El arsénico es un problema muy grave de salud en nuestro país, que afecta aproximadamente a 4 millones de personas” (Litter, 2010).

Por ser uno de los países con mayor cantidad de población expuesta, Argentina, constituye un grave problema de salud pública. El problema, que se presenta generalmente en asentamientos rurales, es más complejo en las zonas pobres, donde no hay distribución de agua potable. Algunos habitantes localizados en áreas con aguas contaminadas por As, que aún no disponen de un servicio de red, utilizan pozos para captar agua o aljibes para recolectar el agua de lluvia, los cuales poseen altos valores del elemento en cuestión, por las fisuras que los conectan con las aguas subterráneas (Pérez Gattorna, 1996). Lo cierto es que la población, que puede vivir en pequeños núcleos o dispersa, necesita tecnología simple y de bajo costo que permita remover el As a nivel domiciliario.

La distribución de agua con alto contenido de arsénico se sucede en un continuo noroeste-sudeste desde la cordillera hasta la costa atlántica.

Podemos encontrar arsénico en sus formas trivalente y pentavalente, según las condiciones del medio. La zona de América Latina con mayor índice de contaminación con arsénico es la región Chaco-pampeana. Al extraer agua de pozo de la zona, se halla una concentración de más de 1 mg/l, superando los niveles normales de arsénico en agua. La recomendación de la FAO es la de no superar los 0,05 mg/l, como se menciona en el capítulo N° 3 de este libro. En nuestro país se toma en cuenta como máximo tolerable entre 0,10 y 0,12 mg/l de arsénico. Por debajo de estos niveles no hay registros de hidroarsenicismo ni de cáncer.

Métodos de depuración

El arsénico puede encontrarse de las siguientes formas: inorgánico u orgánico, soluble o en partículas, como ión libre, ión complejo, ión quelado o molecular coloidal, precipitado o adsorbido. Existen alrededor de 14 tecnologías para remover arsénico del agua con eficiencias de 70 a 99%. (Castro de Esparza, 2006).

Con una combinación adecuada de procesos como coagulación-floculación-sedimentación-filtración y desinfección, se puede tratar el agua potable para remover

color, turbiedad y microorganismos de origen fecal. Si lo que se intenta es la eliminación de elementos químicos del agua, como el arsénico, se debe recurrir a otros métodos un tanto más complejos.

Por ejemplo el método de óxido - reducción, que oxida el arsenito a arseniato para mejorar su remoción en procesos complementarios. Se puede usar cloro, dióxido de cloro, ozono y permanganato de potasio. La oxidación catalítica del As^{3+} es posible en presencia de óxido de cobre, carbón activado y radiación UV. Uno de los inconvenientes de este proceso es el tiempo de reacción. También es posible su oxidación biológica (Madiec, Cepero, Mozziconacci, 2000) y por medio de la acción catalítica de la luz (Clido, Nieto, Ponce, Rodríguez, Solís y Estrada, 2003).

Métodos para la remoción del arsénico en el agua

1- Separación sólido- líquido.

Este primer tratamiento presenta 9 procesos diferentes:

a. Ablandamiento con cal

La cal, $Ca(OH)_2$, no reacciona con el ácido carbónico para formar carbonato de calcio, el arsénico es adsorbido por el mismo.

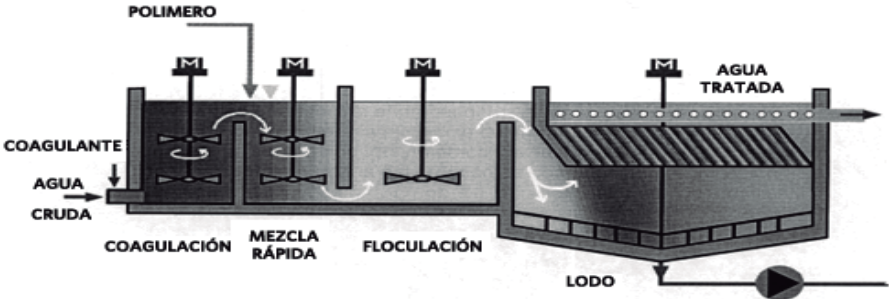
b. Coagulación - Adsorción - Filtración

Para aplicar la coagulación combinada con filtración y/o con adsorción, se deben estudiar las mejores condiciones de aplicación, dependiendo de las características del agua a tratar.

c. Coagulación - Filtración

Al adicionar sustancias insolubles en el agua, las cargas eléctricas de las sustancias coloidales disueltas o suspendidas son neutralizadas, provocando la formación de partículas mayores o aglomerados que pueden ser eliminadas por sedimentación o filtración. Para que el proceso sea eficiente, se debe tener en cuenta el tipo y dosis del coagulante (rendimiento del sulfato férrico ligeramente mayor que el del sulfato de aluminio) y el pH. (Figura 4.1).

Figura 4.1



COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN - SEDIMENTACIÓN (Benítez, Álvarez, Dahbar y Rivero, 2008)

http://www.produccion-animal.com.ar/agua_bebida/30_tecnologias_remocion_arsenico.pdf -2011

d. Con sales de hierro y aluminio

El As⁺ 5 As (V) en agua puede ser removido por coagulación con sulfato de aluminio o hierro y por los procesos de ablandamiento con cal y soda. El As⁺ 5 As (V) se adsorbe y co-precipita con otros iones metálicos sobre los coagulantes que se hidrolizan formando hidróxidos.

e. Presencia de hierro y manganeso

Altas concentraciones de arsénico en el agua subterránea, generalmente están asociadas a altas concentraciones de Fe²⁺ y Mn²⁺. Cuando el agua contiene hierro y/o manganeso y arsénico, puede tratarse con procedimientos convencionales para la remoción del complejo.

f. Hidróxido férrico granular

El hidróxido férrico granular tiene la característica de ser ligeramente cristalino. Los granos, con un tamaño de 2 mm, adsorben As+5 As (V), sin tener en cuenta el pH; pero cuando éste aumenta, disminuye la capacidad de adsorción. Es un método más eficiente que la alúmina activada.

g. Hierro con filtración directa

Este proceso consiste en la adición de hierro (coagulación) seguida por filtración directa (sistema de microfiltración), removiendo consistentemente el arsénico hasta 0,002 mg/l. Los parámetros críticos son las dosis del hierro, la potencia del mezclado, el tiempo de retención y el pH (US Environmental Protection Agency, 1997).

h. Alúmina activada

Es un tipo de intercambio iónico (ver párrafo siguiente) en el cual, los iones que se encuentran en el agua, son adsorbidos por la superficie oxidada de la alúmina activada. Es altamente selectiva para remover el As+5 As (V) y efectiva para tratar agua con alto contenido de sólidos disueltos totales. En la superficie de adsorción de la alúmina activada pueden interferir el selenio, fluoruro, cloruro y sulfato. Este método tiene alta remoción de arsénico a pH 8.2.

i. Intercambio iónico

Proceso físico-químico en el cual los iones de diversos materiales sólidos, incluidos flúculos, por un mecanismo de adsorción superficial, retienen el arsénico y de esta manera provocan su remoción del agua. Hay un desplazamiento reversible de un ión ligado a una superficie sólida por los iones As+5 As (V) y As+3 As (III).

Remueve efectivamente el arsénico en el rango de pH entre 8 y 9. No obstante, el selenio, fluoruro, nitrato y sólidos disueltos totales compiten con el arsénico y afectan la duración del proceso. Las condiciones que se tienen en cuenta en este proceso comprenden el pH, iones competitivos, tipo de resina, alcalinidad, concentración de arsénico en el afluente, disposición de la resina y los regenerantes usados, efectos secundarios de la calidad del agua y los parámetros de diseño de la operación.

2- Procesos de membrana.

Este segundo método, que presenta tres casos, se basa en la separación física.

a. Electrodiálisis inversa

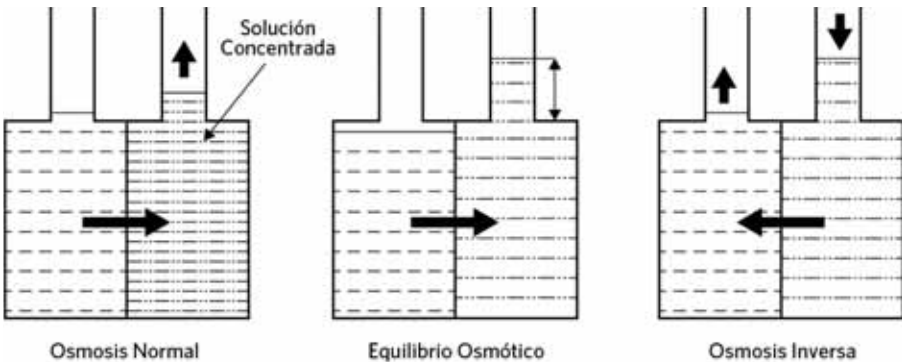
Este método es nuevo y se caracteriza por la migración iónica a través de las membranas. Los electrólitos son normalmente transferidos desde una solución menos concentrada a través del intercambio iónico de la membrana, hasta una solución más concentrada con la ayuda de energía eléctrica.

Puede llegar a eficiencias de tratamiento del 80%, si se efectúa el reciclado de las soluciones residuales, los valores alcanzados son considerablemente más altos. Por la cantidad de energía empleada, los costos de operación son elevados. Es una técnica generalmente automatizada, apropiada para sistemas pequeños.

b. Osmosis inversa

La ósmosis inversa es una técnica que se aplica básicamente en la preparación de agua potable, la producción de agua ultrapura y de agua de abastecimiento de calderas. Consiste en separar un componente de otro en una solución, mediante las fuerzas ejercidas sobre una membrana semi-permeable, por la que sólo pasa agua. Si se aumenta la presión del lado de mayor concentración, puede lograrse que el agua pase desde el lado de alta concentración de sales al de baja concentración. (Figura 4.2). Esta técnica tiene limitaciones importantes como el volumen del agua de rechazo, no es eficaz para aguas muy salobres y el deterioro de las membranas por depósitos y *biofouling*.

Figura 4.2



Fuente: <http://www.textoscientificos.com/quimica/osmosis/inversa> - 2011

1. El agua fluye desde una columna con bajo contenido en sólidos disueltos a una columna con alto contenido en sólidos disueltos.
2. La presión osmótica es la presión necesaria para impedir que el agua fluya a través de la membrana, con el objeto de obtener un equilibrio.
3. Aplicando una presión superior a la presión osmótica, el agua fluirá en sentido inverso; el agua fluye desde la columna con elevado contenido en sólidos disueltos hacia la columna con bajo contenido en sólidos disueltos. La ósmosis inversa reúne las características que a continuación se detallan:
 - Remueve sólidos (inorgánicos u orgánicos) disueltos en el agua

(hasta el 99%).

- Los materiales suspendidos y los microorganismos son removidos
- Purifica en una sola etapa y en forma continua.
- Es muy simple, no requiere mantenimiento excesivo y puede operarlo una persona no especializada.
- Ahorra energía, porque no es necesario realizar cambio de fase.
- Es modular y no ocupa mucho espacio, lo que constituye una ventaja sobre el tamaño de las plantas.

c. Nano-filtración

Es una técnica, que se utiliza básicamente en la purificación de agua potable, relacionada con la presión durante el cual ocurre una separación basada en el tamaño molecular. Las membranas, que tienen un tamaño de poro entre los 0.001 y 0.005 μm , producen la separación. La técnica es principalmente aplicada para la eliminación de sustancias orgánicas, tales como micro-contaminantes e iones multivalentes. Las membranas de nano-filtración retienen moderadamente las sales univalentes. Entre sus ventajas se menciona la nano-filtración, que puede ser llevada a cabo a presiones menores que la ósmosis inversa; por lo tanto, implica menores costos de mantenimiento y operación. Sintetizando lo expuesto anteriormente, se presenta a continuación en la Tabla N° 14, una comparación entre las distintas tecnologías utilizadas para la eliminación de As del agua de consumo, exhibida por Benitez, Alvarez, Dahbar y Rivero (2008).

Tabla N° 12 comparación de las distintas tecnologías

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Coagulación. Floculación, Sedimentación y Filtrado	Hasta 90 % remoción As5 El sulfato férrico es más eficiente que el de Al (necesita pre oxidación)* Ideal para aguas con alto contenido de Fe y Mg Baja inversión de capital	Operación costosa y complicada Requerimiento de operadores entrenados Eficiencia depende del tipo y dosis de coagulante Necesidad de disponer los efluentes sanitariamente Limitada remoción de As (III)

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Osmosis Inversa	Remoción > al 95 % Efectivo para remoción otros compuestos y sólidos totales Calidad consistente Equipamiento compacto y automatizado	Baja recuperación de agua Descarga de concentrado de agua Generalmente no remueve As (III) Mayor inversión de capital Cuidado en pre tratamiento
Intercambio iónico	Remoción 95 % No requiere ajuste pH Óptimo para aguas con alto contenido As y pH alto Óptimo para aguas con bajo nivel sulfatos y bicarbonatos Bueno en la remoción de nitratos y cromatos	Sulfatos, sólidos disueltos totales, selenio, fluoruros y nitratos compiten con el As y afectan la carrera Sólidos suspendidos y precipitados de hierro tapan el medio Efluentes altamente concentrados problemáticos No remueven As(III) Alto costo inversión y operación
Adsorción con alúmina activada	Alta remoción de As(V) aún con altos sólidos disueltos totales Eficiencia del 95 % Tecnología comercialmente disponible	Competencia con sulfatos y cloruros Necesidad de ajustar pH Problemas con la regeneración. 5 al 10 % de pérdida por carrera Problemas en el manejo de químicos Ensuciamiento con sólidos suspendidos Necesidad de disponer los efluentes sanitariamente
Ablandamiento con cal	Alta remoción de As(V) con pH >10.5 Producto químico fácilmente disponible	Método costoso y complicado Necesidad de contar con operadores entrenados Necesidad de ajustar continuamente el pH Necesidad de disponer los efluentes sanitariamente

* A un pH de 7,6 o menor, ambos coagulantes tienen la misma eficiencia de remoción, sin embargo el sulfato férrico remueve mejor a un pH menor de 7,6. A dosis mayores de 20 mg/l de cloruro férrico ó 40 mg/l de sulfato de aluminio se alcanza una remoción de As+5 de más del 90 %. A bajas dosis de coagulantes la remoción de As+5 es menor. El sulfato de aluminio requiere de oxidación preliminar para ser removido por coagulación convencional y/ o ablandamiento con cal y/ o soda. (Elaboración propia)

3- Procesos biológicos.

a. Actividad bacteriana

Puede jugar un papel catalizador importante en varios de los procesos de remoción de arsénico, pero se conoce poco sobre la viabilidad del uso de procesos biológicos para eliminarlo (Johnston, Heinjnen, Wurzel, 2001). Varios estudios demuestran que si el oxígeno, la temperatura y el pH se encuentran

en condiciones óptimas, permiten la filtración biológica y eliminación simultánea de As (III) y de hierro. Lo más importante es la concentración inicial de hierro. A mayor concentración, la eficiencia de la remoción del arsénico llega a ser >90%, y, a menor concentración es del 40% aproximadamente. La fijación del As (III) en los óxidos de hierro producidos por la actividad bacteriana es el mecanismo principal. La filtración biológica para el tratamiento de arsénico puede ser aplicada a cualquier sistema de agua subterránea para la oxidación bacteriológica del hierro (Lehman, Chapman y Bourguin, 1999).

b. Fitorremediación acuática

Se ha constituido como una opción viable que presenta ventajas importantes respecto a otras tecnologías de remediación. En estudios hechos con *Lycopersicon esculentum* (tomate) cultivado *in vitro*, se observó la captación de arsénico por las raíces normales del tomate. La Fitorremediación se basa en el uso de plantas para degradar o transformar en sustancias menos tóxicas diversos tipos de contaminantes. Claudio Rigoni (quién es?) desarrolló una técnica de bajo costo para eliminar arsénico del agua. Se trata de una técnica que utiliza fundamentalmente la planta acuática denominada Elodea, para quitar del agua con arsénico hasta el 90% de este compuesto. El investigador estimó que, dado el éxito de la técnica aplicada, se podrían diseñar de un modo económico y sencillo instalaciones de tratamiento de agua con arsénico en zonas afectadas por su presencia natural en los acuíferos (Programa InfoAgua, 2008). Este método todavía está en etapa de desarrollo y aún no se ha implementado en la práctica.

Los contaminantes, son asimilados por las plantas y secuestrados en sus vacuolas o fijados a estructuras celulares insolubles, como la lignina. Si hubiera algunos metales en bajas concentraciones en grandes volúmenes de agua, pueden ser removidos por sistemas de fitorremediación acuática. Para tratar aguas residuales, se puede utilizar un sistema de tratamiento con plantas acuáticas flotantes, en un estanque semiconstruido o natural.

En julio de 2010, Federico Trofelli (quién es?) reveló que uno de cada diez argentinos toma el agua contaminada con arsénico y que hay variados métodos muy económicos y creativos para eliminar el arsénico (fuente). El ex director de Saneamiento Ambiental de la provincia de Tucumán, Juan Carlos Luján, anunció que había

ideado un hidrogel de hidróxido de aluminio “para tratar el agua a nivel domiciliario”. Explicó que el producto se encontraba envasado en pequeños envases plásticos y que al mezclarse con el agua dentro de una botella, el hidrogel provocaba el depósito del sedimento en el fondo, lo que permitía su separación. Este método, sin embargo, no tuvo demasiado éxito.

La Dra. Marta Litter, investigadora del 3iA (Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental) y de la Comisión Nacional de Energía Atómica subrayó: “se están investigando tecnologías no convencionales, por ejemplo, llenar botellas de plástico con agua y agregarles un alambre de hierro (como la virulana) y jugo de limón natural; si se deja reposar al sol y se filtra el sedimento, el agua estaría lista para beber o cocinar” (fuente).

Según Pérez Gattorna (1995) el tratamiento por coagulación, sedimentación y filtración es el adecuado para nuestro país pues admite aguas crudas con concentraciones de 1.00 a 2.00 mg/l (rango que supera a la mayoría de las aguas arsenicales de Argentina), tiene un costo moderado y, además, porque ya se dispone en el país, de una importante cantidad de plantas de este tipo. Si en el futuro los límites máximos de As en el agua de consumo se redujeran, se podrían optimizar estas plantas existentes, como hoy se hace en los Estados Unidos. Si adoptáramos los nuevos límites máximos para el As recomendados por los países altamente industrializados (entre 0,01 y 0,02 mg/l), la tecnología existente tendría dificultad en detectarlo y desconocemos si puede rebajar el contenido de As a esos niveles, además de que los costos de tratamiento de las aguas serían elevados (Faiguenbaun, 1995).

Existe un amplio campo de trabajo que es necesario encarar a favor de la salud de la población. Muchas personas consumen agua con altos contenidos de As que superan los límites establecidos por los países desarrollados y aún por el Ministerio de Salud de la Nación.



CAPÍTULO V

Análisis del estado actual del agua en Argentina con relación a la contaminación

Marcelo M. Miguel

Un panorama para la reflexión

En este capítulo se va a abordar la problemática del recurso agua en Argentina, tratando de analizar algunos factores importantes que la producen y las consecuencias que los mismos tienen sobre los ambientes naturales y humanos.

Para hacer un acercamiento al problema mencionado, es necesario comenzar a analizar la complejidad de la misma teniendo en cuenta ¿Cuáles son las acciones del hombre que producen contaminación de las aguas? ¿Cuáles son las estrategias remediables que se utilizan para evitar o disminuir esos procesos? Y también cabe preguntar ¿Existen políticas estatales que apuntan a desarrollar estrategias de planificación y uso sustentable del recurso?

Una opción relacionada al manejo del agua, es el desarrollo sustentable basado en dos factores fundamentales como son la disponibilidad y la calidad del agua. La demanda en aumento y el uso indiscriminado del recurso ha traído como consecuencia un acelerado deterioro en su calidad, sumado esto a una distribución temporal y espacial no planificada con consecuencias imprevistas, afectando a la población humana y a otros recursos naturales asociados como el suelo, la flora y la fauna.

El crecimiento de la población, el aumento de la producción industrial y el alto consumo y las consecuentes necesidades materiales, imponen de manera progresiva mayores exigencias de los sistemas hídricos, dado que la intensificación del

uso y manejo del agua conlleva a dos problemáticas: el cambio del volumen y la contaminación de muchas de sus fuentes produciendo complejas consecuencias, que van desde la escasez del recurso como la dudosa calidad del agua de las zonas de producción industrial, agropecuaria y minera fundamentalmente.

Por tal motivo es necesario conocer aspectos que tienen que ver con las características de las hoyas hidrográficas, reconociendo aspectos biológicos, físicos y químicos y estado actual en cuanto a su calidad, como ha sido abordado en capítulos anteriores.

Los datos reunidos van a mostrar una visión del estado actual del lugar de estudio o de análisis. A partir de esto se comienza a definir la situación del recurso analizado que pueda poner en marcha el análisis de modelos de uso y gestión del agua que posibiliten, por un lado disminuir el impacto que se está produciendo y, por otro, proponer herramientas de gestión y evaluación para dar respuestas a la demanda creciente del recurso dentro de la cantidad y calidad requerida.

Un primer paso: Definir conceptos

En capítulos anteriores se abordaron cuestiones tendientes a definir aspectos relativos a las características físico-químicas del agua, la relación con la biota y factores que impactan sobre la naturaleza y la población humana.

Un concepto que es necesario establecer es qué se entiende por agua natural. Para ello se pueden comenzar a distinguir términos generales como: agua natural, agua contaminada y agua segura. Las aguas naturales son las que no han sufrido la acción antrópica; pueden sin embargo contener sustancias que las hacen no aptas para consumo humano. De hecho existen, por ejemplo, aguas (especialmente subterráneas) con alto contenido de arsénico. El agua contaminada es aquella que ha recibido descarga de sustancias provenientes de la acción del hombre; en general, los contaminantes son perjudiciales para el re-uso del agua. El agua segura es aquella que no presenta peligro. Para el consumo humano, es necesario por lo general, tratar las aguas naturales para remover microorganismos y diversas sustancias que contienen las aguas naturales y las aguas contaminadas.

En este contexto un concepto básico que es necesario clarificar es el de *calidad del agua* (de las aguas), siempre con relación a las condiciones esperadas o deseadas para los distintos usos y manejos que la sociedad les pretende dar.

Indudablemente surgen algunas diferencias de interpretación sobre la calidad del agua, en este sentido es interesante considerar aportes clarificadores realizados por el Ingeniero Miguel Blesa, sobre la calidad del agua, en dónde el especialista hace aportes teóricos, se interroga y reflexiona sobre la temática. Brevemente, él considera que “la calidad del agua se mide mediante un índice de la misma manera que el costo de vida, por ejemplo, con el índice de precios al consumidor. ¿Cómo se construye el índice de calidad del agua? Primeramente debe definirse cuál será el uso que se dará a la misma. Después se definen cuáles son las variables que afectan ese uso. Por ejemplo, contaminación microbiológica, pH, turbidez, niveles de metales pesados, etc. “. Y agrega además que “Una vez definidas esas variables, debe definirse cómo se miden. Por ejemplo, la contaminación microbiológica se mide a través del análisis bacteriológico, midiendo la concentración (las unidades formadoras de colonias) de coliformes fecales y de coliformes totales. Una vez que se ha definido cómo se mide cada variable, se define una escala, para cada variable; esa escala va, por ejemplo, de 0 a 100. 0 es agua pésima, 100 es agua prístina. Cuando se ha medido el valor de cada variable en esa escala de 0 a 100, se debe decidir qué peso relativo se le da a cada variable. Se calcula finalmente el promedio pesado de todas las variables y el número así obtenido es el índice de calidad del agua. Y culmina reflexionando a través de una analogía cuando expresa que “Ocurre lo mismo que con el índice de precios: hay decisiones bastante arbitrarias sobre qué variables incluir y qué peso darles”. Por ese motivo, el índice de calidad de agua es sólo un indicador, que no refleja la complejidad total de la situación” (fuente).

En ese sentido parece orientador el trabajo realizado por Meybeck (1990), que en su libro *Global freshwater quality; a first assessment, Global Environment Monitoring System*, estudia la calidad de las aguas continentales superficiales y subterráneas. Señala las características naturales de los cuerpos de agua, microorganismos patógenos en aguas dulces, compuestos orgánicos, acidificación de las aguas continentales, sedimentos de lagos como indicadores de impacto antropogénico; y una evaluación global de la calidad del agua. Comenta casos específicos de problemas de los ríos Danubio y Rhin.

En Argentina hay numerosos estudios al respecto. El proceso de urbanización de la Región Metropolitana de Buenos Aires ha alcanzado el tramo medio y bajo de la Cuenca del Río Reconquista, modificando fuertemente la relación del curso hídrico y su entorno. En ese sentido el diseño e implementación del Modelo de Calidad

de agua para el transporte de metales en la cuenca media del Río Reconquista (propuesto por especialistas de la Comisión Nacional de Energía Atómica (Nader, Cicerone y Sánchez Proaño, 2011) permite describir la calidad química del agua del sistema de estudio y el transporte de metales en la Cuenca Media del Río Reconquista. Con relación a la protección de vida acuática, la calidad del recurso disminuye en su recorrido hacia la desembocadura por el ingreso de contaminantes orgánicos e inorgánicos en tres puntos críticos (Arroyo Morón, Las Catonas y los Canales José León Suárez e Ingenieros).

Indudablemente la calidad del agua está asociada no sólo al agua natural sino indefectiblemente al agua contaminada, Meybeck (1990) brinda una definición simple de lo que entiende como contaminación del agua y hace referencia que la misma está asociada a los cambios de calidad ocasionados por efecto antrópico.

A nivel global, podemos ver en el informe de la UNESCO. Agua para todos. Agua para la Vida. (2003) se encuentran datos inquietantes para la reflexión: unos 2 millones de toneladas de desechos son arrojados diariamente al planeta en aguas receptoras, incluyendo residuos industriales y químicos, vertidos humanos y desechos agrícolas (fertilizantes, pesticidas y residuos de pesticidas). Aunque los datos confiables sobre la extensión y gravedad de la contaminación son incompletos, se estima que la producción global de aguas residuales es de aproximadamente 1.500 km³. Suponiendo que un litro de aguas residuales contamina 8 litros de agua dulce, la carga mundial de contaminación puede ascender actualmente a 12.000 km³. Como siempre, las poblaciones más pobres resultan las más afectadas, con un 50% de la población de los países en desarrollo expuesta a fuentes de agua contaminada.

Casos paradigmáticos en Argentina

El propósito de este apartado es brindar un panorama global de la problemática de la contaminación de las aguas en la República Argentina.

En este contexto, como se ha dicho anteriormente, el recurso hídrico es disputado desde los distintos sectores de la sociedad. Por tal motivo es conveniente describir situaciones que están ocurriendo en sectores de la demanda donde el agua es requerida como un bien esencial y necesario. Una de las maneras de ordenar el cuadro de situación de nuestra región, está relacionado al uso que se hace del agua que resulta de distintos procesos de contaminación a las que están sometidas

sus fuentes y que obedecen a distintas causas, siendo las más importantes las provenientes de los medios urbanos-industriales, agrícolas y mineros. Aunque estas causas no son las únicas que producen la contaminación, nos ofrecen al menos un panorama general en Argentina.

A modo de sistematizar las problemáticas de contaminación en nuestro país, se ha realizado una tipología a partir de las industrias y sus desechos, que posibilita de alguna manera, a partir de la acción del hombre y/o sectores productivos, cuyas actividades impactan en el recurso agua.

El ámbito de las industrias y su relación crítica con el agua

La industria es uno de los sectores del hacer humano que demanda más volúmenes de agua para cubrir sus necesidades, está en relación con los tipos de procesos que utilizan. La demanda puede originarse en el uso del agua como componente mismo del producto que se elabora ver tabla 13.

Tabla N° 13: Demanda de agua

Utilidad	Proceso
Componente del producto que se elabora	Bebidas Líquidos diversos de uso doméstico Líquidos diversos de uso industrial
Componente de enfriamiento	Destilaciones Centrales de producción de energía asociadas a la siderurgia
Componente del transporte	Transporte fluvial (tal es el caso de la Industria maderera y los Ingenios azucareros)
Componente del medio que vehiculiza	Limpieza, traslado y tratamiento de residuos industriales condicionado por fluctuaciones de los caudales de líquidos.

(Elaboración propia) Tabla N° 15: Demanda del agua.

Comprender, las características generales del sector industrial, posibilita de alguna manera vislumbrar las implicancias que tiene el mismo en la contaminación del ambiente que lo circunda. Para advertir el impacto que produce, es necesario conocer como se estructura dicha actividad; en este sentido, se puede dividir el sector industrial en: a) industria de equipo, b) industria ligera y c) industria pesada; con relación a las características de la materia prima que se consume en cada una de ellas.

Tabla N° 14: Tipos de industria y demandas de recursos

Tipo de industria	Demanda de recursos	Ubicación	Vinculación	Características
De equipo	No posee tanta dependencia	Cercanías de los centros urbanos	Sector de la construcción Sector metalúrgico	Edificación de viviendas- megaconstrucciones Transformación asociada a la maquinaria industrial y de transporte pesado
Ligera	Se fabrican diferentes productos o bienes de uso y de consumo final	Alrededor del mercado que la demanda.	Amplio espectro relacionado a las respuestas de las demandas en la sociedad actual	Productos de alto valor añadido
Pesada	Demanda grandes cantidades de productos brutos, (procesados y utilizados como materia prima básica en cuantiosas actividades industriales)	Junto a centros de abastecimiento en donde llegan grandes transportes vía marítima, aérea o terrestre	Sector metalúrgico	Transformaciones y manipulaciones conllevan a la elaboración de diferentes productos

(Elaboración propia). Tabla N° 16: Tipos de industria y demandas de recursos

El sector de la industria es muy variado. Se lo puede clasificar también en industrias de base, las cuales obtienen sus materias primas del aire (en especial oxígeno y nitrógeno), de la tierra (minerales, carbón y petróleo), del agua (hidrógeno) y de la biosfera (como las grasas, el caucho, la madera, los alcaloides, entre otras). O las llamadas industrias de transformación, dado que convierten los productos semielaborados en otros nuevos que pueden ser consumidos directamente por el mercado o ser utilizados por otros sectores.

El efecto sobre el ambiente de las aguas contaminadas debido a la actividad de las industrias pesadas, depende del uso y vertido que se hace de ellas en los distintos procesos de fabricación y mantenimiento. Se consideran entre las más contaminantes a las curtiembres, petroquímicas, celulósicas, siderúrgicas y frigoríficas.

Cuando la producción genera contaminación

A continuación se han seleccionado las industrias (y otras actividades humanas) que por sus desechos, en muchos casos producen mayor impacto en el ambiente y, en especial en el agua. Para un análisis más detenido, se han aproximado al mismo tiempo algunas posibles soluciones y sugerencias que al aplicarlas tienden a minimizar el daño ambiental que producen.

1. Las Curtiembres y su impacto ambiental

Una rama de la industria que produce grandes problemas de contaminación es la que está asociada al tratamiento de los cueros. Sin un procesamiento reglado por normas internacionales y con fuertes inversiones en la remediación, reutilización y saneamiento de las aguas residuales, las curtiembres poseen un alto potencial de impacto sobre el ambiente.

El Programa de la Naciones Unidas para el medio ambiente en 1991, elaboró una guía técnica para reducir el impacto ambiental de las operaciones de las curtiembres, en el cual se analizan las consecuencias principales del uso de compuestos químicos para el curtido, solventes, pigmentos, etc. que suelen ser tóxicos y persistentes, y afectan la salud humana y el ambiente. Considera además que los impactos incluyen efectos sobre el suelo y las aguas superficiales y subterráneas donde se descargan los efluentes, los sitios de disposición de los lodos de tratamiento y residuos sólidos, la calidad del aire y la salud humana.

La depuración de los efluentes industriales de las curtiembres es convencional una vez que se eliminan con variados procesos el cromo y sulfuros presentes. De todas formas hay otros factores que se deben considerar como: la cantidad del efluente vertido, el terreno disponible para su tratamiento y la legislación vigente que regule el accionar de la industria.

Existen varios procedimientos para la desulfuración de cueros y caleros que van desde baños de pelambre por canales alternativos con depósitos especiales

provistos de hélices y difusores de aire, hasta procesos de recuperación y precipitación de sulfuros.

En el caso del cromo se aplican comúnmente el método de alto agotamiento y el de reciclaje de “licor de cromo”. Como medida externa de control de esta sustancia se utiliza la precipitación y la posterior redisolución del cromo.

Del mismo modo, existe un rango variado de control de efluentes en las curtiembres; en algunas ocasiones, por desidia o falta de inversión en el tratamiento de los líquidos de estos residuos industriales se producen numerosos casos de afecciones y enfermedades. Según Téllez (2004), el cromo hexavalente vertido produce efectos en la piel, problemas como: irritación, dermatitis alérgica hasta ulceraciones; irritación del tracto respiratorio superior, rinitis, bronquitis crónica y asma de origen ocupacional; además de ser inmunotóxico, cancerígeno y mutagénico tanto para el hombre como para distintas formas de vida. Referencias sobre esta temática fueron tratadas en otro capítulo, más precisamente en Ecotoxicología.

Un caso ampliamente estudiado es la Curtiembre localizada en Las Toscas, Santa Fe; al respecto se han realizado numerosos estudios y denuncias sobre el impacto de la misma en la zona. En este sentido, Labunska, (2000), asevera que se detectaron niveles elevados de cromo en los efluentes, los lodos de las lagunas y los desechos sólidos asociados con las operaciones de la curtiembre debido al empleo de cromo por parte de la empresa en el proceso de curtido. Estas actividades, según el informe, son el resultado de la liberación de cromo en los alrededores, directamente a través de las descargas en las lagunas o en la acequia, o indirectamente a través de escurrimiento del sitio y/o de la disposición final de los desechos sólidos y lodos de las lagunas. Este autor, junto con otros investigadores de la Universidad de Exeter del Reino Unido, concluye que sería necesario un estudio más detallado para determinar la extensión de la contaminación que ocurre como resultado de estas prácticas.

Otra curtiembre que ha estado en la mira de la justicia es la Curtiembre de Nonogasta (La Rioja), que en los últimos años ha sido denunciada¹ por diferentes organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, y allanada por la justicia por hechos de impacto ambiental en la zona, asociado a enfermedades de la piel, respiratorias y casos de leucemia. Ante la demanda de tratamiento de los efluentes

1 <http://www.infobae.com>. “Allanan la curtiembre Yoma por presunta contaminación ambiental” (15/7/2004).

derivados de la industrialización del cuero, se respondió en su momento que los desechos industriales se tratan en la medida que se van generando y que el cromo utilizado tiene “menor poder de contaminación” que el tipo hexavalente. En la actualidad, y de acuerdo al Centro del Consejo Federal de Inversiones de la Rioja, se encuentra en ejecución una planta de tratamiento de efluentes, que consta de tres etapas. En la primera, se separaran los residuos gruesos y finos, y se mitigará todo el olor. En la segunda etapa, se trabajará con los residuos de cromo y su reutilización. En la tercera, el agua residual se volcará a un sistema de reciclado que podría destinarse para la forestación. En este sentido, la empresa ya está haciendo ensayos: se colocaron 60 plantas, en 6 especies distintas y se está probando la reacción a futuro con el agua de riego.

A pesar de que está comprobado que constituyen industrias altamente contaminantes, en la actualidad no se sabe a ciencia cierta el grado de impacto que han tenido y tienen las curtiembres en nuestro país, no sólo en las aguas superficiales sino en las subterráneas. Por tal motivo es necesario implementar acciones tendientes al tratamiento, recuperación y aprovechamiento de los residuos de las curtiembres con el propósito de minimizar el impacto en el ambiente, lo que implicaría, al mismo tiempo, la reducción de costos por parte de las industrias.

2. Las papeleras en la mira

Indudablemente este es uno de los casos más actuales con relación a la contaminación de las aguas. Existen diferentes posiciones al respecto tanto en la comunidad científica, como en las ONGs (Organizaciones No Gubernamentales) los gobiernos provinciales, nacionales y las empresas vinculadas. Surge la necesidad imperiosa de rigurosos estudios de impacto ambiental y factibilidades, lo más imparciales y técnicos posible, para evaluar riesgos y obrar en consecuencia.

Es necesario tener una mirada global cuando se aborda la industria de la pulpa y la del papel ya que hay que considerarla integrada a la explotación de la flora asociada a éstas.

Por un lado, en este tipo de industria se tiene en cuenta la producción forestal y sus consecuencias; las críticas surgen a partir de la restricción del uso de los campos para el monocultivo de especies como las acacias, el abedul, los pinos o los eucaliptus produciendo pérdida de biodiversidad y acidificación y agotamiento de nutrientes de los suelos, además de la extracción de importantes volúmenes de agua para

el riego de estos de cultivos. Cabe señalar que las plantaciones, en especial, eucalip-tos, son recursos renovables que se van reponiendo periódicamente.

Por otro lado, es necesario analizar los impactos que producen los efluentes industriales derivados del funcionamiento de las industrias de la celulosa. La diver-sidad química de los compuestos que contienen los efluentes, implica un rango muy amplio de análisis de los mismos dado por los efectos que producen en la natura-leza. Además, otro factor que hay que tener en cuenta es la alteración térmica y la reducción de los niveles del agua y otros de naturaleza física que pueden producir cambios profundos en las poblaciones y, en consecuencia, en la diversidad de los ecosistemas acuáticos cercanos.

Altesor (2008) señala que el proceso de producción de celulosa blanqueada comprende una etapa de pulpaje en la que se separan las fibras de celulosa de los otros componentes de la madera (lignina, terpenoides extraíbles y ácidos resínicos) y una de blanqueo en la que se remueve la lignina residual (que le da color a la pulpa). En la etapa de pulpaje se utilizan procesos mecánicos, semi-químicos o quí-micos, estos últimos son los más utilizados, ya que emplean sulfato -denominado kraft porque se aplica a diferentes tipos de madera- recuperan eficientemente a los reactivos y generan una pulpa de mejor resistencia.

En este sentido, Altesor (2008) agrega que dada la toxicidad potencial y los elevados volúmenes de descarga de líquidos, los efluentes requieren un tratamiento previo a ésta. En este sentido, existen tratamientos primarios que procuran remover los sólidos y el material particulado en suspensión y secundarios, que posibilitan la degradación de la materia orgánica a través de la digestión aeróbica o anaeró-bica y reducen la toxicidad asociada a compuestos orgánicos. En la actualidad se incorporaron sistemas de tratamientos terciarios que buscan disminuir el contenido de nutrientes y evitar procesos de eutrofización. Altesor (2008) concluye que la exposición de organismos acuáticos a efluentes tóxicos produce efectos sobre los organismos, dependiendo de factores como el tipo de madera empleada, sistema de pulpaje y blanqueo, sistema de tratamiento, cantidad y calidad del efluente. Redman (1999) señala un conjunto de factores que contribuye a tomar decisiones equivocadas sobre el ambiente y/o los recursos naturales. Destaca los vacíos de conocimiento y el uso de modelos elaborados en otros ecosistemas, con similitudes superficiales pero con diferencias críticas muchas ocasionadas por períodos de observación cor-tos que no permiten captar aspectos fundamentales de la dinámica o las tendencias.

Sobre ésta temática se podría profundizar a partir del análisis del Plan de monitoreo convenido en el caso de la empresa UPM (ex-Botnia), que incluye el monitoreo del aire (en especial gases sulfurados), del agua y de la biota (dioxinas en el agua, organismos bioindicadores).

3. Peligro de contaminación del agua por actividad agropecuaria

Asociada a la actividad agropecuaria, un elemento a considerar se refiere a los recursos de agua, que pueden estar expuestos a dos tipos de alteraciones perjudiciales: las de tipo cuantitativo, en cuyo caso se trata de una alteración del volumen total y de la cantidad disponible en los distintos lugares y temporadas; y las de tipo cualitativo que aluden a una alteración de la calidad y en consecuencia de la aptitud para distintos usos, debido a la presencia de sustancias químicas contaminantes, bacterias, parásitos, etc. Esta última alteración es la que nos convoca a reflexionar sobre la contaminación de los recursos por la producción agropecuaria.

Cuando se analiza el uso del recurso agua en la agricultura, hay que asociarlo indefectiblemente a otras acciones que configuran el hacer agrícola de nuestro tiempo, como la utilización de variedades de alto rendimiento, la aplicación de fertilizantes, acompañados de herbicidas e insecticidas. La producción ganadera también posee un grado de responsabilidad notoria por la producción de grandes cantidades de residuos orgánicos que, junto con los contaminantes agrícolas, producen en muchos casos la contaminación de los acuíferos.

La agricultura ha focalizado su accionar alrededor del uso de agroquímicos (plaguicidas y fertilizantes) dado que son muy importantes desde el punto de vista de la rentabilidad y productividad de determinados cultivos, pero, por otro lado, quedan ausentes del análisis y la valoración el agua y de los suelos (fuente). En la medida en que es abundante, la agricultura de regadío se apropia del agua en forma indiscriminada, provocando así una considerable pérdida de agua en su canalización y transporte en las fincas y parcelas.

Este análisis en la actualidad requiere de estudios que tienden a mejorar y equilibrar la provisión de agua y aumentar su eficiencia, de manera que pueda ser aprovechada tanto por los agricultores de sectores altos como por aquellos que se encuentran aguas abajo. En el caso de la ganadería, la gran concentración de animales y los desechos que producen próximos a las ciudades densamente pobladas y cerca de recursos hídricos, crea considerables problemas de contaminación. En la activi-

dad ganadera se consume gran cantidad de nutrientes a través de los concentrados balanceados y, en consecuencia, se producen mucho más desechos de los que se pueden reciclar como fertilizantes o absorber por las tierras que la circundan. Las aguas de desecho generalmente son arrojadas al ambiente o se almacenan en grandes lagunas, donde pueden derramarse o filtrarse hacia aguas superficiales próximas o a las reservas hídricas subterráneas.

Es interesante señalar que en los sistemas agrícolas mixtos, los productores poseen un mayor conocimiento y control directo del valor y las consecuencias ambientales de los desechos animales que por lo general reciclan y usan como fertilizantes, con la ventaja de consumir menos agua.

Indudablemente es un tema que requiere un profundo análisis, por tal motivo hay algunos conceptos que nos tienen que quedar claro. En este sentido (Montico y Pouey, 2001), hacen mención que toda intervención humana en los agroecosistemas, implica la alteración de algunos o varios de los factores naturales, modificándose de esta manera la interacción entre ellos, y por lo tanto el equilibrio sistémico. Boyce (1995) señala la necesidad de incluir el principio de agro sustentable con un enfoque social y participativo, que enfatice que los sistemas antropizados poseen una nueva dinámica y funcionalidad, regida no sólo por leyes naturales, sino también por las sociales.

4. El agua y los centros urbanos

Muchos de los cursos de agua superficiales y subterráneos en las grandes ciudades se encuentran contaminados o muy contaminados (como es en el caso de la cuenca Matanza-Riachuelo, Reconquista, Luján y Río de la Plata, en la provincia de Buenos Aires) convirtiéndose en depósitos de tipo cloacal, resumideros orgánicos e industriales en muchos casos a cielo abierto (fuente).

Los ríos son generalmente utilizados como receptores finales de residuos líquidos de origen industrial y doméstico; un gran porcentaje de estos efluentes son volcados a los cursos de agua sin tratamiento previo de depuración. Esto produce profundas alteraciones en los ecosistemas fluviales con riesgos para la salud humana.

En ese sentido, se han propuesto innumerables proyectos de saneamiento y recuperación de cursos de agua, apuntando a la depuración de los factores abióticos y a la recuperación de la biota original (fuente). Hay métodos y procesos tendientes a la bio-restauración y limpieza, se requiere un trabajo integrado con grandes aportes económicos para lograr en diferentes etapas el saneamiento del curso de agua.

Además, durante el proceso y a posteriori, es necesario el control continuo tanto del grado de concentración de los contaminantes como los efectos biológicos producidos en las aguas del río.

En este sentido, Santambrosio (2001) hace una diferenciación entre la contaminación urbana de las aguas: las residuales domiciliarias y las de establecimientos comerciales. Por lo general, se ha apuntado a la eliminación de residuos urbanos reduciendo sólo su contenido en materias que demandan oxígeno, sólidos en suspensión, compuestos inorgánicos disueltos (en especial compuestos de fósforo y nitrógeno) y bacterias dañinas. Últimamente, se ha puesto énfasis en controlar y mejorar los métodos de eliminación de los residuos sólidos producidos por los procesos de depuración. Para el tratamiento de efluentes urbanos, en general se pueden considerar tres fases: tratamiento primario, secundario y terciario. (Ver Tabla N° 19)

Tabla N° 15: Tratamiento de efluentes urbanos

TRATAMIENTO PRIMARIO	TRATAMIENTO SECUNDARIO	TRATAMIENTO TERCIARIO
Filtrado de sedimentos con granulometría variada (limos y arenillas). Una segunda filtración más fina. Molido. Coagulación y floculación. Sedimentación.	Oxidación de la materia orgánica diluida con un lodo biológicamente activo. Filtrado final.	Métodos biológicos de última generación para eliminar el nitrógeno Aplicación de métodos físicos y químicos, como la filtración granular y la adsorción por carbono activado, entre otros.

Miguel, M. (2011) Tabla N° 19: Tratamiento de efluentes urbanos

Las aguas residuales industriales, pueden variar en relación al producto y procedimientos aplicados en cada empresa. El grado de contaminación de las aguas residuales está en estrecha relación no sólo con las características comunes, como ser la demanda bioquímica de oxígeno, sino también por su contenido en sustancias orgánicas e inorgánicas específicas. Hay diversas metodologías relacionadas al control y monitoreo de los vertidos industriales; por ejemplo, el control puede realizarse donde se generan, o tratarse previamente y descargarse en el sistema de depuración urbana, o depurarse por completo en la planta; es posible su reutilización para algún proceso productivo en la misma empresa o simplemente volcarlos en flujos o masas de agua.

La temática es compleja, fundamentalmente por la diversificación que posee cada realidad urbana. En este sentido, abundan numerosos proyectos dirigidos al

diseño de políticas de saneamiento y control de las aguas residuales urbanas; quizás sea tiempo de comenzar con la aplicación de medidas consensuadas y organizadas tendientes a brindar soluciones, comenzando desde los ámbitos políticos nacionales y, en especial, desde las grandes urbes.

5. La minería, impacto en las cuencas acuíferas

Desde que el hombre es hombre fue obteniendo los recursos de acuerdo a sus necesidades. Distintos tipos de actividades fueron tomando forma a lo largo del tiempo para convertirse en actividades de subsistencia en un primer momento y de excedentes, posteriormente traducido en riqueza y progreso. Siempre hubo impacto sobre lo natural. Con respecto a la Minería, sabemos que es una de las principales industrias para el mantenimiento y el progreso de las sociedades actuales. Pero entonces ¿cuál es la discusión y el debate en la actualidad sobre la contaminación que produce el sector minero en el ambiente?

Los impactos de los proyectos mineros sobre la calidad de los recursos hídricos, deben constituir una preocupación central a la hora de autorizar la explotación minera de cualquier índole (fuente).

En cuanto a la utilización del recurso agua hay varios factores que van en detrimento de la calidad de la misma o de la disminución de sus volúmenes en corto tiempo. En ese sentido, la llamada megaminería a diferencia de otras minerías tradicionales, es un tipo de explotación que consume volúmenes desproporcionados de este bien público, por lo general en ambientes semiáridos o áridos donde el líquido vital es escaso. Este tipo de explotación reduce el volumen de agua de las napas freáticas locales dado que diariamente necesita millones de litros de agua. Por otro parte, el agua que se consume con calidad de recurso natural se va transformando en agua de mala calidad, como producto de la contaminación por acción de drenajes mineros de tipo ácido. Esto ocurre cuando son removidas enormes cantidades de rocas que provocan el contacto de los sulfatos con el agua, como así también con metales pesados y de tipo químico, nocivos para el consumo, como el ácido sulfúrico y el cianuro, cuando por distintos motivos se derraman a un curso de agua (fuente).

Parece ser que a pesar de que existen numerosos métodos y técnicas de tratamientos de efluentes y de circulación de los mismos, el impacto sigue siendo importante para la cuenca hídrica implicada. En muchos casos las aguas son depositadas

en estanques, muchos de los cuales tienen gran probabilidad de fisuras y rupturas por actividad geológica, ambiental o humana.

En el caso de evaluación ambiental e impacto de la explotación minera hay que tener en cuenta, en primer lugar, que las explotaciones a grandes escalas se realizan en ambientes altamente sensibles cuya destrucción no tiene recuperación en tiempos humanos. Vaughan (quién es?) considera que “en términos sociales y ambientales” la minería a cielo abierto es una de las actividades industriales de mayor impacto ambiental (AECO-AT, 2001).

Política de control y gestión ambiental sobre el recurso agua con relación a la contaminación

Para finalizar queda preguntarse ¿cómo se puede afrontar la problemática del agua desde los centros de decisión?

Como ha quedado expresado a lo largo del capítulo, es necesario enfocar este tipo de problemática a través de una visión holística y sistémica que posibilite analizar las diversas variables que entran en juego como acciones o factores contaminantes del agua y las posibles alternativas de solución, a partir de una gestión multidisciplinaria que involucre los intereses de una gran mayoría y no de algunos pocos.

Por tal motivo es imprescindible la planificación de acciones dirigidas a la gestión y control del agua con relación a las enfermedades, deterioro ambiental y estancamiento económico, producido indirecta o directamente por la disminución y la contaminación de los recursos hídricos. En ese sentido surge la necesidad de diseñar políticas de estado que apunten a la concientización de la población (pobladores, empresarios, docentes, industriales, entre otros) sobre el uso adecuado de este recurso vital, además de apelar a la conservación del agua dulce y a la búsqueda de nuevas fuentes de agua para el consumo humano.

En cuanto a las explotaciones agropecuarias, industriales y mineras hay que considerar nuevos métodos, menos destructivos y sustentables en el tiempo, que produzcan un equilibrio entre lo producido y beneficie tanto a la sociedad como al ambiente natural implicado.

Es necesario comprender que el agua tiene un valor cultural muy profundo, el uso de la misma como un depósito de desechos tiene que ser sólo un capítulo temporal de la historia del hombre, que con el tiempo se va cerrando. Indudablemente

es una responsabilidad de la humanidad dado que el agua es un bien escaso y es para todos, aún para los que no han nacido, es por ello que la toma de conciencia de la problemática en su conjunto se configura como un posicionamiento actitudinal comprometido. En ese sentido, uno de los caminos que llevan la adopción de esta actitud es comprender algunas cuestiones básicas teóricas y luego ponerlas en juego en situaciones de las realidades regionales, las cuales al generalizarse posibiliten la comprensión de otras problemáticas alejadas en el tiempo y en el espacio. Hay formas responsables de enfrentar el problema, comenzando por el manejo de la información actualizada, con bases formales y experimentales, para luego diseñar y/o colaborar en la toma de decisiones para su control y gestión que beneficie a una gran mayoría y no a unos pocos.

Una de las propuestas más fuertes que flotan en la sociedad actual en materia de gestión ambiental, es aquella que apunta a un desarrollo sostenido de políticas de producción del país que incluya al ambiente como un bien social, tanto en el presente como en el futuro. Por tal motivo es necesaria una planificación adecuada sumada a un fuerte potencial de lo tecnológico y a la eficiencia de los mecanismos para regular y mitigar los impactos no deseados dentro de un marco de sustentabilidad ambiental y social.

PALABRAS FINALES

Analizar la contaminación del agua como problemática en nuestro país resulta, por lo menos, complejo por innumerables causas: diversidad de regiones con alta urbanización o con zonas poco habitadas; disímiles geografías que muestran una diversidad de realidades; riberas y ríos, costas marítimas, altas montañas, zonas áridas y desiertas; extensiones cultivadas o de baja producción, etc.

Éste libro ha mostrado sistemáticamente cuestiones científicas con información actualizada, tratando de exponer un panorama de la problemática de la contaminación del agua desde distintos enfoques: físico, químico, biológico y sanitario, buscando las representaciones de estos, en casos paradigmáticos en nuestro país.

Las pretensiones de éste libro tienen una orientación interpelativa para analizar y debatir en ámbitos educativos sobre esos aspectos de la contaminación, para ser utilizados como cuerpo de información pero también como disparador de debates y posicionamiento frente a la problemática.

Pensamos que el lector tiene la última palabra, y pueda darle utilidad otorgándole dinamismo a través de su incorporación al discurso educativo institucional.

Bibliografía

- ACOSTA, I., CÁRDENAS, J.F., ALVARADO -HERNÁNDEZ, D., MOCTEZUMA-ZÁARTE, M.G. (2008). "Remoción de Cromo (VI) en solución acuosa por la biomasa de *Paecilomyces*". Rev. Inf. Tecnol. 19(1): 69-74.
- AECO-AT. (2001). Minería de cielo abierto y sus impactos ambientales. Preparado para el frente Nacional de Oposición a la minería de Oro a Cielo Abierto. Cita a Vaughan (1989) Ed. AECO-AT, Costa Rica, 10 p.
- ALTESOR, A. (2008) et al. La industria de la celulosa y sus efectos: certezas e incertidumbres. Ecología Austral 18:291-303, Asociación Argentina de Ecología.
- ANDREOTTI C Y GAGNETEN AM. (2006). "Efectos ecotoxicológicos del sedimento del río Salado inferior (Argentina) en la supervivencia y reproducción de *Moinamicrura* (Crustacea, Cladocera)". Rev. Toxicol. 23: 146-150. Departamento de Ciencias Naturales. Facultad de Humanidades y Ciencias. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe. Argentina.
- BACCARO, K., DEGORGUE, M., LUCCA, M., PICOTE, L., ZAMUNER, E., ANDREOLI, Y. (2006). *Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de Mar Del Plata*. RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias 35(3): 95-110.
- BÁRBARO, N.O. (coord.) (2003). "Prioridades en ciencia y tecnología para el uso sustentable de los recursos naturales en el marco de las políticas nacionales". (s/d)
- DIRECCIÓN NACIONAL DE PROGRAMAS Y PROYECTOS ESPECIALES, Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva; Ministerio de educación, Ciencia y Tecnología, Buenos Aires.
- BARTRAM, J. Y BALLANCE, R. (1996). *Water Quality Monitoring: a practical guide to design of freshwater quality studies and monitoring programmes*. Londres: Chapman Hill.
- BENITEZ, R. O., ÁLVAREZ, J. A., DAHBAR, M. O. RIVERO, S. I. (2008) Alternativas tecnológicas a tener en cuenta para la toma de decisiones frente a la problemática del arsénico en el agua de bebida. Programa Nacional de Minimización de Riesgos por Exposición a Arsénico en Agua de Consumo - Res. Ministerial 253/01 Ministerio de Salud de la Nación-Monografía
- BISTONI, M.; HUED, A., VIDELA, M. Y SAGRETTI L. *Efectos de la calidad del agua sobre las comunidades ícticas de la región central de Argentina*. Revista Chilena de Historia Natural 72: 325-335.
- BLESA, M. A. (2010) Temas Ambientales vistos desde la química con énfasis en la contaminación del agua. Conferencia. Proyecto Escritura en ciencias. Buenos Aires: INFOD
- BONELLI, C. L. (dir); Pílan, M; Reuter, A; Pecce Azar, F; Storniolo, A; Betancourt, D; Dominguez Ruben, J; Lascano, L; Villalba, H; Bazán, R; Larrosa, N; Del Olmo, S; Bistoni, M; Bonansea, M; O' Mill, P; Muratore, H; Cerminato, F; Bellittieri, P; Glatstein, D; Monarde, F. y Orueta, A. (2007) Programa de Monitoreo del Embalse Río Hondo. Informe final. Secretaria de Recursos hídricos. Santiago del Estero. Argentina.
- BONETTO, C. (2007). *Caracterización del régimen trófico del Embalse San Roque*, Córdoba. Trabajo presentado en XXI Congreso Nacional del agua, realizado del 15 al 19 de mayo de 2007. Publicado en Actas. Tucumán, Argentina.
- BOYCE, J. (1995) *Equity and environment: social justice today as a prerequisite for sustainability in the future*. Alternatives, 21 (1) , 339-350

- BRAILOVSKY, A. (2007) *Ésta, Nuestra Única Tierra*. Buenos Aires: Ediciones Maipue.
- BUSTAMANTE, M.A., RUBIAL CONTI, L. A., RODRÍGUEZ, M.I., LOPEZ, F., BUSSO, F., CALCAGNO, A., MENDIBURO, N. Y GAVIÑO NOVILLO, M. (2000). Manejo integrado de los recursos hídricos (en Agua para el Siglo XXI: De la Visión a la acción") Informe sobre la gestión del agua en la República Argentina. Global WaterPartnership. WWC, CME, WorldWaterForum.
- CALLEGARO, R.S.; CUSIMANO, N.O.; DEAMBROSI, N.E.; ALBINA, L.C., (1998). Métodos prácticos para la corrección de aguas arsenales. Laboratorio de Ingeniería Sanitaria, Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de la Plata.
- CALVO, M. ET AL. (2003). Aprovechamiento y Gestión de las aguas residuales de las Industrias Agroalimentarias. Madrid. Mandí Prensa.
- CALVO, M. (2004) Depuración de las aguas residuales por tecnología ecológica y de bajo costo. Madrid. Mandí Prensa.
- PAGANELLI A., GNAZZO V., ACOSTA H., LOPEZ S., CARRASCO A. (2010). Glyphosate-Based Herbicides Produce Teratogenic Effects on Vertebrates by Impairing Retinoic Acid Signaling. *Chem. Res. Toxicol.* 23 (10), pp 1586-1595.
- CASTILLO MORALES, G. (ed.) (2004) Ensayos toxicológicos y Métodos de Evaluación de Calidad de Aguas. Estandarización, Intercalibración. Resultados y Aplicaciones. México: Centro Internacional de Investigaciones para el desarrollo. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- CASTRO, G., E. PLANES. (2010) Ecotoxicología. Apuntes de curso extracurricular de la Especialización en evaluación de contaminación ambiental y su riesgo. Edición 2010.
- CASTRO DE ESPARZA, M.L. (2006) Remoción de arsénico en el agua de bebida y biorremediación de suelos. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS-SB/SDE/OPS), Urbanización Camacho, La Molina, Lima, Perú
- CICERONE, D. y otros. (2005) Contaminación y medio ambiente. Buenos Aires: Eudeba .
- CHANG GÓMEZ, JOSÉ V. Calidad de agua (FMAR -01677) Versión 1.0 Guayaquil -Ecuador
- CHUDNOVSKY, D., LÓPEZ, A. Y FREYLEJER, V. (1997) La prevención de la contaminación en la gestión ambiental de la industria argentina. Proyecto Competitividad, Innovación tecnológica y Desarrollo Sustentable. IDRC, North South Center de la Universidad de Miami y la Avina Foundation.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente-Región Metropolitana (1999) Guía para el control y prevención de la contaminación industrial. Curtiembre. Santiago
- DE LA LANZA ESPINO, G. ;HERNANDEZ PULIDO, S., CARVAJAL PEREZ, J.L (comp). (2000). Organismos indicadores de la calidad de agua y de la contaminación (bioindicadores). 633p. México.
- DE LEÓN, L. (2004). Floraciones algales de agua dulce: cianobacterias, cianotoxinas. Curso toxinas naturales - CIAT- Facultad de Medicina. Boletín de Vida Silvestre. Nº 54: 4-5.
- DEFENSOR DEL PUEBLO DE LA NACIÓN, et al. Informe Especial sobre la Cuenca Matanza-Riachuelo. (2003). Buenos Aires: Defensor del Pueblo de la Nación y otros.
- DOJLIDO J. Y G.A. BEST. (1993). Chemistry of water and waterpollution. Ellis Horwood. 363 pp.
- FAIGUENBAUM I. (1995) Algunas reflexiones en torno a límites máximos de contenido de arsénico en el agua. *Ingeniería Sanitaria y Ambiental.* (20): 53-58, Jul. 1995.
- FERNANDEZ, H., F- ROMERO, M. VETE, V. MANZO, M. ORCE. (2002). Evaluación de tres índices bióticos en un río subtropical de montaña (Tucumán - Argentina). *Limnética* 21 (1-2): 1-13.
- FERNÁNDEZ CIRELLI, A. (ed.) (2003) El Agua en Iberoamérica. Aportes para la integración entre los

- organismos de gestión y los centros de investigación. CYTED XVII. Cartagena de Indias, Colombia.
- FONTURBEL F. MOLINA. C. (2004). *Origen del agua y el oxígeno molecular en la Tierra*: Elementos: Ciencia y Cultura, marzo-mayo, año / vol.11 número 053. Benemérita Universidad de Puebla. Puebla Mexico. Pp.3-9.
- GARCIA, I., RODRÍGUEZ, J., LOPEZ, F., TENORIO, I. (2010). Transporte de Contaminantes en Aguas Subterráneas mediante Redes Neuronales Artificiales. *Inf. tecnol.* 21(5): 79-86.
- GOYENOLA, GUILLERMO (2007) Guía para la utilización de las Valijas Viajeras- Conductividad. Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos. RED MAPSA
- GRAY N. I., ETXARRI LÓPEZ. (1999). Calidad del agua potable: problemas y soluciones (p 365). España. Acribia.
- GUEVARA, E. (2001). Modelación estocástica de DBO y OD. Caso estudio Río Cabrales. Valencia Venezuela. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, 2001. Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO-5 días.
- HELMER R. , I. HESPANHOL (1999) Control de la contaminación del agua. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, OPS/OMS.
- HENRY, J. GLYNN Y HEINKE. GARY W. (1999) Ingeniería Ambiental. México: Prentice Hall.
- IMTA. (1997). Remoción de arsénico de agua para consumo humano. Informe Final. México
- JOHNSTON, R.; HEINJEN, H.; WURZEL, P.(2001). Arsenic in Drinking Water, Cap. 6: Safe Water Technology, OMS, Final Draft.
- KOPTA, F. (1999). Problemática ambiental con especial referencia a la Provincia de Córdoba. Fundación Ambiente, Cultura y Desarrollo - ACUDE. Edición auspiciada por UNESCO y financiada por la Embajada Real de los Países Bajos.
- LAVADO R. (dir) y Rimski-Korsakov H. (2009) Cuantificación de la pérdida de Nitratos por Lixiviación en dos suelos de la Pcia. de Buenos Aires Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes. Tesis Doctoral (no publicado) Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- LEHIMAS, F., CHAPMAN, I., BOURGINE, P. (1999). Use of biological processes for arsenic removal: a cost effective alternative to chemical treatment for As³⁺ in groundwater
- LÓPEZ, L. et al. (1998) Estudios de Mutagenicidad, Inhibición del crecimiento algal y contaminación química en aguas superficiales de un río urbano en Buenos Aires, Argentina. En Revista Internacional de Contaminación Ambiental, año/vol. 14, número 001, Universidad Autónoma de México, México.
- LÓPEZ M; SÁNCHEZ E; ROMANO L; MENDOZA J Y MÉNDEZ T. (2005). El Agua. Servicio de Reprografía, Encuadernación y Autoedición de la Universidad de las Palmas de Gran Canaria ULPGC
- LÓPEZ GARCÍA, E.; ZAVALA CRUZ, J. Y PALMA-LÓPEZ, D. (2006). Caracterización de las comunidades vegetales en un área afectada por derrames de Hidrocarburos. *TERRA Latinoamericana*, Vol. 24, Núm. 1, pp. 17-26 Universidad Autónoma Chapingo México
- LUJÁN, J., (2001). Un Hidrogel de Hidróxido de Aluminio para Eliminar el Arsénico del Agua, *Revista Panamericana de Salud Pública*, 9(5), 302-305.
- MACKAY, D. Y PATERSON, S. (1991). Evaluación del Destino Multimedia Regional de Compuestos Orgánicos: Un modelo de fugacidad de nivel III. *Medio Ambiente. Ciencia. Tecnología.* 25: 427-436. Centro canadiense de modelización ambiental.
- MAROZZI M.; DEVERCELLI, M.; POLLA, W., VILLALBA A. (2004). Cambios en la morfología y en la tasa de crecimiento del repollito de agua (*Pistiastratiotes L.*) asociados a la presencia de cromo. *Natura neotropicalis* 34 y 35:63-69.

- MASSOL-DEYÁ, A.; FUENTES, F. (2002). Manual de Laboratorios Ecología de Microorganismos. Universidad de Puerto Rico. Puerto Rico
- MC JUNKIN, F. (1985). *Agua y la Salud Humana*. (p 294). Lima. CEPIS.
- MCMASTER, M.; J. L. PARROTT Y L.M. HEWITT. (2003). A Decade of Research on the Environmental Impacts of Pulp and Paper Mill Effluent in Canada (1992-2002). National Water Research Institute, Burlington, Ontario. NWRI Scientific Assessment Report Series No. 4. 84 Pp.
- METCALFÉ, J.L. (1989). Biological Water Quality Assessment of Running Water Based on Microinvertebrate Communities: history and present Status in Europe. *Env. Poll.* 60: 101.169.
- CERVELLI DE VIDARTE, CORTI, DREWES Y MARTINELLI. (2003). *Química Ambiental. Modulo II: La Química Ambiental*.
- MOJZSIS, S. (1998). El Origen de la Vida en la Tierra, National Geographic, en español, vol. 2 (3), pp 54-81
- MONTENEGRO, R. (2006) Las actividades Megamineras del Proyecto Famatina-Barrick Gold son extremadamente peligrosas para la salud de las personas, los ecosistemas donde se asientan, y la estabilidad ambiental a largo plazo. FUNAM. Cátedra de Biología Evolutiva Humana. Facultad de Psicología. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba.
- MONTERO, H. (2007) Diagnóstico de un presente crítico. Entrevista a Miguel Blesa. Revista Nómada, Universidad Nacional de San Martín, número 7. Pág. 10-13.
- MONTICO, S. (2004). El manejo del agua en el sector rural de la región Pampeana argentina. En Revista Theomai. Estudios sobre Sociedad, Naturaleza y Desarrollo. Universidad Nacional de Quilmes. Quilmes. Cita a Mc Mahon, G. y Remy, F. (ed.) (2003) Grandes Minas y la Comunidad. Efectos Socioeconómicos en Latinoamérica. Canadá y España. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Bogota: Alfaomega colombiana S.A.
- MORENO DE GUERRA GIRON, R. (1979). Identificación de las anomalías hidrogeoquímicas de la cuenca de Madrid. Memoria. II SIMPOSIO NACIONAL DE HIDROGEOLOGIA. Pamplona.
- Naciones Unidas. (2007). Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos (SGA). Anexo 9. Guía de los peligros para el medio ambiente acuático. 475-566.
- NADER, G, SÁNCHEZ PROAÑO, P. Y D. CICERONE. (s/f) Modelo de calidad de agua para el transporte de metales en la cuenca media del Río Reconquista. DQA&S. CNEA. Centro Atómico Constituyentes. San Martín. UNSAM. San Martín. Buenos Aires.
- Normas Internacionales para la Calidad del Agua de Bebida, CEPIS/ OPS-OM.
- NORMAS UNE-EN-ISO (1995). Español 7887 Calidad del Agua. Examen y determinación del color. AE-NOR. Madrid España
- ONGLEY, M. (1997). Snow como una fuente de escorrentía: una experiencia de campo en geología de la no-ciencia, GSA Programas con resúmenes. vol. 29, no. 5.
- PAULINO, C. APELLA M., PIZARRO, R. Y M. Blesa (2010) La contaminación biológica. En Los Grandes Temas Ambientales Argentinos en el Bicentenario. Segunda entrega: La contaminación del agua en el siglo XXI. Documento del Programa Escritura en Ciencias INFOD.
- PAZ, M., MAGDALENO, A., TORNELLO, C., BALBIS, N., MORETÓN, J. (2008). Genotoxicidad y determinación de compuestos tóxicos en un residuo líquido hospitalario de Buenos Aires, Argentina. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 24 (2): 79-87.
- PÉREZ GATTORNA E. (1996). Experiencias en la remoción de arsénico por coagulación en los EEUU de Norteamérica. *Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, (25): 71-82.

- PLAFKIN, J.L. (1989). Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Rivers; Benthic Macroinvertebrates and Fish. U.S. E.P.A., Cincinnati, OH (EPA/440/4-89/001).
- PNUMA (1991). Curtiembres y el medio ambiente. Una guía técnica para reducir el impacto ambiental de las operaciones de la curtiembre. Serie de informes técnicos N° 4. Industria de programa de medio ambiente de las Naciones Unidas y la Oficina de medio ambiente. USDHHS (1998). Estados Unidos departamento de salud y servicios humanos.)
- PROGRAMA INFOAGUA (2008) Observatorio mundial de la información Hídrica. Ciencia e Investigación Argentina. Mendoza: Editorial / Arsénico: un hallazgo alentador
- RAMALHO, R. (2003). Tratamiento de las aguas Residuales. Edición reservada. Barcelona. Reverté S.A
- RAZ-GUZMÁN, A. (2006). Crustáceos y Poliquetos. En Silva, G., G. Castro Mejía, I. Gonzalez Mora, R. Perz Rodríguez, T. Castro Barrera. 2006. Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. Hydraweb 7p.
- REDMAN, CL. (1999). Human impact on ancient environments. The University of Arizona Press, Tucson. 239 Pp.
- REINJNDERS, P.J.H. (1986). *"Reproductive failure in common seals feeding on fish from polluted coastal waters"*. Nature 324: 456-457. En Castello, H., Junín, M., Rotman, F., Sarti, G. 1997. Análisis de contaminantes organoclorados y metales pesados en franciscana, *Pontoporiablainvillei*, de Argentina y Brasil. Reporte del tercer Workshop for coordinated conservation of *Pontoporiablainvillei* in the Southwestern Atlantis. 117 p.
- REVISTA NATIONAL GEOGRAPHIC en Español. Reporte Especial: Agua. (2010). Abril. Vol 16 (4). Nacional Geographic Society. 94 p.
- RHIM, A., ARELLANO, J. Y SANCHA A. (1998) Uso de test de lixiviación para caracterización de residuos del área minera y reflexiones sobre gestión de residuos peligrosos en América Latina. Santiago: División de Recursos Hídricos y Medio ambiente y CENMA. Universidad de Chile.
- ROSEGRANT, MARK. CAI, X. CLINE, S. (2002) Programa global del agua hasta el año 2025: como impedir una crisis inminente. Instituto Internacional para el Manejo del Agua. Colombia Sri Lanka
- SANTAMBROSIO, E. (2001) Tecnología y medio ambiente. Universidad del Centro Educativo Latinoamericano, Colección cuadernillo UCEL, Rosario.
- SILVA, G., G. CASTRO MEJÍA, I. GONZALEZ MORA, R. PERZ RODRÍGUEZ, T. CASTRO BARRERA. (2006). Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. Hydraweb. 7 p.
- SIMANAUSKAS, TRISTÁN. (2008) Calentamiento Global. Buenos Aires: Ediciones Continente.
- SOLER, J.J. (2002). Selección natural y adaptación. Evolución: la base de la biología (Soler, M. Ed.). Proyecto Sur, Granada. 127-157.
- STODDARD, C.S., COYNE, M. S., GROVE, J.H. (1998). Fecal bacteria survival and infiltration through a shallow agricultural soil: Timing and tillage effects. J. Environ. Qual. 27: 1516-1523. En Baccaro, K., Degorgue, M., Lucca, M., Picote, L., Zamuner, E., Andreoli, Y. (2006). Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de Mar Del Plata. RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias 35(3): 95-110.
- UNESCO. Agua para todos. Agua para la Vida. (2003). Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. Paris: UNESCO/Mundi-Prensa Libros.
- Unidad Sectorial de Medio Ambiente (U. S. M. A.). (2001). Ministerio de Desarrollo Economico, Viceministerio de Minería y Metalurgia. 1 Guía Ambiental Para el Manejo de Aguas en Actividades Minero-Metalurgicas. La Paz - Bolivia

- VIDONI R, STORNIOLA A, PACINI VA, INGALLINELLA AM & SANGUINETTI G. (2009b). Remoción de arsénico en presencia de hierro y manganeso mediante procesos biológicos en aguas subterráneas. Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, San Rafael, Mendoza.
- VILLEGAS, L.B. ET AL. (2008). Biometals. hromateremovalbyyeastsisolatedfromsediments of a tanning-factory and a mine site in Argentina. Volume 21, Number 4: SpringerScience+Business Media, LLC.
- WARD, M.H., MARK, S. D., CANTOR K. P., WEISENBURGER, D.D., A. CORREA-VILLASEÑOR Y S. H. ZAHM. (1996). Drinkingwaternitrate and therisk of non- Hodgkin' slymphoma. Epidemiology. 7:465-471. En Baccaro, K., Degorgue, M., Lucca, M., Picote, L., Zamuner, E., Andreoli , Y. (2006). Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de Mar Del Plata .RIA.Revista de Investigaciones Agropecuarias 35(3): 95-110.
- WETZEL, R. (1981). Limnología, Ediciones Omega S. A., Barcelona, 679 pp.
- ZILLI, F Y GAGNETEN, A. (2005). Efectos de la Contaminación por metales pesados sobre la comunidad bentoica de la Cuenca del Arroyo Cululú (Río Salado delNorte, Argentina). Interciencia 30- 003. Asociación Interciencia. Caracas. Venezuela, pp 159-165.

Documentos en internet:

- NASA.,(2001). GoddardSpace Flight Center. Firstevidencethatcometsfilledtheoceans: A dyingcometcomet'skeinmayhavenourishedlife of Earth. <http://www.gsfc.nasa.gov/gsfsc/spacesci/origins/linear-water/linearwater.htm>
- TOBIAS, C. (1998). What do weknowabouttheorigin of theeath'soceans? Isit more likelythatthey derive fromicycometsthatstrucktheyoungEarthorfrom material releasedfromtheEarth's interior duringvolcanicactivity? Scientific American: Ask theExperts: Environment, sf., <http://www.sciam.com/ask-expert/environment/environment13.html>
- WOOD, C. (1999). I'vehearthatthewater of theoceanscamefromvolcanoes, sf., Personal communicationwith Cliff Unger, postedon Internet at http://olcano.und.nodak.edu/vwdocs/frequent_questions/grp13/question1650.html
- SCIENCEWEEK (1999). Science-weekfocusreport: Earthscience: Origin of wateronEarth, <http://scienceweek.com/swr065.htm>
- MONTEVERDE, CIPPONERI Y ANGELACCIO. Falta de Servicios de Saneamiento, Pobreza y Enfermedades de Origen Hídrico: El Caso del Conurbano Bonaerense. Unidad de Investigación, Desarrollo y Docencia, Gestión Ambiental (UIDD GA), Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Disponible en: <http://www.produccion.fsoc.uba.ar/aepa/xjornadas/pdf/44.pdf> [Consultado en octubre 2010]
- FAO/OMS, (2003). Caracterización de peligros de patógenos en los alimentos y el agua: directrices. Ginebra (Suiza), Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas/Organización Mundial de la Salud (serie Evaluación de riesgos microbiológicos, N.º 3). Disponible en: <http://www.who.int/foodsafety/publications/micro/en/spanish.pdf>.
- El Agua, una Responsabilidad compartida. 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. Disponible en: www.unesco.org/Water/wwwap/index_es.shtml
- TOLCACHIER A.J. Medicina Ambiental. Libro virtual. IntraMed. http://medioambiente.gov.ar/archivos/web/salud_ambiente/File/8.pdf

CALCAGNO, A, MENDIBURE, N GAVIÑO NOVILLO, M. (2009). Agua para el Siglo XXI: De la visión a la acción. Informe sobre Gestión de agua en la Argentina Disponible en: www.eclac.cl/DRNI/proyectos/samtac/InAr00200.pdf [Consultado Octubre de 2010]

Environment. WHO, Geneva (2004). Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/wsh0404.pdf [Consultado en Octubre de 2010].

UNICEF, (2006). "Progreso para la Infancia. Un Balance sobre Agua y Saneamiento". Número 5, Septiembre de 2006.[consultado en octubre de 2010]

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd68/016748/seccion2.pdf>

Prowater Argentina. Enfermedades de transmisión hídricas. Pdf. www.prowaterargentina.com.ar . [Consultado en Octubre 2010].

Biblioteca Nacional de Medicina de EEUU Instituto Nacional de la Salud. <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/000296.htm> [Consultado en Octubre 2010]

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud 1998

GENTILE N, MAÑAS F, PERALTA L, AIASSA D; Encuestas y talleres educativos sobre plaguicidas en pobladores rurales de la comuna de Río de los Sauces, Córdoba. Revista de Toxicología en Línea http://www.sertox.com.ar/img/item_full/30004.pdf [Consultado en Octubre 2010].

Informe científico de referencia publicado en 2001 por un amplio grupo internacional de científicos del IPCS (Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas) y de la OMS (Organización Mundial de la Salud). EnvironmentalHealthCriteriaforArsenic and ArsenicCompounds (EHC 224)

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación: Epidemiología del Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE) en la Rep. Argentina <http://www.ambiente.gov.ar/?idarticulo=627> [Consultado en Octubre 2010].

Las Guías: un marco para la seguridad del agua de consumo http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_2_fig.pdf [Consultado Octubre de 2010] Estándares europeos de la calidad del agua potable

<http://www.lennotech.es/estandares-calidad-agua-oms.htm#ixzz13iOoh7HQ> [Consultado Octubre de 2010]

Pueblos Fumigados http://www.grr.org.ar/trabajos/Pueblos_Fumigados__GRR_.pdf[Consultado en Octubre 2010]

<http://www.infobae.com>. Allanan la curtiembre Yoma por presunta contaminación ambiental (15/7/2004).

<http://www.dsostenible.com.ar>. Desarrollo sostenible. Situación Ambiental Argentina. Mina de oro en Esquel. Información complementaria. Estudio sobre el impacto ambiental y sanitario de las minas de oro. El caso cordón Esquel. Dr. Raúl A. Montenegro.

Contaminantes y Fuentes de Contaminación. (s.f.). Extraído el 11 de Julio de 2011 de <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=1800>.

Prosperi, C; Mancini, M; Rodriguez, C; Finola, M. y Basualdo, C. (2000). Mortandad de peces en un lago recreacional del sur de Córdoba, Argentina Revista AquaTIC, n° 11, Octubre 2000. [Disponible el 30/10/2010 en URL: <http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?t=h&c=94>]

Santos, C. y Vladomir, S. (2006). Agua: la construcción social de un derecho humano. Situación y perspectivas en América Latina. Informe elaborado por la Plataforma Interamericana de Derechos Humanos, Democracia y Desarrollo (PIDHDD) sobre la situación y perspectivas en América Latina del derecho humano al agua. Recuperado de <http://www.gloobal.net/iepala/gloobal/hoy/index>.

- [php?id=2049&canal=Informes&ghoy=0009&secciontxt=01](http://www.cfirefired.org.ar/?php?id=2049&canal=Informes&ghoy=0009&secciontxt=01)
Centro CFI La Rioja (2010). La obra de plantas de efluentes. Consejo Federal de Inversiones. <http://www.cfirefired.org.ar/>
- Reynoso, L., Andriulo, A. (2009). Estado actual de la calidad del agua del Arroyo Pergamino. 23 p. www.inta.gov.ar/pergamino/.../2009/Calidad_agua_Cuenca_APerg_jun09.pdf
- Chapman D. (1996) Evaluación de la Calidad del Agua. 2ª edición. Chapman and Hall. Publicado en nombre de UNESCO/WHO/UNEP. Gran Bretaña, 585 pp.
- Contaminación Térmica, s. f. Registro N° 188.540 . Recuperado Noviembre 22, 2011 de <http://seagrant.uprm.edu/MOP/water-quality/contaminacion-termica.htm>
- Iriarte, Mercedes. (2002). Contaminación Ambiental, Parte II Microbiología
Metales pesados presentes en el agua.
<http://www.fcyt.umss.edu.bo/docentes/29/practicas/practica4.pdf>
- Análisis de Laboratorio. <http://www.saludhoy.com/htm/saludtr/articulo/laborat2.html>
- Davila, M. (2010, Noviembre 24). Consideran que Aguas Cordobesas “incumple” con normas de la OMS. Actualidad Juridica. Recuperado febrero 19, 2011 de http://www.actualidadjuridica.com.ar/noticias_viewview.php?id=8914
- <http://www.unsam.edu.ar/secretarias/academica/newsletter/newsletter-2010-4-arsenico.html>
- <http://www.textoscientificos.com/quimica/osmosis/abastecimiento-agua>
- <http://intra.ada.gba.gov.ar/intra/infoagua/200812/noticias/171909.html>
- <http://www.lenntech.es/nanofiltracion-y-osmosis-inversa.htm>
- <http://www.tecspar.org/Documentos/SALTA2007/dia1.%20tarde/Ana%20Cardozo.ppt.pdf>
- <http://www.puntoambiental.com/informes/arsenico.pdf>
- http://www.ecoportel.net/Temas_Especiales/Agua/Contaminacion_Arsenico_y_posibles_soluciones
- http://www.mapaeducativo.edu.ar/images/stories/men/mapa_arsenico.jpg - http://www.produccion-animal.com.ar/agua_bebida/30tecnologias_remocion_arsenico.pdf

Impreso en Buenos Aires, Argentina.
en el mes de marzo 2012

SERIE CUADERNOS DE TRABAJO DOCENTES APRENDIENDO EN RED

El sector de Educación de la Oficina de Montevideo-Representación ante el MERCOSUR implementa sus acciones programáticas a nivel nacional y subregional en el marco del Proyecto Regional de Educación para América Latina y el Caribe (EPT/PRELAC 2007).

Los ministros de Educación de la Región han afirmado que la educación es un bien público y llave para la construcción de un mundo más justo, señalando siete temas centrales en sus recomendaciones (www.unesco.org/Santiago). Esta nueva serie de publicaciones, que hemos titulado Docentes Aprendiendo en Red (DAR) se nutre selectivamente de las recomendaciones referentes al “derecho de las personas a aprender a lo largo de la vida” desde “enfoques educativos para la diversidad, la inclusión y la cohesión social”. La serie pretende acercar al docente lector materiales de apoyo educativo, elaborados por algunos de sus pares docentes que han sido participantes activos de proyectos innovadores asistidos por UNESCO.

A nivel nacional, implementar estas recomendaciones potencia una de las funciones de la UNESCO que denominamos “laboratorio de ideas”. En ese sentido, la temática de acortar distancias entre las investigaciones universitarias y la formación de docentes en ciencias es uno de nuestros centros de interés programático. Entendemos que trabajar a favor de los educadores de la enseñanza demanda asistir técnicamente en el diseño de proyectores innovadores fundamentalmente en dos aspectos:

a) Requerir y fomentar equipos con profesionales diversos que sean referentes para el tema seleccionado y se encuentren dispuestos a “Aprender juntos” (Delors 1996)

b) Incluir en el diseño instancias colectivas de formación, discusión y planteo de dificultades con-

ceptuales, con el objetivo de estimular aprendizaje y capacidades de producción de materiales escritos por docentes.

Los cuadernos de trabajo “Escritura en Ciencias” en el marco de la serie DAR han sido generados por el Instituto Nacional de Formación Docente del Ministerio de Educación de la Nación Argentina a través de una convocatoria abierta a los Institutos de Formación Docente de gestión pública de todo el país.

Los cuadernos de Escritura en Ciencias se ponen a disposición de formadores y alumnos de la formación docente como materiales de apoyo educativo elaborados por pares que han sido participantes activos como integrantes de equipos de trabajo que llevan adelante de proyectos innovadores asistidos por UNESCO.

El trabajo de los coordinadores ha sido complejo e indispensable para el éxito de este tipo de proyecto. Las contrapartes por países han hecho propio este diseño y ajustado a sus realidades temáticas y de arquitectura (presencial y/o virtual). De esta manera, la temática de Paraguay es “La Escritura en Paraguay”, en Argentina “Escritura en Ciencias” y en Uruguay “Celebrando el Año Internacional de la Química”. Los coordinadores generales, así como los de Escritura han desarrollado un análisis crítico del proceso y han sabido guiar las intrincadas relaciones generadas cuando se “aprende haciendo” contribuyendo a resolver conflictos y logrando el mejor documento posible. En ese sentido, vaya a todos ellos nuestro agradecimiento.

María Paz Echeverriarza
Profesional del Programa Educación
UNESCO Montevideo

ISBN 978-950-00-0923-2

