



Los Recursos Hídricos

Una perspectiva global e integral

Los Recursos Hídricos

Una perspectiva global
e integral

Autores

- Dr. Roberto Urrutia Pérez,
Biólogo, Dr. en Ciencias Ambientales
- Dr. Oscar Parra Barrientos,
Licenciado en Biología, Dr. rer. nat, Berlín
- Mg Adolfo Acuña Carmona
Biólogo Marino, M. Sc. mención Oceanografía

PROYECTO   ARGENTINA

Reservados todos los derechos de esta publicación para INET y para
GTZ GmbH
Publicación financiada con fondos de la cooperación técnica de la
República Federal de Alemania

ISBN: 987-20598-7-X

Contextualización de competencias del docente

Dr. Alejandro Villalobos Clavería
Mg. Karina Paredes Bel

El presente material se origina a partir del diseño del Trayecto Técnico Profesional en Salud y Ambiente, cuyo enfoque didáctico-pedagógico se enmarca en la Formación Basada en Competencias desarrollada por el Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

INET, Equipo coordinador del Proyecto Recursos Didácticos, Área Salud y Ambiente

Lic. Victoria Barreda
Lic. Ana Mónica Tomaselli
Lic. Cristina Alcón
Ing. Luis Antequera

Equipo GTZ

Lic. Gunhild Hansen-Rojas
Verena Rottenbücher
Carolina Grosse
Lic. Natacha Díaz

Publicado en Buenos Aires, Julio 2003
Diseño de tapa e interior: Four Communication
Impresión: Overprint Grupo Impresor SRL

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PROLOGO	1
	EDUCAR PARA EL AMBIENTE	3
	INTRODUCCIÓN EQUIPO TÉCNICO DEL AREA SALUD Y AMBIENTE	5
1.	CONCEPTOS GENERALES	7
1.1.	INTRODUCCIÓN	9
1.2.	CONCEPTOS BÁSICOS	15
1.2.1	La cantidad y renovabilidad del agua	15
1.2.2.	El ciclo hidrológico	16
1.2.3.	Cuenca hidrográfica	19
1.2.4.	La diversidad de ecosistemas hídricos	23
2.	USO DE LOS RECURSOS HIDRICOS	31
2.1.	USOS DEL AGUA	33
2.1.1.	Usos consuntivos y no consuntivos	33
2.1.2.	Efectos del usos de los recursos hídricos	38
2.2	CALIDAD DEL AGUA Y CONTAMINACION	41
2.2.1.	Calidad del agua	41
2.2.2.	Contaminación acuática	43
2.2.3	La contaminación puntual y difusa	47
2.2.4	Tipos de contaminantes	48
3.	LOS RECURSOS HÍDRICOS Y SU REPERCUSIÓN EN LA SALUD	53
3.1.	Enfermedades transmitidas por el agua	56

3.2.	Enfermedades de origen vectorial relacionadas con el agua	56
3.3.	Enfermedades vinculadas a la escasez de agua	57
3.4.	Salud y cooperación entre los sectores	58
3.5.	Agua y equidad social	58
4.	EL CAMBIO DE ENFOQUE EN LA GESTION DE LOS RECURSOS HIDRICOS	61
4.1.	Agricultura una actividad clave	64
4.2.	Ahorro de agua en la industria	65
4.3.	El ahorro a través de las redes de distribución de agua	65
4.4.	Respuestas a nivel de países	66
4.5.	Respuestas a nivel local o comunitario	68
4.6.	La repercusión en la zona costera	68
4.7.	Tiempo de cambiar el enfoque	69
5.	LOS RECURSOS HIDRICOS EN ARGENTINA	73
5.1.	LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LATINOAMÉRICA	75
5.2	DISTRIBUCION Y DISPONIBILIDAD DE LOS RECURSOS HIDRICOS EN LA ARGENTINA	76
5.2.1	La Red Hidrográfica en Argentina	81
5.2.2.	Relación Oferta-Demanda	87
5.3.	PRINCIPALES USOS DEL RECURSO HÍDRICO EN ARGENTINA	87
5.3.1.	Usos consuntivos del agua	87
5.3.2.	Usos no consuntivos del agua en Argentina	92
5.4.	LA CONTAMINACIÓN ACUÁTICA EN LA ARGENTINA	94
5.4.1.	Contaminación de origen urbano	96
5.4.2.	Contaminación de origen industrial	97
5.4.3.	Contaminación por residuos sólidos (basurales a cielo abierto).	99
5.4.4	Contaminación por actividades agrícolas	100
6.	MARCO JURÍDICO INSTITUCIONAL	109
6.1.	ASPECTOS INSTITUCIONALES RELACIONADOS CON LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA REPÚBLICA ARGENTINA	111
6.1.1	Organismos inter-jurisdiccionales	111
6.1.2	Organismos nacionales	111
6.1.3	Capital federal	115
6.1.4	Organismos provinciales	115
	GLOSARIO	119
	BIBLIOGRAFIA GENERAL	132
ANEXO I	LOS PROGRAMAS DE MONITOREO COMO HERRAMIENTA DE GESTION AMBIENTAL	139

ANEXO II	SITIOS INTERNET CON INFORMACIÓN SOBRE RECURSOS HIDRICOS	155
ANEXO III	SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS LIQUIDOS	165
	AGRADECIMIENTOS	192
	CONTACTOS	194

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	El agua dulce disponible para la humanidad	10
Figura 2	Estructura química del agua	14
Figura 3	Distribución del agua en los diversos compartimentos	15
Figura 4	El ciclo del agua o ciclo hidrológico	16
Figura 5	Esquema de una cuenca hidrográfica	19
Figura 6	Esquema de una concepción más utilitaria de una cuenca	22
Figura 7	Lago Nahuel Huapí de Argentina, un ejemplo de sistema léntico	23
Figura 8	Formación de estratificación térmica en un lago templado	25
Figura 9	Río Paraná de Argentina, un ejemplo de sistema lótico	26
Figura 10	Representación gráfica del River Continuum Concept	29
Figura 11	Ejemplos de usos consuntivos	36
Figura 12	Ejemplos de usos no consuntivos	36
Figura 13	Protección de ecosistemas fluviales y lacustres como otro uso no consuntivo	37
Figura 14	Reducción de la superficie del espejo de agua del Mar de Aral por la desviación de los ríos que lo alimentaban.	40
Figura 15	Las construcciones no poseen sistemas sanitarios adecuados (agua potable, ventilación, evacuación de aguas residuales) y dicha carencia se relaciona directamente con el deterioro de la salud.	57
Figura 16	Desembocadura de un río argentino en la zona costera.	69
Figura 17	Argentina en el contexto sudamericano	78
Figura 18	Mapa de cuencas y regiones hídricas superficiales en República Argentina. (Fuente: Atlas Digital de la República Argentina. Secretaría de Recursos Hídricos. 2002).	82
Figura 19	La cuenca hidrográfica del río de la Plata	85
Figura 20	Uso doméstico del agua	90
Figura 21	Uso Industrial del agua	91
Figura 22	Usos no consuntivo del agua en Argentina	93
Figura 23	Contaminación por descargas de emisarios domésticos urbanos	97
Figura 24	Contaminación por descargas de efluentes industriales	98
Figura 25	Contaminación de los cuerpos de agua por residuos sólidos y otros desechos.	100
Figura 26	Aplicación de plaguicidas en actividades agrícolas	101
Figura 27	Río Reconquista	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Consumos de agua en diversos países.	35
Tabla 2	Criterios de calidad para la protección de la vida acuática propuesta por la US-EPA.	42
Tabla 3	Normas Calidad de Agua Potable utilizados por diferentes países de Latinoamérica, adoptados a partir de los valores guías proporcionados por la OMS.	45
Tabla 4	Estimaciones de Morbilidad y Mortalidad Global por Enfermedades Relacionadas con el Agua (principios de los 1990s)	55
Tabla 5	Demandas de Agua por diversos usos industriales.	65
Tabla 6	Los principales ríos de Sudamérica.	76
Tabla 7	Distribución de los aportes de las tres vertientes principales.	79
Tabla 8	Disponibilidad natural renovable de agua dentro del territorio continental e insular	80
Tabla 9	Cuencas y regiones hídricas de la república Argentina	83
Tabla 10	Superficies de las subcuencas de aporte a la gran cuenca del Plata.	86
Tabla 11	Usos consuntivos del agua en Argentina	88
Tabla 12	Principales fuentes de contaminación industrial	98

ÍNDICE DE RECUADROS

RECUADRO I	Particularidades del agua como sustancia y recurso.	12
RECUADRO II	Convención marco de la naciones unidas sobre el cambio climatico y protocolo de kioto.	17
RECUADRO III	El concepto de continuo fluvial (river continuum concept).	27
RECUADRO IV	El caso del mar aral en ex union sovietica.	39
RECUADRO V	El aprovechamiento del agua dulce y el cambio de las actitudes: Los resultados de un nuevo enfoque enraizado en el pasado.	70
RECUADRO VI	La gran cuenca del rio de la plata.	85
RECUADRO VII	La contaminación acuatica en la argentina: el problema del arsenico	102
RECUADRO VIII	El caso del rio reconquista.	105
RECUADRO IX	Sistema de informacion hidrometeorologica.	116

PRÓLOGO

El presente manual, desarrolla importantes aspectos científicos referidos a "Conceptos Básicos sobre Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable ", y ofrece a los docentes de nuestro sistema educativo, un marco conceptual con un enfoque integral, que se constituye en un componente didáctico fundamental para optimizar la calidad del proceso de enseñanza y aprendizaje.

Esta publicación es el resultado de un proceso de trabajo, realizado por el equipo interdisciplinario integrado por los profesionales del Centro EULA de la Universidad de Concepción- Chile, que aportaron su experiencia y expertez en los distintos temas abordados, y los Profesionales del Área de Salud y Ambiente del INET, que brindaron asistencia técnica y pedagógica.

Deseo expresar mi profundo reconocimiento a la Cooperación técnico financiera de la Agencia GTZ, por su valiosa contribución a la Formación Técnico Profesional en Argentina

Es de esperar que esta publicación , resulte de utilidad, como material de referencia y fuente de información para los docentes de los Trayectos Técnicos Profesionales, como así también para todos aquellos profesionales que aborden las problemáticas relacionadas con la Salud y el Ambiente.

Sr. Horacio Galli

Director Ejecutivo

INET – Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología

EDUCAR PARA EL AMBIENTE

La colección "Educar para el Ambiente" es el producto de un trabajo sistémico e interdisciplinario entre INET-GTZ, profesores de establecimientos técnicos secundarios de 9 provincias argentinas y del Centro de Ciencias Ambientales EULA de la Universidad de Concepción (Chile). Esta cooperación entre Chile y Argentina fue posible gracias a un convenio entre INET – Ministerio de Cultura, Ciencia y Tecnología de la Nación, Argentina y la Universidad de Concepción, Chile.

Investigadores de la UBA contribuyeron mediante dos estudios a establecer la demanda en formación ambiental por parte de los profesores y de la industria argentina. Expertos de AIDIS Argentina proporcionaron información sistemática sobre el estado de los recursos hídricos y los residuos sólidos en el país. Otras instituciones argentinas del sector público y privado aportaron valiosas informaciones relacionadas con los temas de la presente colección, entre ellas la Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable, INTI, Aguas Argentinas, Grandes Empresas, PyMEs y Sindicatos. A todos ellos agradecemos su importante colaboración.

Los Proyectos y Programas de Cooperación Técnica en Argentina PAN, Residuos Rosario, PIEEP y PAI/CIPRA-GTZ facilitaron el financiamiento de la publicación de los libros.

Especialmente quiero destacar la cooperación eficiente e institucional de los profesionales del INET.

La transversalidad e interdisciplinaridad del tratamiento de los temas ambientales convocan a la interacción de diferentes actores y disciplinas. Actores son alumnos, profesores, científicos e instituciones educacionales en los niveles nacional, provincial y local. La complejidad de los temas ambientales exige una confluencia de conocimientos científicos, técnicos y metodológicos provenientes del ámbito de las ciencias naturales y sociales.

La originalidad de este trabajo consiste en traducir pedagógicamente conocimientos ambientales en recursos didácticos para profesores y alumnos basados en competencias

y contextualizados regionalmente. La selección de los temas, los enfoques teóricos, el contexto territorial de los contenidos y la validación final de los productos fue realizada mediante la participación activa de los profesores de las 9 provincias y profesionales del INET. Cada paso metodológico fue acompañado de talleres didácticos con participación activa de los actores mencionados.

Esta experiencia sistémica - ambiental de aprendizaje es nueva en Argentina y América Latina. Para modernizar la educación y la formación profesional además de cambiar las estructuras curriculares, se debe, especialmente, renovar el pensamiento pedagógico, sensibilizar, motivar y formar al cuerpo docente en temas, teorías y metodologías que expresen en forma de competencias la comprensión y solución de los problemas complejos de desarrollo que afectan a las sociedades modernas y, en particular, a las latinoamericanas.

Una innovación relevante de la presente colección consiste en definir capacidades y competencias ambientales que trasciendan los límites de la formación técnica y tradicional, enfatizando una concepción holista e integrada, fundamento epistemológico de la formación ambiental. Se parte de la premisa que cada profesor necesita conocimientos generales de carácter conceptual para entender y tratar problemas ambientales específicos, como serían problemas de salud, de residuos, de suelos, energéticos, estrés hídrica y sus respectivas tecnologías de remediación, tratamiento, medición e innovación.

La Colección "Educar para el Ambiente" es una serie de publicaciones de renovación y actualización didáctica de apoyo a la formación secundaria. Está compuesta por materiales para el perfeccionamiento docente, guías didácticas para alumnos, estudios de casos, bases de datos técnicas y fuentes complementarias de información ambiental. Su objetivo central es proporcionar a los docentes oportunidades de perfeccionamiento y motivación para la innovación pedagógica en forma continua, mejorando el desempeño y la calidad docente y, dotar a los jóvenes de capacidades y competencias profesionales y culturales, que mejoren sus posibilidades de inserción laboral en un mundo globalizado, tecnificado y crecientemente complejo.

Lic. Gunhild Hansen-Rojas

GTZ, Asesora Principal
Proyecto INET-GTZ

INTRODUCCIÓN EQUIPO TÉCNICO DEL ÁREA SALUD Y AMBIENTE

La actividad humana genera impactos ambientales que repercuten en los medios físicos, biológicos y socioeconómicos afectando a los recursos naturales con el consiguiente deterioro de las condiciones de salud en que se desenvuelve la vida del hombre. Esos impactos se hacen sentir en las aguas, el aire, los suelos y paradójicamente en la propia actividad humana que les da origen.

En este sentido, los campos de la salud y el ambiente conforman un binomio relacional, dinámico y complejo, cuyo abordaje debe ser conjunto, pues de ello dependerá una oportuna intervención ante situaciones que encierren potenciales riesgos para la salud de la población.

Tener en cuenta el interjuego entre salud y ambiente del que hablamos, nos obliga a pensar que el tratamiento del mismo debe reservarse a profesionales con formación técnica específica. En este sentido la problemática de la salud ambiental posiciona al sistema educativo ante el desafío de crear ofertas formativas de un alto nivel de profesionalización, mediante las cuales los egresados puedan afrontar con responsabilidad su accionar y tomar las decisiones pertinentes.

Desde esa perspectiva el TTP en Salud y Ambiente se ha propuesto la formación de un técnico de nivel medio con competencias profesionales referidas a la vigilancia epidemiológica, a la salud ambiental, a la educación sanitaria y ambiental y a la gestión de la información.

Dada la importancia de la formación de este recurso humano por un lado y la ausencia de materiales didácticos que den respuesta a la rigurosidad de las temáticas que aborda el diseño curricular de referencia, se considera fundamental para el desarrollo de una enseñanza significativa en las aulas, contar con el presente Manual de " Conceptos Básicos sobre Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable ".

Esta publicación tiene por objetivo constituirse en un valioso aporte para la actualización disciplinar de los docentes, como así también establecer las bases para un marco co-

mún de referencia nacional para la planificación de la enseñanza y aprendizaje en las diversas escuelas del país que implementan el Trayecto Técnico Profesional en Salud y Ambiente.

El carácter amplio de la información contenida en el presente manual, nos permite brindar además un importante aporte a otros niveles del sistema educativo nacional que abordan en sus respectivas currículas la complejidad de la problemática ambiental.

Desde el Área de Salud y Ambiente del INET, es nuestro deseo que este recurso didáctico, se convierta en un valioso instrumento, que permita desarrollar un enfoque integral de la Salud Ambiental.

Equipo técnico

Área de Salud y Ambiente
INET - Ministerio de Educación,
Ciencia y Tecnología

PRIMERA PARTE

CONCEPTOS GENERALES

1. CONCEPTOS GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN

Según el Diccionario de la Real Academia Española, el agua es una “sustancia formada por la combinación de un volumen de oxígeno y dos de hidrógeno, líquida, inodora, insípida, en pequeña cantidad incolora y verdosa o azulada en grandes masas. Es el componente más abundante de la superficie terrestre y más o menos puro, forma la lluvia, las fuentes, los ríos y los mares; es parte constituyente de todos los organismos vivos y aparece en compuestos naturales...”. El agua es el elemento más importante de nuestro planeta, el cual ha permitido la aparición y el mantenimiento de la vida en la forma en que la conocemos. Los seres humanos, así como los principales ecosistemas y biota terrestre dependen de un agua con un contenido de sales inferior a 0.01% (100 ppm). Es lo que llamamos agua dulce.

Es comprensible que, tanto las grandes religiones, como las primeras explicaciones filosóficas del origen del Cosmos, resalten al agua como fuente de vida y medio de purificación y regeneración. La Biblia, al relatar la creación del mundo (Génesis, capítulo primero), señala que tras la inicial creación por Dios del Cielo y la Tierra, ésta se encontraba informe y vacía y las tinieblas cubrían la superficie del abismo, pero “el Espíritu de Dios se movía sobre las aguas”. Lo sagrado también aparece en las antiguas culturas asiáticas, donde los grandes ríos han tenido siempre un importante protagonismo mítico y religioso que aún se mantiene en muchos casos, como sucede en la India con el Ganges. Este fenómeno se reproduce en América, en civilizaciones como la incaica, donde se entrelazan la administración del agua y los servicios a la divinidad. En Egipto también se rinde culto al agua, principalmente a través del Río Nilo, al que se consideraba servidor de los dioses. En la antigua Grecia, el culto al agua era anterior a las invasiones Arias. Ya Tales de Mileto, (siglo VII A.C) valoraba el agua de forma tal que la situaba delante del fuego, el aire y la tierra, a los que consideraba los principales componentes del Universo.

La Tierra es un planeta acuático, y esto es cierto por cuanto el 71% de su superficie se encuentra cubierta por el agua. Esta preciada envoltura resulta esencial para toda forma de vida, sin embargo solamente una pequeña cantidad se encuentra disponible para el consumo humano, distribuida de manera muy poco uniforme en las distintas latitudes del planeta. El volumen del agua en el planeta Tierra constituye una cifra de gran importancia: 1.360 millones de km³, es decir 1.360 trillones de litros. Si se divide esta cifra por cada ser humano, le correspondería a cada uno 250.000 millones de litros. Bajo esta perspectiva, el agua aparece como un recurso prácticamente ilimitado. Sin embargo, de esa enorme masa líquida sólo el 3% es dulce y la mitad de ella es potable.

Se entiende por agua potable la que es apta para beber y para los demás usos domésticos. Esta debe ser limpia, inodora, fresca y agradable. Debe contener algunos gases, especialmente oxígeno y sales disueltas en pequeñas cantidades. No debe poseer materias orgánicas ni gérmenes patógenos. Este agua es un bien indispensable para el desarrollo de toda civilización, ya que posibilita la expansión demográfica y los progresos de la producción, que van desde la agricultura hasta la electrónica. El agua es la necesidad más urgente para el ser humano. A pesar de ello, son muy pocas las comunidades que disponen de este elemento en cantidad suficiente, ya que su distribución en el mundo es muy heterogénea.

Las precipitaciones no se reparten equitativamente sino que se concentran en zonas templadas

y en los trópicos húmedos, ayudando a que la vegetación prospere en algunos países y que sólo en otros haya desiertos. Mientras existen regiones donde precipitan hasta cinco metros de agua anuales, otras, reciben mil veces menos.

Además, gran parte del agua dulce se encuentra en forma de hielo o en las napas subterráneas, por lo tanto de difícil acceso. Sólo el 0.008% se halla en lagos o ríos de fácil acceso. Del total de agua disponible en la tierra, un 97% corresponde a océanos y mares, no apta para nuestro consumo inmediato. El 3% restante, de agua dulce, se divide a su vez en un 2% que se encuentra almacenada en las áreas frías del planeta, esto es, los casquetes polares y los glaciares, un 0.6% que se halla en las fuentes de agua subterránea; un 0.002% en los ríos y lagos superficiales y un 0.001% de agua en forma de vapor que se encuentra en la atmósfera (Figura 1). Con todo, sólo un 0.003% del total de agua en la Tierra es apta para ser consumida directamente por los humanos.

Gracias al ciclo del agua o ciclo hidrológico, es posible contar con un abastecimiento continuo de este recurso. Sin embargo, no podemos obtener más agua que la que tenemos a nuestra disposición, por lo que, sumado al aumento cada vez mayor de la población en el planeta, se hace una importante tarea el gestionar adecuadamente este recurso, tanto en cantidad como en calidad, a fin de suplir nuestras necesidades. Los problemas del agua se centran tanto en la calidad como en la cantidad. La comunidad debe comprender la importancia de la “calidad del agua” y encargarse de su cuidado y preservación.

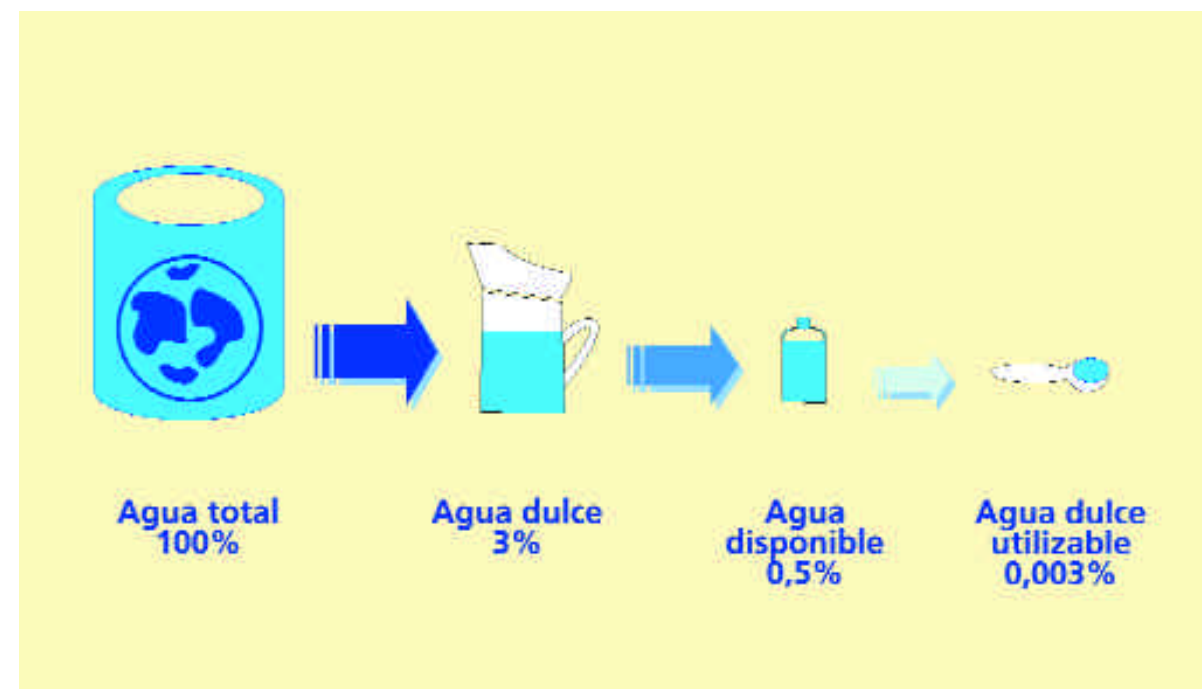


Figura 1. El agua dulce disponible para la humanidad

Como se indicó, el agua se presenta en forma irregular en el tiempo y en el espacio, lo cual complica los procesos de gestión de los sistemas hídricos. El manejo de los eventos extremos en que se presenta el agua, sequías o inundaciones, constituye un factor esencial. El volumen de agua existente es una cantidad prácticamente constante y a nivel de la Tierra, por tanto, no ampliable por la voluntad del hombre.

Las siguientes cifras permiten tener una idea de la distribución de agua dulce en el planeta:

- Tres cuartas partes de las precipitaciones anuales se distribuyen en zonas que contienen menos de un tercio de la población mundial.
- Más de la mitad de la escorrentía global tiene lugar en Asia y Sudamérica (31% y 25%, respectivamente).
- La cantidad de agua dulce renovable disponible anualmente per cápita varía de más de 600.000 metros cúbicos en Islandia a sólo 75 metros cúbicos por persona en Kuwait (al año 1995).
- La India, recibe el 90% de las precipitaciones durante la estación de los monzones en el verano, de junio a septiembre. En los ocho meses restantes, recibe apenas unas gotas de lluvia.

En un número creciente de lugares se extrae agua de ríos, lagos y fuentes subterráneas más rápidamente de lo que demora en renovarse. El número de habitantes continúa aumentando rápidamente, pero la Tierra no tiene ahora más agua que hace 2.000 años, cuando existía menos del 3% de la población actual. En la actualidad, 31 países, habitados por casi el 8% de la población mundial, tienen déficit crónico de agua dulce. Para el año 2025 se prevé que 48 países enfrentarán este déficit, y afectará a más de 2.800 millones de habitantes, es decir, casi el 35% de la población mundial proyectada. En China, cincuenta ciudades enfrentan ya la escasez de agua. En India, decenas de miles de villorrios enfrentan problemas de abastecimiento de agua. En México, se extrae un 40% más de agua de la que se reemplaza, lo que provoca que la tierra se hunda y genera la necesidad de importar agua dulce. En la ex Unión Soviética el agotamiento de los recursos hídricos fluviales para la irrigación y otras necesidades ya ha hecho que el mar Aral descienda dos tercios desde 1960, mientras que en los Estados Unidos, un quinto de la tierra irrigada es sometida a excesiva extracción de agua subterránea.

Un mundo escaso de agua es un mundo conflictivo. Casi 100 países comparten 13 grandes ríos y lagos. Más de 200 sistemas hidrográficos atraviesan fronteras internacionales (Postel, 1997). Es posible que surjan conflictos, especialmente donde los países con poblaciones de rápido crecimiento y limitada tierra arable compiten por el acceso a recursos hídricos compartidos.

De todo lo anterior, se desprende que el agua tiene características que le confieren una serie de particularidades. A saber:

- Es un recurso natural único y escaso, esencial para la vida en la Tierra.
- Sólo un pequeño porcentaje del agua existente en la Tierra está disponible para las actividades humanas.
- El conjunto del agua presente en la atmósfera, geósfera e hidrósfera constituye una unidad.
- El funcionamiento de esta unidad a través del ciclo hidrológico lleva consigo factores de incertidumbre.
- El agua, como recurso natural, tiene una serie de características que la ubican como un bien mixto entre los bienes públicos.

Actualmente, agua limpia suficiente y hábitats acuáticos saludables, son recursos naturales escasos. Comprender la capacidad de los ecosistemas acuáticos para responder a las presiones que le impone la sociedad y sus limitaciones para adaptarse a tales desafíos, es una tarea vital para la estabilidad de la sociedad en el largo plazo. Estos son problemas que las ciencias básicas y aplicadas deben priorizar, tanto a nivel de investigación y formación de recursos humanos, ya que ellas reflejan necesidades regionales, nacionales y globales que deben ser satisfechas en un tiempo prudencial.

RECUADRO I PARTICULARIDADES DEL AGUA COMO SUSTANCIA Y RECURSO

El agua, sustancia líquida formada por la combinación de dos volúmenes de hidrógeno y un volumen de oxígeno, es el componente más abundante en la superficie terrestre. Hasta el siglo XVIII se creyó que el agua era un elemento químico, como el oxígeno, carbono u otro. Tales de Mileto, el filósofo griego del siglo V A.C., afirmó que el agua era la sustancia original, de la cual todas las demás (tierra, aire y fuego) estaban formadas. Anaximandro, unos años más tarde, y otros filósofos después, concluyeron que más bien hay una cierta proporción de fuego, aire, tierra y agua en el mundo, que cada uno lucha por extender su imperio y que se presenta la necesidad natural de restablecer el equilibrio.

Fue el químico inglés Cavendish quien sintetizó agua a partir de una combustión de aire e hidrógeno. Sin embargo, los resultados de este experimento no fueron interpretados hasta años más tarde, cuando Lavoisier propuso que el agua no era un elemento sino un compuesto formado por oxígeno y por hidrógeno, siendo su fórmula H_2O (Figura 2).

Al instaurarse las ciencias naturales, el agua es tema de interés para varias de ellas y los conocimientos que su estudio arroja acrecientan su interés científico. Este líquido, común y familiar, en verdad difiere de cualquier otro. Dada su composición química debería ser un gas, al solidificarse hundirse en lugar de flotar, además de que su composición molecular la asemeja más a un sólido que a otro líquido.

A su análisis macroscópico se añade el examen microscópico, que traspone temas como el de su estructura molecular en forma de “redes” cuando es líquida y estructura geométrica variada cuando es sólida o hielo. Estas particularidades advierten diferentes hechos de sus procesos en diferentes condiciones de volumen, temperatura y presión.

El conocimiento de la composición, procedimiento y propiedades del agua tiene importancia no sólo científica: la tecnología la utiliza en diversidad de aplicaciones industriales y, en esta consecuencia, el buen sentido ecológico nos advierte de su buen uso. El agua es una sustancia muy simple, con un conjunto de propiedades que la hacen única y que por su proliferación se le confiere gran trascendencia en el ciclo biológico de la naturaleza.

El agua es un recurso renovable benéfico para los seres vivos que ha de ser cuidado. Cotidianamente obtiene enorme significación debido a que se hace más escasa como producto vital, y por su influencia climática sobre la tierra. En pocas palabras el agua es importante como compuesto químico, y como recurso natural, que debe ser conservado libre de contaminación por acción directa del hombre.

Principales Propiedades del Agua

Entre sus cualidades, se destacan las siguientes:

- El agua se encuentra en la naturaleza en sus tres estados -sólido, líquido y vapor, pudiendo existir en un momento dado un equilibrio entre sus tres formas.
- El hielo tiene una densidad inferior a la del agua líquida -0.92 veces- y flota, lo que tiene gran importancia para la vida en mares, lagos, etc.
- El calor específico del agua es muy alto -1 cal/gr.°C-
- El calor latente de vaporización del agua es muy grande: a 20°C hay que comunicar 585 cal. para evaporar un gramo de agua.
- La conductividad térmica del agua es la mayor de todos los líquidos, con la única excepción del mercurio.
- La estructura molecular del agua es un dipolo: su constante dieléctrica es muy alta, mayor que para cualquier otro líquido, lo que le confiere la propiedad de disolver cualquier sustancia aunque sea en cantidades extremadamente pequeñas. Ello hace que el agua no sea nunca químicamente pura, llevando siempre diversas sustancias, como gases, sales o grasas, disueltas.
- El agua es débilmente ionizable, conteniendo siempre algunos iones hidrógeno, dando un pH próximo a 6. La concentración de iones en el agua es muy importante para los organismos.

Composición del agua

Debido a su capacidad de disolver numerosas sustancias en grandes cantidades, el agua pura casi no existe en la naturaleza. En la atmósfera, durante la condensación y precipitación, la lluvia o la nieve absorben cantidades variables de dióxido de carbono y otros gases, así como pequeñas cantidades de material orgánico e inorgánico. Además, la precipitación arrastra sustancias radiactivas a la superficie de la Tierra. En la corteza terrestre, el agua reacciona con los minerales del suelo y de las rocas. Los principales componentes disueltos en el agua superficial y subterránea son los sulfatos, los cloruros, los bicarbonatos de sodio y potasio y los óxidos de calcio y magnesio. Las aguas de la superficie suelen contener también residuos domésticos e industriales.

El agua subterránea poco profunda puede contener grandes cantidades de compuestos de nitrógeno y de cloruros, derivados de los desechos humanos y animales. Generalmente, el agua de pozo profundo sólo contiene minerales en disolución.

Casi todos los suministros de agua potable natural contienen fluoruros en cantidades variables. Se ha demostrado que una proporción adecuada de fluoruros en el agua potable reduce las caries en los dientes.

El agua del mar contiene, además de grandes cantidades de cloruro de sodio o sal, muchos otros compuestos disueltos, debido a que los océanos reciben las impurezas procedentes de ríos y arroyos. Al mismo tiempo, como el agua pura se evapora continuamente, el porcentaje de impurezas aumenta, lo que proporciona al océano su carácter salino.

El conjunto de propiedades anotadas, hace que el agua sea un excelente disolvente de sales y gases, y por ello es causa de problemas de incrustaciones, sedimentos, corrosiones y picaduras en las tuberías y calderas, cuya prevención exige tratamientos específicos para cada instalación en función del tipo de agua que se utiliza y del fin al que se destina.

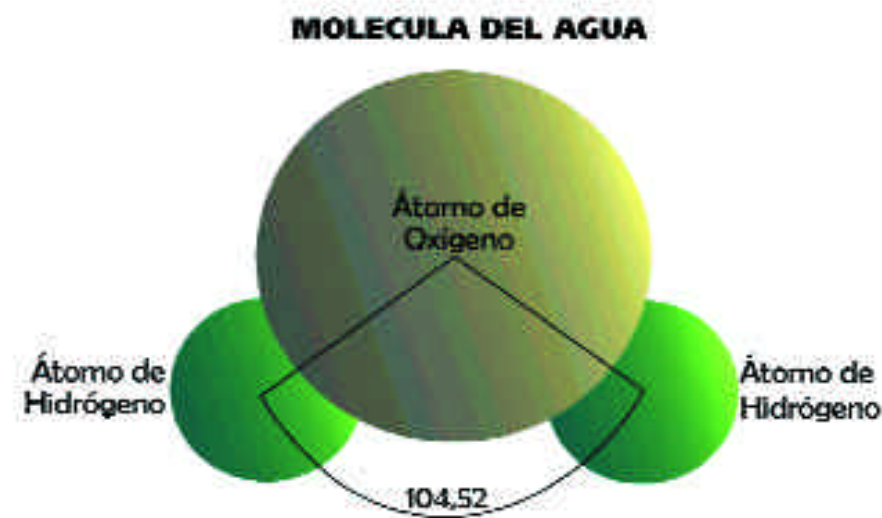


Figura 2. Estructura química del agua.

1.2. CONCEPTOS BÁSICOS

1.2.1. LA CANTIDAD Y LA RENOVABILIDAD DEL AGUA

Como se indicó, en la actualidad existe en la Tierra la misma cantidad de agua que existía hace unos 3.800 millones de años atrás. Esto se debe a que en el ciclo hidrológico se utiliza continuamente la misma agua. De esta manera, el agua disponible para nuestro uso está en continuo movimiento cíclico entre lagos, ríos, mar, atmósfera y suelos, desde donde se evapora, precipita y condensa en un ciclo interminable, llamado ciclo hidrológico o del agua.

El agua de la Tierra - que constituye la hidrósfera - se distribuye en tres reservorios principales: los océanos, los continentes y la atmósfera, entre los cuales existe una circulación continua. El movimiento del agua en el ciclo hidrológico es mantenido por la energía radiante del sol y por la fuerza de la gravedad. La Figura 3 muestra la distribución del agua en los diversos compartimentos.

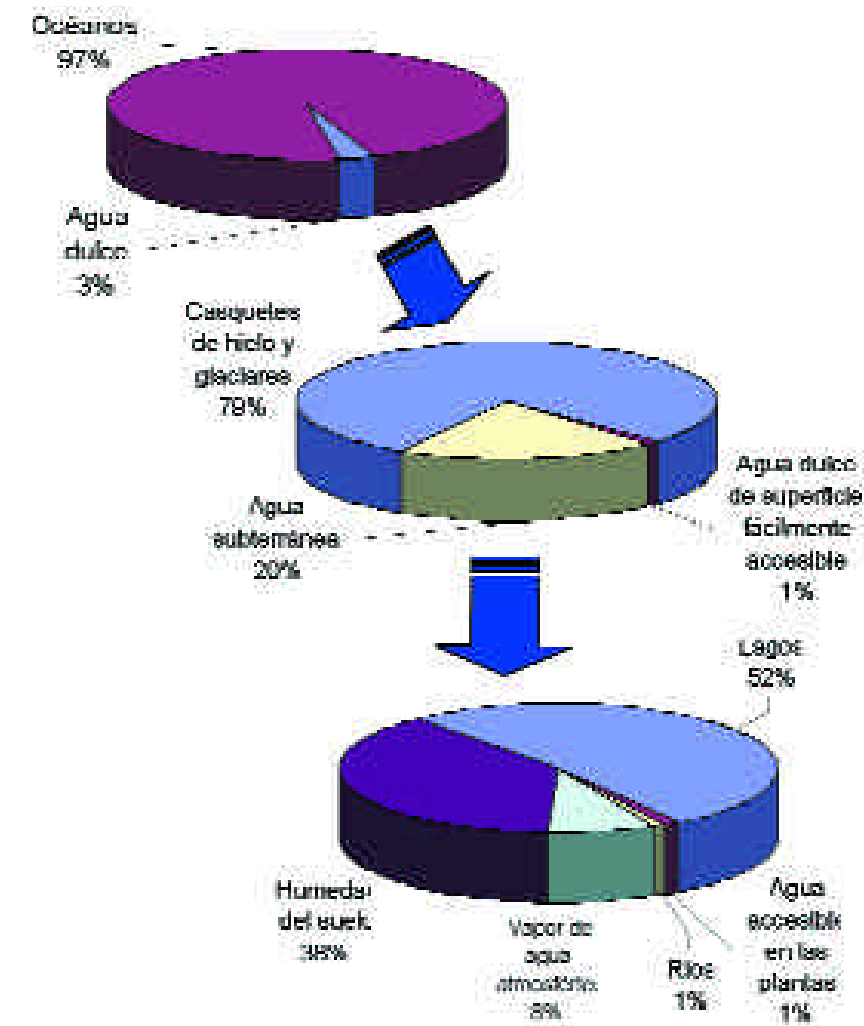


Figura 3. Distribución del agua en los diversos compartimentos (tomado de Hinrichsen et al., 1998)

1.2.2. EL CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico (Figura 4) se define como la secuencia de fenómenos por medio de los cuales el agua pasa de la superficie terrestre, en la fase de vapor, a la atmósfera y regresa en sus fases líquida y sólida. La transferencia de agua desde la superficie de la Tierra hacia la atmósfera, en forma de vapor, se debe a la evaporación directa, a la transpiración por las plantas y animales y a la sublimación (paso directo del agua sólida a vapor de agua).

Dentro del ciclo hidrológico; la cantidad de agua movida, por el fenómeno de sublimación es insignificante en relación a las cantidades movidas por evaporación y por transpiración, cuyo proceso conjunto se denomina evapotranspiración. El vapor de agua es transportado por la circulación atmosférica y se condensa luego de haber recorrido distancias que pueden superar los 1.000 km. El agua condensada da lugar a la formación de nieblas y nubes y, posteriormente, a la precipitación.

La precipitación puede ocurrir en forma líquida (lluvia) o en forma sólida (nieve o granizo). La precipitación sólida se presenta con una estructura cristalina, en el caso de la nieve, y con estructura granular y regular en capas, en el caso del granizo. La precipitación también incluye el agua que pasa de la atmósfera a la superficie terrestre por condensación (rocío) o por congelación (helada) del vapor de agua y por la intercepción de las gotas de agua de las nieblas (nubes que tocan el suelo o el mar).

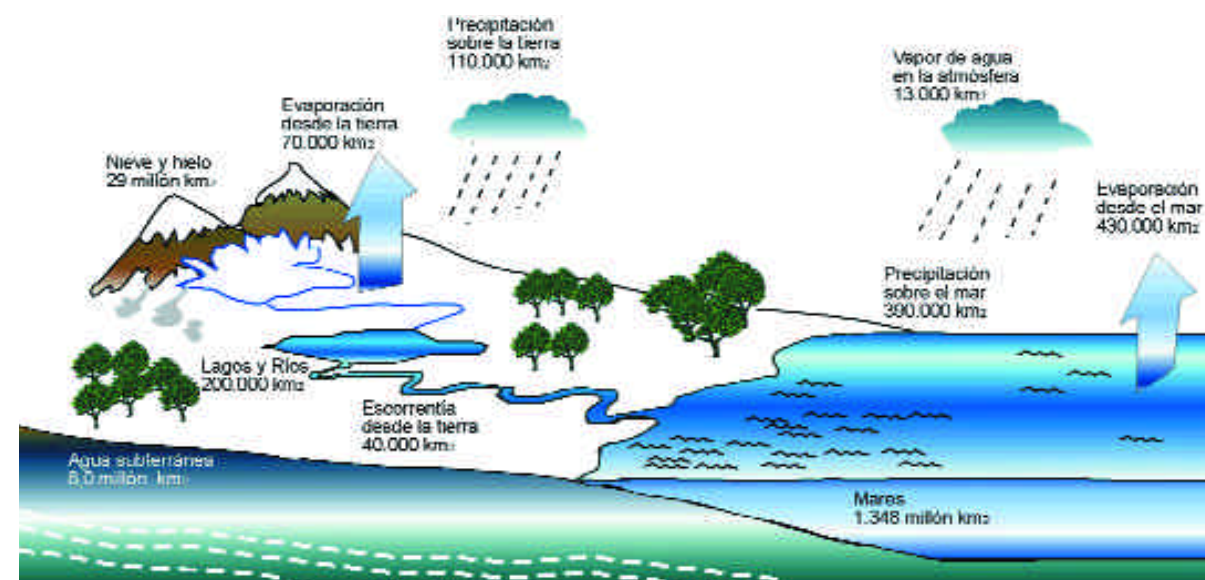


Figura 4. El ciclo del agua o ciclo hidrológico (tomado de Hinrichsen et al., 1998)

El agua que alcanza la superficie de la Tierra puede tener varios destinos. Una parte es devuelta directamente a la atmósfera por evaporación; otra parte escurre por la superficie del terreno, (escoorrentía superficial) que se concentra en surcos y originará las líneas de agua, arroyos y ríos. El agua restante se infiltra, esto es, penetra en el interior del suelo; este agua infiltrada puede volver a la atmósfera por evapotranspiración o profundizarse hasta alcanzar las capas freáticas. Tanto el escurrimiento superficial como el subterráneo van a alimentar los cursos de agua (arroyos y ríos) que desaguan en lagos y océanos. La escoorrentía superficial se presenta siempre que hay precipitación y termina poco después de concluir la misma. Por otro lado, el escurrimiento subterráneo, especial-

mente cuando se da a través de medios porosos, ocurre con gran lentitud y sigue alimentando los cursos de agua mucho después de haber terminado la precipitación que le dio origen. Así, los cursos de agua alimentados por capas freáticas presentan caudales más regulares.

Como se indicó, los procesos del ciclo hidrológico ocurren en la atmósfera y en la superficie terrestre, por lo que se puede admitir dividir el ciclo del agua en dos ramas: aérea y terrestre. El agua que precipita sobre los suelos va a repartirse, a su vez, en tres grupos: una que es devuelta a la atmósfera por evapotranspiración y otras dos que producen el escurrimiento superficial y subterráneo. Esta división está condicionada por varios factores, unos de orden climático y otros dependientes de las características físicas del lugar donde ocurre la precipitación. Así al encontrar la precipitación una zona impermeable, origina el escurrimiento superficial y la evaporación directa del agua que se acumula y queda en la superficie. Si ocurre en un suelo permeable, poco espeso y localizado sobre una formación geológica impermeable, se produce entonces escurrimiento superficial, evaporación del agua que permanece en la superficie y la evapotranspiración del agua que fue retenida por la cubierta vegetal. En ambos casos, no hay escurrimiento subterráneo; éste ocurre en el caso de una formación geológica subyacente permeable y espesa.

La energía solar es la fuente de energía térmica necesaria para producir el paso del agua desde las fases líquida y sólida a la fase de vapor, y también es el origen de las circulaciones atmosféricas que transportan el vapor de agua y mueven las nubes. La fuerza de gravedad da lugar a la precipitación y al escurrimiento. El ciclo hidrológico es un agente modelador de la corteza terrestre debido a la erosión y al transporte y deposición de sedimentos por vía hidráulica. Condiciona la cobertura vegetal y, de una forma más general, la vida en la Tierra.

El ciclo hidrológico puede ser visto, en una escala planetaria, como un gigantesco sistema de destilación, extendido por todo el Planeta. El calentamiento de las regiones tropicales debido a la radiación solar provoca la evaporación continua del agua de los océanos, la cual es transportada en forma de vapor por la circulación general de la atmósfera a otras regiones. Durante la transferencia, parte del vapor de agua se condensa debido al enfriamiento y forma nubes que dan origen a la precipitación. El regreso a las regiones de origen resulta de la acción combinada del escurrimiento proveniente de los ríos y de las corrientes marinas.

RECUADRO II

CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y PROTOCOLO DE KIOTO

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático fue adoptada en la sede de las Naciones Unidas en New York, el 9 de Mayo de 1992. La firma de este documento responde a una inquietud surgida en la década de los ochenta, cuando comenzaron a aportarse datos científicos que preveían un posible cambio climático permanente e irreversible a escala mundial, producto del aumento de los llamados Gases de Efecto Invernadero (GEI), como son el anhídrido carbónico (CO₂) y otros gases, provenientes principalmente de las actividades humanas relacionadas con la quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas natural), la agricultura y el cambio de uso de la tierra. El objetivo de esta Convención fue estabilizar las concentraciones de los Gases de Efecto Invernadero en la atmósfera a un nivel tal que ya no existan interferencias antropó-

genas significativas en el sistema climático. Dicha estabilización deberá realizarse con una gradualidad tal que permita a los ecosistemas adaptarse a los cambios previstos, así como también evitar que el nivel del Cambio Climático impida un desarrollo económico sustentable o comprometa la producción alimenticia.

Compromisos Específicos

- Los países firmantes deberán presentar Inventarios de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por fuente y su absorción por sumideros, actualizados periódicamente.
- Desarrollar programas nacionales y/o regionales para mitigar el Cambio Climático y adaptarse a los potenciales efectos.
- Fortalecer la investigación científica y técnica, la observación del sistema climático y fomentar el desarrollo de tecnologías, prácticas y procesos para controlar, reducir o prevenir las emisiones antropogénicas de los GEI.
- Promover programas de educación y sensibilización pública acerca del Cambio Climático y sus efectos.

Aspectos Relevantes

Los países desarrollados adquirieron, además, otros compromisos, como adoptar políticas y medidas para reducir las emisiones de los GEI al año 2000, estabilizándolas a los niveles de 1990; transferencia de tecnología y recursos financieros a los países en desarrollo, apoyándolos en sus esfuerzos por cumplir los compromisos de la Convención y ayudar a los países en desarrollo, particularmente vulnerables a los efectos del Cambio Climático, a costear sus gastos de adaptación.

La Convención establece una Conferencia de las Partes, que posee el rol de cuerpo supremo, cuya principal función es supervisar la implementación de los compromisos adquiridos. Asimismo, establece órganos subsidiarios que desarrollan las labores técnicas y de gestión requeridas por la Conferencia de las Partes.

Protocolo de Kioto

En la 1ª Reunión de la Conferencia de las Partes, realizada en Berlín en 1995, se concordó que el cumplimiento de los compromisos señalados en la Convención eran insuficientes hasta esa fecha, ya que muchos países desarrollados no podrían alcanzar las metas de reducción de GEI planteadas para el año 2000. Se hacía necesario, entonces, la creación de otro instrumento legal que posibilitara el cumplimiento cabal de los compromisos adquiridos. Por ello, durante la 3ª Conferencia de las Partes llevada a cabo en Kioto en 1997, se adopta el Protocolo de Kioto, cuya principal misión fue establecer compromisos más estrictos de reducción y limitación de emisiones de GEI para los países desarrollados (listados en el Anexo B del protocolo), estableciendo un calendario específico para cumplir dichos compromisos. El acuerdo principal fue alcanzar la reducción conjunta de las emisiones de GEI, al menos en un 5% bajo los niveles existentes al año 1990, para el primer período de compromisos comprendido entre los años 2008 al 2012. Asimismo, se crearon los llamados mecanismos de flexibilización (mecanismos económicos), con el fin de ayudar a estos países a cumplir con el calendario de reducción mencionado.

1.2.3 CUENCA HIDROGRÁFICA

La cuenca hidrográfica (Figura 5) es el espacio o el territorio que recoge o “captura” el agua de las precipitaciones pluviales, la energía radiante y, de acuerdo con las características fisiográficas, geológicas y ecológicas del suelo, almacena, distribuye y transforma el agua y la energía en los más complejos y variados recursos naturales (suelo agrícola, bosques, cursos de agua, flora y fauna silvestre, belleza escénica, etc.), que son los que determinan el grado de desarrollo de la Cuenca, hasta llegar a su clímax, donde alcanza su mayor acumulación energética, y que finalmente están al servicio de la sociedad humana para su uso racional y permanente.

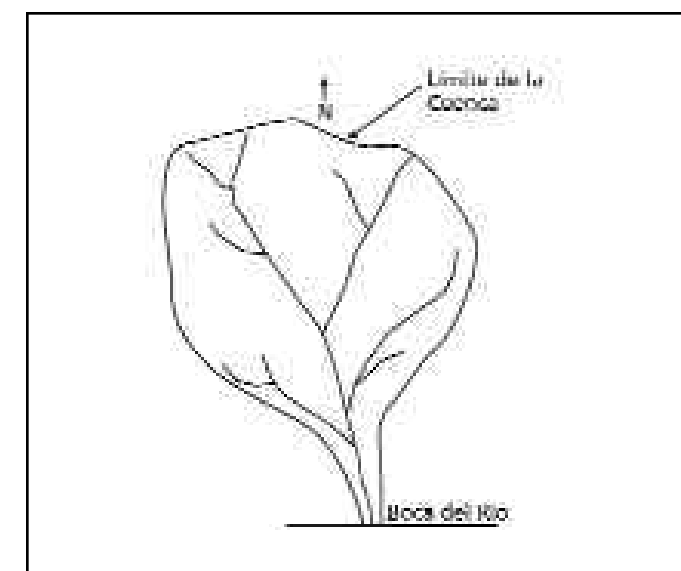


Figura 5. Esquema de una cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica debe ser considerada como una gran casa dentro de la cual todos los elementos tienen su “sitio” o lugar, donde hay cosas que están en la cocina, otras en el dormitorio, la sala, el patio o el baño, pero todo esto armoniosamente ubicado e intercomunicado. Así, en la cuenca hidrográfica existe un ordenamiento natural el cual, si ha desaparecido o ha sido alterado, es conveniente adecuarlo o regenerarlo, tratando siempre que este ordenamiento, que debe ser en función de la sociedad humana, no afecte la armonía de la naturaleza. Dentro de este acondicionamiento es lícito desarrollar un adecuado sistema vial que facilite el ordenamiento; así como un apropiado sistema de captación, almacenamiento y distribución de agua, que es el elemento vital y ordenador por excelencia. También debe ser seriamente tomado en cuenta el elemento suelo, que debe ser más que sólo conservado, cultivado o desarrollado, cuidando de atender permanentemente la salud ecológica del mismo.

Las cuencas hidrográficas están en constante modificación. Su grado de alteración depende de la intensidad de erosión de los suelos, debido a las lluvias, a los procesos de deglaciación, etc., de la cobertura vegetal, de su geología y especialmente de la acción del hombre que, en su afán

de un “mejor acondicionamiento”, no repara en destruir el ordenamiento natural que es el más armónico y permanente dentro de un ecosistema.

En la aplicación de la estrategia del desarrollo sustentable, promovida tanto por organizaciones internacionales como nacionales, la cuenca hidrográfica es considerada como la unidad de acción de referencia dentro de la cual es posible aplicar plenamente la estrategia de desarrollo sustentable mencionada.

Para comprender el significado de una cuenca hidrográfica, sea esta una cuenca fluvial o lacustre, es necesario previamente considerar el concepto de ecosistema, ya que una cuenca debe ser primariamente concebida como un ecosistema. En “Ecología de Cuencas Hidrográficas”, se considera la cuenca de drenaje y su conducto fluvial como un ecosistema compuesto por subsistemas (atmosférico, terrestre y acuático). Se sabe que para estudiar ecosistemas se requiere:

- Definir los límites del sistema (esto a menudo es definido en base a la respuesta que se quiere responder).
- Identificar los componentes (generalmente los componentes claves, pero algunas veces se requiere hacer inventarios exhaustivos, como cuando es necesario evaluar la biodiversidad).
- Identificar los procesos relevantes del sistema.
- Definir cómo caracterizar, relacionar y cuantificar los componentes y procesos de interés.

En este contexto, una cuenca hidrográfica es el territorio definido por los límites de la zona de escurrimiento de las aguas superficiales, que convergen hacia un mismo cauce; estos límites pueden ser obtenidos directamente de cartografía oficial existente y en general fácilmente identificadas en terreno. Del mismo modo, una cuenca, sus recursos y sus habitantes, poseen determinadas condiciones físicas, biológicas, económicas, sociales y culturales, que les confieren características comunes; condiciones que pueden evaluarse cualitativa y cuantitativamente. La noción de la cuenca hidrográfica como la unidad básica para el manejo de los recursos hídricos y del territorio en el mundo no es algo nuevo y muchos países, particularmente del mundo desarrollado (USA, Canadá, Francia, Alemania, Italia, España, Australia, Nueva Zelandia) y en países en desarrollo (Brasil, México, Colombia, Argentina y Chile) el concepto de cuenca está siendo usado para la protección y mejoramiento de los recursos naturales.

Sin embargo, las cuencas son raramente la unidad primaria para el manejo del territorio porque ni a nivel nacional, regional o local las decisiones de manejo consideran las complejas interacciones de carácter biofísicos, sociológicos y económicos que se presentan dentro de ellas. En todo el mundo existe consenso que todos los problemas que afectan al recurso hídrico y a los recursos asociados a él (suelo, bosques, biodiversidad, etc.) requieren de un enfoque de manejo integrado de cuencas que considere todo los temas asociados al recurso hídrico dentro de límites hidrológicos bien definidos. Tal tipo de enfoque debe considerar o reconocer que todos los recursos dentro de los límites naturales de la cuenca (definido hidrológicamente) son parte de sistemas interconectados y son dependientes de la salud o el estado de salud de todo el ecosistema como un todo. El enfoque basado en la cuenca permite un promisorio camino para afianzar la integración. Por su naturaleza, las estrategias de manejo basado en la cuenca hidrográfica son integrativas y emergen de conceptos derivados de las ciencias físicas, biológicas, sociales y económicas, como se indica en “New Strategics for America’s Watersheds” (1999).

El territorio de una cuenca facilita la comprensión de las relaciones de sus habitantes -independientemente de la existencia de otros límites político-administrativos- debido a la dependencia común a un sistema hídrico compartido, a la existencia de un cierto tipo de recursos naturales, clima e infraestructura, y porque a menudo deben enfrentar problemas similares. Esta situación es muy nítida en aquellas cuencas habitadas, localizadas en la alta montaña, o “watershed”¹, aunque también está presente en cuencas fluviales de mayor extensión o “riverbasin”; ello por la existencia, además, de obras y trabajos hidráulicos que benefician al conjunto de sus habitantes, creándoles una interdependencia y una realidad común. Son múltiples las acciones que el hombre puede realizar en una cuenca y sus componentes. Las más relevantes son las productivas; las hidráulicas, o de ingeniería con fines de aprovechamiento de los recursos y de protección contra eventos naturales; las acciones sociales y culturales, que determinan la relación entre el hombre y su entorno; y las de manejo y protección del medio ambiente.

El concepto de cuenca, cuando se usa junto o en conjunción con el concepto de ecosistema, provee el contexto geográfico y de estructura para las investigaciones científicas y algunas funciones de manejo para el recurso del agua y recursos relacionados a este recurso. La consideración de las escalas temporales y espaciales es excepcionalmente importante en el manejo científico de las cuencas. No se podría hacer un manejo efectivo de ellas si la información científica no corresponde a la escala en la cual se deben tomar decisiones. Si bien en un primer momento el concepto de cuenca tuvo una connotación esencialmente volumétrica e hidrológica, posteriormente fue ampliando su perspectiva hasta incluir a todos los recursos naturales existentes en la cuenca y a todas las actividades humanas que en ella se realizan, posibilitando así analizar fenómenos y procesos existentes en forma global e intersectorial.

En consideración a todo lo indicado anteriormente, podemos ahora visualizar la cuenca hidrográfica en un contexto más amplio. Una cuenca u hoyo hidrográfica, es un segmento o área del territorio de un país, región o comuna en un espacio de tiempo determinado, que puede estar ocupada por poblaciones de especies vegetales y animales, incluyendo entre estos últimos al hombre y sus actividades, y que interactúan con los componentes no vivos, de los compartimentos como el agua, suelo y aire. Este segmento contiene un área de drenaje que está delimitada, de segmentos adyacentes, por límites físicos más o menos definidos que reciben el nombre de líneas divisorias de la cuenca. Al comparar los elementos que conforman una cuenca con aquellos que comprenden los ecosistemas, se observa que son similares, porque en el hecho la cuenca hidrográfica de un río o un lago es un ecosistema.

Los elementos básicos que determinan el funcionamiento de una cuenca hidrográfica antropizada (con presencia del hombre y sus actividades) se clasifican en:

Componentes o elementos naturales: (i) agua, (ii) suelo, (iii) biota, (iv) clima, etc.

Componentes o elementos humanos: (i) Socioeconómicos (infraestructura, tecnología, niveles de calidad de vida) y (ii) Jurídico-institucionales (normas que regulan el uso de los recursos naturales, políticas de desarrollo e instituciones involucradas).

En consecuencia, el concepto de ecosistema y su teoría proporciona el marco conceptual para el manejo adecuado de nuestros recursos naturales y el territorio, y por ende, de una cuenca u hoyo hidrográfica. Desde una óptica más utilitaria (Parra 1988), a una cuenca la podemos considerar

como un sistema integrado o máquina (Figura 6) para transformar la radiación que viene del sol, precipitaciones y otros factores ambientales que, sumado al el trabajo humano y la inversión de capital, proporciona productos forestales, agrícolas, vida silvestre, satisfacciones estéticas y recreacionales, producción de energía y agua para la población, la agricultura e industria. De tal modo, una cuenca es un ecosistema que da diversos servicios a la sociedad (servicios ecosistémicos).



Figura 6. Esquema de una concepción más utilitaria de una cuenca (adaptado de Parra 1988)

Naiman et al., (1999) establecen los siguientes principios, que deben considerarse en un manejo a escala de cuenca hidrográfica.

- Usar un enfoque ecológico para recuperar y mantener la diversidad biológica, las funciones ecológicas y definir las características de los ecosistemas naturales.
- Reconocer que el hombre es parte de los ecosistemas - él configura y es configurado por los sistemas naturales; y que la sustentabilidad de los sistemas sociales y ecológicos son interdependientes.
- Adoptar un enfoque de manejo que reconozca que los ecosistemas e instituciones son característicamente heterogéneos en tiempo y espacio.
- Integrar actividades económicas y comunitarias sostenidas dentro del manejo de los ecosistemas.
- Desarrollar una visión compartida de condiciones humanas y ambientales deseadas.
- Proporcionar medios para la gestión de los ecosistemas a escalas ecológicas e institucionales apropiadas.

- Usar un manejo flexible o adaptable, como el mecanismo para lograr tanto resultados exitosos deseados así como nuevos conocimientos respecto a las condiciones de los ecosistemas.
- Integrar la mejor ciencia disponible en el proceso de toma de decisiones, mientras la investigación científica continúa para reducir la incertidumbre.
- Implementar principios de manejo ecosistémico mediante planes y actividades gubernamentales y no gubernamentales coordinadas.

Los intentos de manejo de cuencas, en el mundo en general con más de una demanda en los principales recursos, no han sido efectivos en la mayoría de los casos. Lo cual se puede explicar por la incapacidad para identificar, establecer y entender:

- Escalas temporales y espaciales para el manejo apropiado,
- Efectos acumulativos de usuarios múltiples,
- Metas de manejo de conflictos,
- Carencia de enfoques de modelos estadísticos o realísticos.
- Multiplicidad de índices para evaluar un sistema socio-ambiental dinámico.

1.2.4. LA DIVERSIDAD DE ECOSISTEMAS ACUÁTICOS CONTINENTALES

Existe una diversidad de recursos hídricos o ambientes acuáticos, que ha hecho necesaria una clasificación. Un criterio general de clasificación ha sido el movimiento de las aguas, si éstas son empozadas o fluyentes. En relación a esto se han creado los términos léntico y lótico. El término léntico viene del latín “lentus” que significa lento, perezoso o calmo y corresponde a los cuerpos de agua que normalmente llamamos como lagos, lagunas, pozas o charcos (Figura 7). En Limnología (rama de la Ecología que se preocupa del estudio de los recursos hídricos continentales) el término lótico indica cuerpos de aguas fluyentes, como los ríos, arroyos, esteros y manantiales; el término lótico en latín “lotic” significa lavado.



Figura 7. Lago Nahuel Huapi de Argentina, un ejemplo de sistema léntico.

Fuente: Secretaría de Turismo.

Todos los cuerpos acuáticos, sean lénticos o lóticos, son parte de lo que hemos definido como cuenca u hoya hidrográfica. Todo lago, laguna o río es parte de una cuenca hidrográfica. En general el nombre de las cuencas proviene del nombre del cuerpo de agua principal. Por ejemplo, en el continente Sudamericano tenemos las grandes cuencas del río Amazona, del río Magdalena, del río Paraná, etc. En el caso de las cuencas de ríos, el nombre se lo da el último río del sistema fluvial, como es el caso de la del río Colorado en Argentina, en la cual están contenidos otros ríos con sus respectivas cuencas o subcuencas. Por ejemplo el río Grande y el río Barrancas, que son afluentes del río Colorado, y sus respectivas cuencas son a su vez subcuencas de la del Colorado.

Los lagos y lagunas son depresiones en la superficie terrestre que contienen aguas estancadas. Su profundidad puede ir de unos pocos centímetros hasta los 2.000 metros, lo mismo su tamaño puede oscilar entre menos de una hectárea hasta miles de kilómetros cuadrados. Algunos lagos son tan grandes que se asemejan a ambientes marinos.

El origen de los lagos puede ser muy diverso. Algunos se han formado por efecto de la erosión y deposición glacial. Erosionando las laderas de los valles de alta montaña, los glaciares excavan cubetas que luego son rellenadas por el agua de la lluvia y el deshielo, formando de este modo pequeños lagos de montaña. Los glaciares, al retirarse de los valles, dejan detrás de ellos cúmulos de rocas que forman los diques (morrenas) capaces de embalsar el agua. Los glaciares que antaño cubrieron gran parte del norte de Europa y Norteamérica, dejaron como registros gran cantidad de lagos en depresiones creadas por su acción erosiva.

Los lagos también pueden formarse por depósitos aluviales o troncos en los lechos de los ríos con flujo lento, que represan el agua. También los meandros formados por los ríos en valles planos y llanuras de inundación pueden quedar separados del curso principal del río, formando lagos en forma de media luna.

Los cambios en la corteza terrestre, así como la aparición de montañas o los desplazamientos de los estratos rocosos, provocan en algunas ocasiones la formación de lagos. En los cráteres de algunos volcanes extinguidos también pueden formarse lagos. Los deslizamientos de tierra pueden formar lagos cuando bloquean los cursos naturales de ríos y valles. Sin embargo, no todos los lagos o lagunas se forman debido a la actividad geológica. Algunos animales, como los castores, pueden represar los ríos formando sistemas lacustres someros de grandes extensiones. Del mismo modo, el hombre crea inmensos embalses para producir energía eléctrica, regadío o almacenamiento para agua potable y construye pequeños estanques y pantanos para actividades recreativas, la pesca o la protección de la biota.

A diferencia de la mayoría de los ecosistemas terrestres, los lagos y lagunas presentan límites bien definidos, la orilla, paredes del fondo y la superficie del agua. Las condiciones de estos bordes pueden variar en los distintos lagos. Sin embargo, todos los ecosistemas lénticos o de aguas estancadas tienen ciertas características comunes. La vida en estos sistemas depende de la disponibilidad de luz. La cantidad de luz que penetra en el agua se ve influenciada no sólo por la extinción natural, sino también por los sedimentos en suspensión y otros materiales aportados al lago, así como por el crecimiento del plancton (organismos microscópicos que viven flotando en la columna de agua). La temperatura cambia tanto estacionalmente como con la profundidad. La disponibilidad de oxígeno puede ser limitada, principalmente en verano, ya que únicamente una pequeña porción del lago está en contacto directo con el aire, mientras que en la capas profundas

el oxígeno es consumido por la descomposición biológica. Estas variaciones en el oxígeno, temperatura y luz determinan el comportamiento y distribución de los organismos en los lagos.

Las poblaciones de organismos que habitan en lagos y lagunas o en los embalses experimentan cambios estacionales. En los climas templados a finales de primavera y principios de verano, el incremento de la radiación solar y la mayor temperatura del aire hacen que las aguas superficiales se calienten más que las profundas. Debido a que la densidad del agua es máxima a 4°C, las aguas superficiales se tornan ligeras cuando se incrementa su temperatura. Rápidamente se establece una capa de agua más caliente y liviana, el epilimnion, que se sitúa por encima de una capa de agua más fría y densa, el hipolimnion (Figura 8). Entre estas dos capas de agua se encuentra una zona de gradiente térmico llamada termoclina, en donde la temperatura desciende aproximadamente 1°C por cada metro de profundidad. La termoclina supone una barrera entre el epilimnion y el hipolimnion, evitando cualquier contacto entre las aguas superficiales y las profundas.

Al llegar el otoño, las condiciones comienzan a cambiar y la situación se invierte. La temperatura del agua y la radiación solar disminuyen, y la superficie del agua comienza a enfriarse. Cuando esto sucede, el agua se vuelve más densa y se hunde, desplazando el agua profunda, con mayor temperatura, hacia la superficie, donde se enfría. Este enfriamiento continúa hasta que la temperatura se uniformiza en toda la cubeta y al no haber gradiente de densidad el viento puede mezclar toda la columna de agua. Esta circulación, que recarga la masa de agua de oxígeno y nutrientes, es conocida como mezcla vertical. La agitación del viento hace que la mezcla se mantenga hasta que, llegado el caso, se forme una capa de hielo.

Cuando llega el invierno, la superficie del agua puede enfriarse hasta alcanzar temperaturas inferiores a 4°C, haciéndose más liviana y permaneciendo en la superficie (el agua tiene su máxima densidad a 4°C). Si el invierno es suficientemente frío, la superficie del agua se hiela o, al menos, permanece a una temperatura cercana a cero. En este caso, es en el fondo del lago donde se encuentra el agua con mayor temperatura, pudiendo aparecer una ligera inversión térmica debido a que al aumentar la profundidad, la temperatura puede aumentar hasta los 4°C.

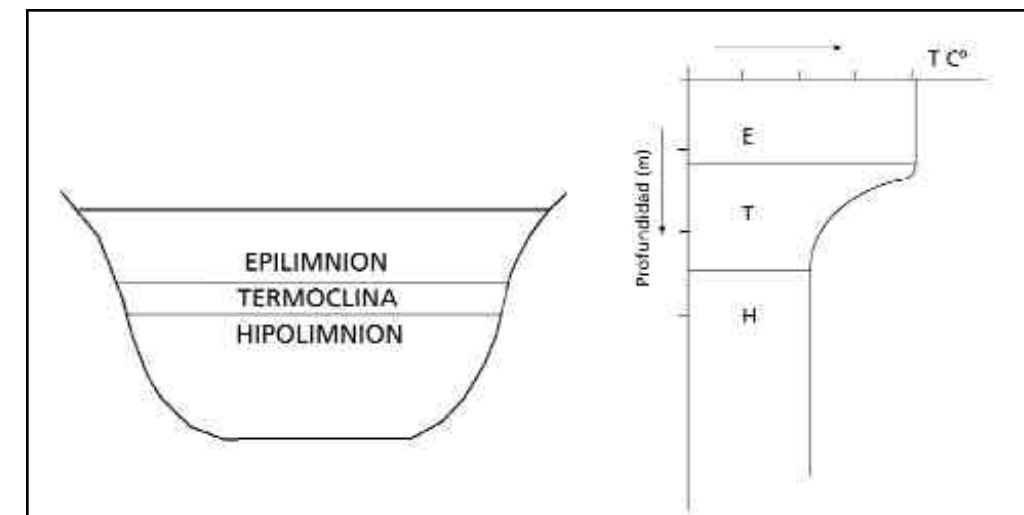


Figura 8. Formación de estratificación térmica en un lago templado.
E = epilimnion, T = metalimnion (donde se encuentra la termoclina),
H= hipolimnion. La coloración es proporcional a la densidad del agua.

Con el deshielo primaveral y el calentamiento de la superficie hasta los 4°C tiene lugar una nueva mezcla, con la consiguiente recarga de oxígeno y nutrientes en las aguas de toda la cubeta. A medida que avanza la estación cálida, aparecen de nuevo las tres capas antes mencionadas.

En necesario señalar, que no todos los lagos experimentan los cambios estacionales descritos anteriormente, propios de climas templados, por lo que no debe considerarse este fenómeno como característico de todas las masas de agua. Los lagos y estanques someros pueden presentar procesos de estratificación de corta duración, mientras que en lagos muy profundos la termoclina puede limitarse a descender durante los periodos de mezcla, sin llegar a desaparecer completamente.

Al igual que los ecosistemas lacustres, los ambientes lóticos pueden ser naturales o artificiales, como son los canales, zanjones o acequias de riego. Un río es un curso natural (Figura 9), permanente, con lecho formado, de al menos 5 metros de ancho y que desagua en otro cuerpo de agua, el cual puede ser un lago, otro río o el mar (cuencas exorreicas) e incluso algunos pueden penetrar en el suelo y pasar a formar parte de las aguas subterráneas (cuencas endorreicas).



Figura 9. Río Paraná de Argentina, ejemplo de sistema lótico.

Fuente: Secretaría de Turismo.

Hay ríos de montaña, que se caracterizan por sus aguas corrientes rápidas en lechos o cauces estrechos, de fuertes pendientes, aguas frías, transparentes y oxigenadas. En estos ríos su fondo es estable, generalmente conformados de cantos rodados, donde crecen comunidades de organismos que se adosan fuertemente a estas rocas (organismos vegetales y animales microscópicos bentónicos) y algunas especies de peces que pueden crecer y reproducirse en estos ríos de fuerte corriente, como son las truchas salmonídeas.

Distintos a estos ríos de montaña, son aquellos que se llaman de llanura o áreas planas, que se caracterizan por presentar baja velocidad de la corriente, lechos anchos y escasa pendiente, aguas de mayor temperatura y en general más turbias, por el sedimento que arrastran. En general sus sedimentos de fondo son móviles y contienen una mayor proporción de materia orgánica. En este tipo de ríos las comunidades bentónicas (que habitan en el fondo), sean vegetales como animales son de composición muy diferentes a la de los ríos de montaña, pero presentan una biota

pelágica (organismos micro y macroplancónicos que habitan la columna de agua y no el sustrato del fondo del río). En su litoral se puede formar una vegetación abundante y diversificada.

En términos más técnicos, los ríos de montaña son llamados ritrones y los de llanura potamones. Un mismo río puede tener una parte de río de montaña y otra de llanura; en cambio otros pueden corresponder a una sola de estas categorías.

En los primeros estudios sobre la ecología de los ríos se tenía el concepto de regionalización o zonificación; es decir, que había zonas independientes a lo largo de los ríos, por ejemplo la parte de montaña era independiente de la parte de llanura. En la década de 1980, Vannote et al., (1980), desarrollaron el concepto del “river continuum” (el río como una continuidad) basado en la hipótesis que las comunidades biológicas de aguas abajo dependen de los procesos físicos, químicos y biológicos que se desarrollan aguas arriba. Este concepto establece que los ríos constituyen unidades desde su origen hasta su desembocadura en el mar. Esto representa un elemento de referencia esencial para analizar las consecuencias de actividades que se hacen en la parte alta de una cuenca y sus efectos aguas abajo, incluyendo, si es del caso, los efectos sobre el sistema marino receptor de las aguas de los ríos.

El río y el área de drenaje (cuenca) que lo influencia es una unidad sistémica, por lo tanto su análisis debe hacerse bajo el enfoque sistémico u holístico (considerar el “todo” como unidad, y los elementos de este todo, interactuando entre ellos). Es este enfoque el que hace posible establecer y entender las relaciones causa/efecto que algunas de las acciones del hombre tiene sobre el sistema (por ejemplo, el uso de pesticidas por la agricultura o la actividad forestal y la contaminación de las aguas de los ríos).

RECUADRO III

EL CONCEPTO DE CONTINUO FLUVIAL (RIVER CONTINUUM)

El concepto clásico de ecosistema, tan útil cuando hubo que luchar contra la eutrofización de los lagos, parece ser poco aplicable en el caso de los ríos. Este concepto se adapta muy bien en el caso de los lagos, considerados tradicionalmente como conjuntos funcionales unitarios, con límites bastante bien definidos. Pero cómo definir un conjunto unitario a lo largo de un río. En realidad, el concepto clásico de ecosistema tiene una difícil aplicación a los sistemas fluviales, a lo largo de los cuales se hacen y se deshacen las más variadas relaciones entre el medio acuático y el terrestre. Los ríos no pueden ser considerados como simples canales longitudinales destinados a transportar agua. Se trata de sistemas complejos que interaccionan con el conjunto de sus cuencas de drenaje y especialmente con su llanura de inundación.

En 1980 Vannote y colaboradores desarrollaron el concepto de “continuo fluvial” o “river continuum concept”, para relacionar la estructura y el funcionamiento de las comunidades que viven en las aguas corrientes con los procesos de hidrología y geomorfología fluvial. El concepto de continuo fluvial (Figura 10) establece que los torrentes y los ríos constituyen sistemas longitudinales solidarios en los que, debido a la circulación de las aguas, la dinámica de los sistemas situados aguas abajo depende de los procesos físico-químicos y biológicos que se desarrollan aguas arriba.

La mayoría de los torrentes de los cursos superiores están prácticamente recubiertos por el bosque de las riberas. La sombra de la ribera impide la producción primaria acuática autóctona durante el verano, mientras que de las orillas entran grandes cantidades de restos vegetales al medio acuático. Estos restos vegetales, especialmente las hojas, aportan desde el medio terrestre circundante la mayor parte del alimento de los organismos que viven sobre el fondo de torrentes y ríos cubiertos por la vegetación. A estos sistemas se los denomina “heterótrofos”, para señalar que la mayoría de los recursos nutricionales provienen del exterior. Sin embargo, la función de la vegetación ribereña disminuye en los ríos de tamaño medio, ya que al aumentar de tamaño la radiación solar permite el desarrollo de una producción vegetal autóctona. Los sistemas pasan de la heterotrofia en los cursos superiores, a la autotrofia, es decir, que la mayoría de los recursos alimentarios se producen en el mismo río. A los residuos vegetales, aportados por la corriente río arriba, se van agregando progresivamente otras materias orgánicas en descomposición, de diversos orígenes (autóctonas y alóctonas). Este conjunto de partículas se encuentra suspendido en el agua.

En los grandes ríos, este hecho implica un aumento de la turbidez de las aguas, lo que disminuye la penetración de la luz en profundidad y nuevamente dificulta el desarrollo de la producción primaria autóctona. Con esto se alcanza otra vez unas condiciones de heterotrofia parecidas a las de los riachuelos de la cabecera. A estos cambios sucesivos de heterotrofia, autotrofia y de nuevo heterotrofia, se van ajustando las comunidades de organismos animales, transformándose de forma mas o menos continua, de los cursos superiores a los inferiores según un perfil longitudinal. De esta forma, distintos tipos de invertebrados, especialmente larvas de insectos - detritívoros, filtradores y raspadores - dominan alternadamente a lo largo de los sistemas fluviales en función de las posibilidades alimentarias. Esta estrecha dependencia entre el curso superior y los cursos inferiores se vuelve a manifestar en el estudio del reciclaje de los nutrientes. La materia orgánica una vez que ha entrado al sistema fluvial, experimenta una serie de transformaciones en la que participan activamente los microorganismos (sobretudo bacterias y hongos) y las comunidades de invertebrados (larvas de insectos, crustáceos, moluscos y gusanos, etc.) que viven en el fondo. Como se puede ver, la fragmentación cada vez más fina de la materia orgánica provoca una estructuración de las comunidades. Los fragmentos que escapan a los detritívoros son utilizados por individuos menos potentes y después por los filtradores de partículas cada vez más finas. A medida que se realiza el transporte río abajo la materia orgánica es ingerida, expulsada, e ingerida nuevamente, depositándose en las zonas calmas y arrastrada en las crecidas. De esta forma un mismo elemento nutritivo (carbono, nitrógeno, fósforo) se encuentra progresivamente en una forma mineral, o incorporado a la materia viva durante su transporte río abajo. Este reciclaje en hélice de la materia orgánica, algunos lo denominan en espiral, refuerza la dependencia de las comunidades de los cursos superiores respecto de los cursos inferiores.

La originalidad de este tipo de reciclaje de elementos nutritivos ha dado lugar a un concepto complementario al de “continuo fluvial”: el concepto de “spiralling” o de “flujo en hélice” de los elementos nutritivos. Este flujo en hélice o spiralling combina dos procesos: por una parte el empleo de la materia orgánica a la deriva por los organismos fijos al fondo del curso de agua, y por otra, la reutilización de esta materia río abajo después de la muerte de los organismos.

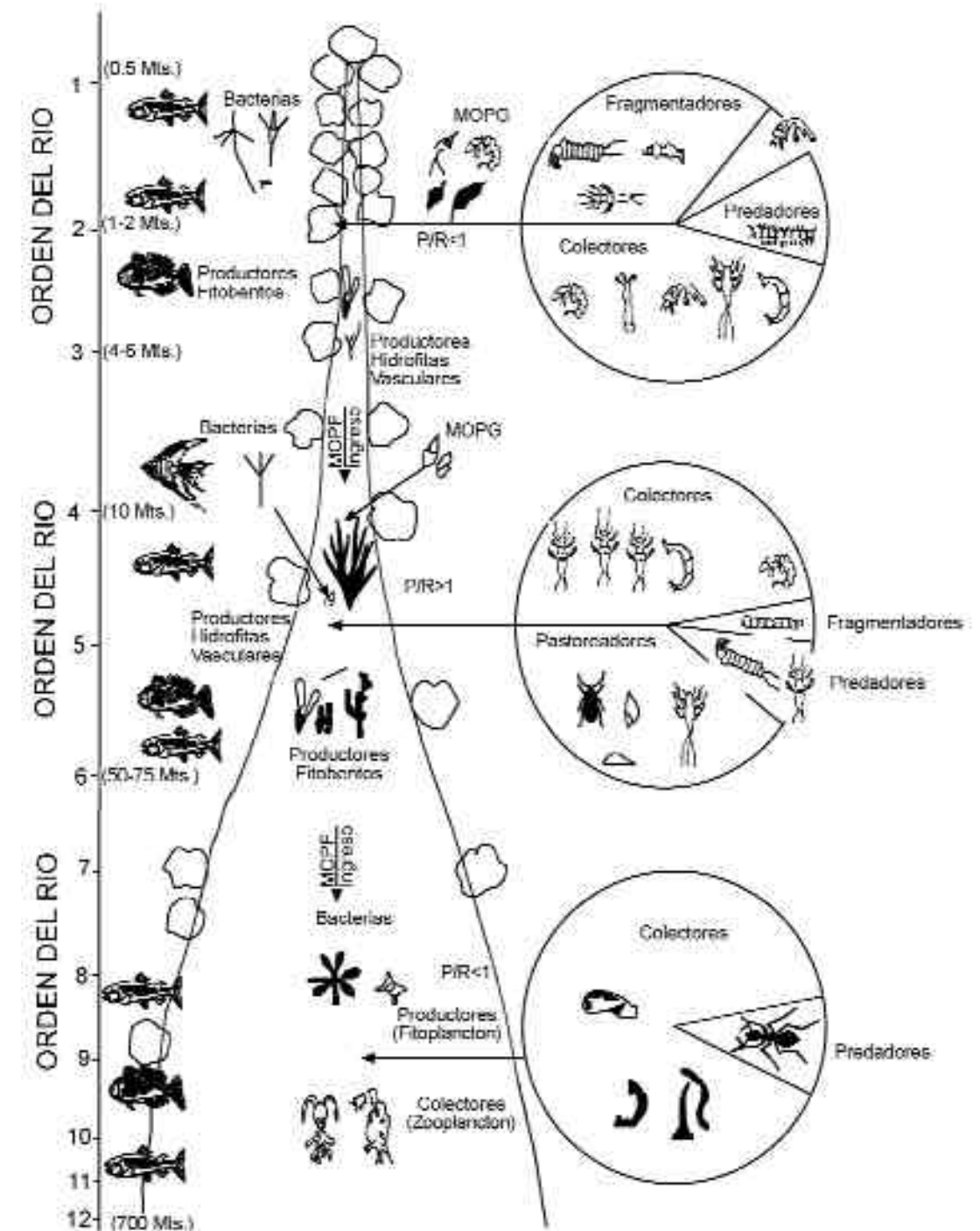


Figura 10. Representación gráfica del “River Continuum Concept” (modificado de Vannote et al., 1980). MOPG y MOPF significan Materia Orgánica Particulada Gruesa y Fina, respectivamente.

COMPETENCIAS PARA EL PROFESOR

COMPETENCIA GENERAL

Valorizar el agua como recurso limitado y estratégico para el desarrollo humano y nacional.

SUBCOMPETENCIAS

- a) **Identificar** el ciclo hidrológico como renovador de este vital elemento.
- b) **Reconocer** el concepto de cuenca hidrográfica como un sistema que permite el manejo de los recursos naturales integrados en general.
- c) **Comprender** el sentido estratégico del recurso agua para el desarrollo humano.

SEGUNDA PARTE

USO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

2. USO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

2.1. USOS DEL AGUA

2.1.1. USOS CONSUNTIVOS Y NO CONSUNTIVOS

El agua como recurso natural tiene una serie de características que la ubican como un bien mixto entre los bienes públicos. Entre estas características se encuentra el hecho de no ser fácilmente divisible, ni presentar límites discretos, como otros bienes muebles e inmuebles que permitan su apropiación privada en forma absoluta. Esto se complica aún más por incertidumbres de abastecimiento y calidad y por el rol múltiple del recurso en términos ambientales, económicos y sociales. Esto ha hecho que tradicionalmente los sistemas de gestión y asignación de aguas desarrollaran estructuras complejas con vistas a asegurar tanto los derechos privados, fundamentales para la inversión, como los elementos de control público, fundamentales para el control de externalidades y prevención de monopolios.

Independientemente de la base que se utilice para definir calidad, en general, el uso del agua puede ser agrupado en: usos consuntivos y no consuntivos.

El uso consuntivo otorga al titular la facultad de extraer el caudal al que tiene derecho desde un cuerpo de agua determinado y consumirlo totalmente, es decir aquellos en los que los requerimientos de la sociedad se satisfacen con la extracción de cantidades (masa - volumen - caudal) de agua del ciclo hidrológico (Figura 11).

Entre los usos consuntivos del agua más frecuentes se puede mencionar:

- i. Agrícola; el agua es aplicada a los suelos para intervenir en los procesos biológicos de los vegetales; el ganadero, en el que se destina el agua a la bebida de animales.
- ii. Doméstico; el agua es destinada a la bebida, cocción de alimentos e higiene de las personas.
- iii. Usos industriales; el agua es un insumo de los procesos fabriles (fabricación de papel, productos alimentarios, etc.).

Al respecto, se debe considerar que aunque proporcionalmente, la cantidad de agua requerida para consumo doméstico no es grande, su calidad debe ser alta. Otra característica importante relacionada con el consumo doméstico, municipal e industrial es que, generalmente, su aumento implica una mayor producción de aguas residuales. Esto es especialmente importante en países que no cuentan con plantas de tratamiento ni procesos de reciclaje.

Por otra parte, los usos no consuntivos dan derecho a un titular a extraer el caudal en un punto determinado y devolverlo en otro punto, también determinado, manteniendo la oportunidad, caudal y calidad (Figura 12). El uso no consuntivo más común corresponde a la generación de energía eléctrica. En los usos no consuntivos del agua entran en juego otras propiedades de ésta que no son sólo su cantidad. Son usos de este tipo:

- i. El hidroeléctrico; en el que se aprovecha la diferencia de energía potencial entre dos secciones de un curso de agua para transformarla en energía cinética de rotación que acciona dispositivos de generación de energía.

- ii. La navegación; en el que - desde los primeros tiempos de la humanidad - se aprovecha la baja fricción del agua para hacer deslizar sobre ella medios de transporte (navíos).
- iii. El industrial; en los que se aprovecha la capacidad calórica del agua para refrigerar partes de procesos industriales (intercambiadores de calor).
- iv. Los turísticos; en los que se valorizan las sensaciones de bienestar que producen en las personas los espejos de agua (lagos o embalses) y la práctica de deportes náuticos en cursos y cuerpos de agua. En este tipo de uso se incluyen además los termomedicinales, en los que se aprovechan las propiedades térmicas y minerales de ciertas aguas con efectos benéficos para la salud.

Recientemente se está considerando a la protección de los ecosistemas fluviales y lacustres, como soportes de la vida silvestre (Figura 13), como un uso no consuntivo. Éste, como los anteriores, por más que no son extractivos de agua, pueden llegar a imponer restricciones sobre el nivel de desarrollo que puedan alcanzar los demás usos tanto en lo referente a sus volúmenes, con el establecimiento de “caudales ecológicos” para determinados tramos de ríos ante posibles derivaciones como a sus parámetros de calidad.

Mundialmente, de las tres categorías corrientes del uso consuntivo de agua dulce, la agricultura es la que domina. En el plano mundial, la agricultura representa un 69% de todas las extracciones anuales de agua; la industria, un 23%, y el uso doméstico, un 8% (Engelman & Leroy, 1993).

Los países en desarrollo dedican casi toda el agua disponible a la agricultura (Tabla 1). La India, por ejemplo, utiliza 90% del agua para la agricultura y sólo 7% para la industria y 3% para uso doméstico (ES, 1994). Cuanto más alto es el nivel de desarrollo, más agua se utiliza para fines domésticos e industriales y menos para la agricultura.

En general se considera que un volumen de 20 a 40 litros de agua dulce por persona por día es el mínimo necesario para satisfacer las necesidades de beber y saneamiento solamente. Si se incluye el agua para bañarse y cocinar, esta cifra varía entre 27 y 200 litros per cápita por día. No obstante, se ha propuesto “un requerimiento general básico de 50 litros por persona y día” como estándar mínimo para satisfacer cuatro necesidades básicas: beber, saneamiento, bañarse y cocinar. En 1990, 55 países con una población cercana a los 1.000 millones de habitantes no satisfacían este estándar como promedio nacional (Gleick, 1996).

Tabla 1. Consumos de agua en los diferentes países de Latinoamérica.

País	Año	Extracción total de agua dulce	Extracción estimada al año 2000 per capita	Uso doméstico	Uso Industrial	Uso Agrícola	Uso doméstico	Uso Industrial	Uso Agrícola
Argentina	1976	27.60	745	9	18	73	67	134	544
Bolivia	1987	1.24	149	10	5	85	15	7	127
Brasil	1990	36.47	216	43	17	40	93	37	86
Chile	1975	16.80	1.104	6	5	89	66	55	983
Colombia	1987	5.34	137	41	16	43	56	22	59
Ecuador	1987	5.56	440	7	3	90	31	13	396
Guyana	1992	1.46	1.670	1	0	99	17	0	1654
Paraguay	1987	0.43	78	15	7	78	12	5	61
Perú	1987	6.10	238	19	9	72	45	21	171
Surinam	1987	0.46	1.018	6	5	89	61	51	906
Uruguay	1965	0.65	199	6	3	91	12	6	181
Venezuela	1970	4.10	170	43	11	46	73	19	78

Se estima que en 1996 la población mundial estaba usando 54% del agua dulce accesible contenida en los ríos, lagos y acuíferos subterráneos. Según proyecciones conservadoras, este porcentaje ascenderá por lo menos al 70% en el año 2025, si se tiene en cuenta sólo el crecimiento de la población, y mucho más si el consumo per cápita continúa aumentando al ritmo actual (Holmes, 1996). A medida que la humanidad extrae una proporción creciente de la totalidad del agua, va quedando menos para mantener los ecosistemas vitales de los que también dependemos.

Desde 1950, la extracción de agua mundial ha aumentado tres veces y medio, y su uso per cápita se ha triplicado, debido fundamentalmente al incremento de la población, la agricultura y la industria. La extracción total de agua varía considerablemente entre los diversos países, sean estos desarrollados o en vías de desarrollo. De esta forma, puede observarse que los países con mayores volúmenes de extracción de agua son: Estados Unidos, China, India y la ex-Unión Soviética. Estados Unidos por su parte, también cuenta con el mayor volumen de extracción de agua per cápita, seguido de Canadá, Australia, la ex Unión Soviética, Japón y México.

Arabia Saudita presenta uno de los casos extremos en el mundo de uso de agua insostenible. Este país, extremadamente árido, debe ahora explotar los acuíferos fósiles subterráneos para satisfacer las tres cuartas partes de sus necesidades de agua. Los acuíferos fósiles de Arabia Saudita han estado perdiendo, término medio, 5.200 millones de metros cúbicos de agua por año (Postel, 1997).

Cuatro países del golfo Pérsico (Bahrain, Kuwait, Arabia Saudita y los Emiratos Árabes Unidos), tienen tan poca agua dulce que recurren a la costosa conversión del agua de mar en agua dulce (desalinización). Sin desalinización, los estados del golfo Pérsico no podrían sostener una población ni siquiera aproximada a la que tienen ahora (Postel, 1997).



Figura 11: Ejemplos de usos consuntivos

Fuente: elaboración propia

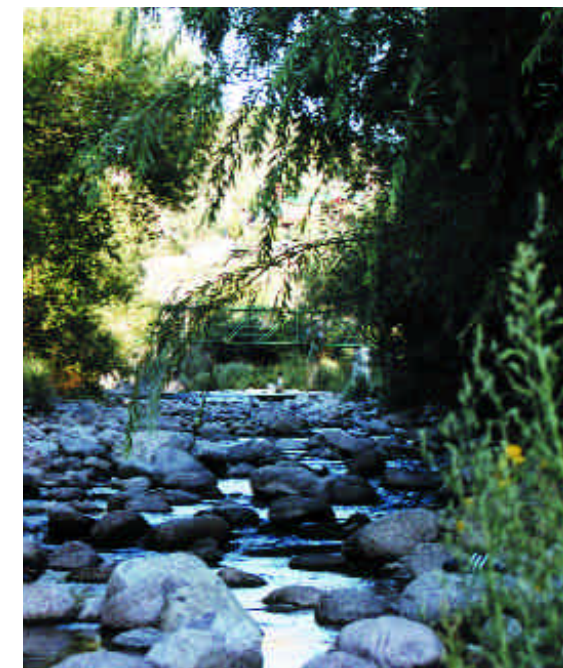


Figura 13. Protección de ecosistemas fluviales y lacustres como otro uso no consuntivo

Fuente: (Izq.) Elaboración propia. (Der.) Secretaría de Turismo.



Figura 12. Ejemplos de usos no consuntivos.

Fuente: Secretaría de Turismo.



Fuente: Secretaría de Turismo.

2.1.2. EFECTO DEL USO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

La Historia del Hombre nos demuestra que el agua, ha sido uno de los principales recursos limitantes de su desarrollo económico y social. Cada vez que la disponibilidad de agua se redujo más allá de un nivel crítico, sea por razones climáticas o por acción del hombre, languideció también el grupo humano que se nucleó en torno a dicho cuerpo de agua.

Desde el punto de vista de la sociedad humana, el agua se utiliza en diferentes roles, principalmente:

- Agua para consumo humano directo (vital).
- Agua para usos domésticos (lavado, sanitario, cocina).
- Agua para usos industriales (medio térmico, transporte de materiales, medio de reacción, solvente, lavado).
- Agua para fines de regadío agrícola, en actividad pecuaria, forestal, etc.
- Agua como medio para la producción de especies marinas (peces, algas, moluscos, etc.).
- Agua como recurso para la generación de energía eléctrica.
- Agua como medio recreacional.
- Agua como medio receptor de los residuos de la actividad humana.

Todos estos usos del agua implican requerimientos de calidad y cantidad que deben ser mantenidos para garantizar su consumo sin dañar la salud de las personas y un desarrollo económico sustentable. Más aún, algunos de estos requerimientos implican intervención física directa sobre los cuerpos de agua, pudiendo modificar drásticamente su morfología y su caudal, con serias consecuencias para el equilibrio ecológico en el medio acuático.

La relativa escasez de este fluido vital, y su importancia determinante para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres, hacen que el agua sea uno de los principales objetivos de protección ambiental de la sociedad moderna. A modo de ejemplo, cabe destacar que en el mundo existen más de 1.200 millones de seres humanos que no tienen acceso directo a agua potable, y más del 20% de los peces de agua dulce están en peligro de extinción. En la actualidad, en todos los países las regulaciones de control ambiental establecen límites a las descargas de residuos líquidos que son vertidos en los cuerpos de agua, además, fijan estándares de calidad de agua de acuerdo a su potencial de uso.

El uso del agua como elemento indispensable para la recreación plantea problemas, especialmente con los usos industriales, debido a la contaminación que provocan sus efluentes. Pueden surgir asimismo conflictos importantes con otros usos, si estos no se contemplan explícitamente al planificarse obras hidráulicas de envergadura. El rápido desarrollo del turismo interno de algunas zonas de nuestro país, ha contribuido para una concientización social sobre el problema que representa la contaminación.

Prácticamente en todas las regiones del mundo, el uso descuidado de los recursos hídricos está dañando el medio ambiente natural (Abramovitz, 1996). Por ejemplo:

- La construcción de represas es la actividad que mayor efecto ha tenido en los sistemas de agua dulce. Desde la década de los años cincuenta la cantidad de represas grandes ha aumentado siete veces; actualmente estas estructuras retienen el 14% de toda la escorrentía del mundo.
- Debido a la construcción de represas, canales o desvíos de agua, cerca del 60% de los 227 ríos más grandes del mundo está ligera o fuertemente fragmentado.

- La desviación de las aguas del río Nilo, causó la contracción del fértil delta del Nilo. De 47 especies comerciales de peces, 30 se han extinguido o están prácticamente extintas. Las pesquerías del delta que en un tiempo mantenían a más de un millón de personas fueron aniquiladas.
- El lago Chad, en la región del Sahel, en África, que abarcaba 25.000 Km², quedó reducido a sólo 2.000 Km² en los tres últimos decenios a causa de las sequías periódicas y las desviaciones en gran escala del agua para el riego. Las ricas pesquerías del lago de una época se han caído completamente.
- Pese a los trabajos de limpieza, el río Rin, ha perdido 8 de sus 44 especies de peces. Otras 25 especies son ahora raras o están en peligro de extinción.
- El estado de California, en los Estados Unidos, ha perdido más del 90% de las zonas pantanosas. Como resultado, casi dos tercios de los peces nativos se extinguieron, o están en peligro o amenazados de extinción, o en declinación.

RECUADRO IV

EL CASO DEL MAR ARAL EN LA EX UNION SOVIÉTICA.

Uno de los casos más trascendentes de manejo indiscriminado de un recurso hídrico, es el caso del Mar Aral, situado entre las Repúblicas de Kazajstán y Uzbekistán, en la zona del Asia Central (Figura 14). Allí, desde aproximadamente 30 años, se han desviado importantes cantidades de agua de los ríos que alimentan al Mar Aral, el Amu Daria y el Sir Daria, para dedicarlos al riego de los cultivos de algodón y otros productos alimenticios (Miller, 1994). El canal de riego, el más largo del mundo, se extiende por una distancia de 1.300 kilómetros.

Pero las estadísticas no mostraron el efecto de desviar casi todo el caudal de los afluentes del lago Aral. En 1989, el lago recibía sólo un octavo del flujo de agua de 1960. El nivel había descendido 16 metros, su volumen reducido en dos tercios y aproximadamente 36.000 kilómetros cuadrados del fondo del lago original se transformaron en un desierto cubierto de sal. Así desapareció casi la mitad de las especies de aves y mamíferos que poblaban el área y como consecuencia la industria pesquera, que en un tiempo proporcionó trabajo a más de 60.000 personas.

Los vientos recogen el polvo salado que se extiende en el ahora expuesto lecho del lago y lo transportan sobre los campos de cultivo, a una distancia de casi 300 kilómetros. Como la sal se disemina mata los cultivos, la flora y fauna, y destruye los pastos. Este fenómeno añade un nuevo término a la lista de enfermedades medioambientales: lluvia de sal.

Estos cambios afectaron clima semiárido de la zona. El antiguo mar Aral actuaba como un amortiguador térmico, moderando el calor del verano y el frío extremo del invierno. Ahora hay menos lluvia, los veranos son más calurosos, los inviernos más fríos y la temporada de crecimiento más corta.

Por otra parte, los agricultores, para mejorar los rendimientos, aumentaron el aporte de herbicidas, insecticidas y fertilizantes. Muchos de estos productos se infiltraron en el suelo y se han acumulado a niveles peligrosos en el agua subterránea, de donde proviene

la mayor parte del agua para consumo humano de la región. Los bajos caudales de los ríos también concentraron sales, plaguicidas y otros agroquímicos, haciendo que el suministro de agua superficial peligroso para beber.

Información proveniente de fuentes sanitarias de la zona indican que, en los últimos veinte años, se acrecentaron los casos de enfermedades respiratorias, oculares, renales e infecciosas intestinales, y que la tasa de hepatitis es siete veces superior a la de 1960. A mediados de la década de 1980, la zona próxima al reducido mar de Aral tenía los niveles más altos de mortalidad infantil en la ex Unión Soviética.



Figura 14: Reducción de la superficie del espejo de agua del Mar Aral por la desviación de los ríos que lo alimentaban.



2.2. CALIDAD DEL AGUA Y CONTAMINACIÓN

2.2.1 CALIDAD DEL AGUA

Los usos que puedan tener los recursos hídricos están determinados por la calidad del agua que ellos presentan. Así, de acuerdo a su calidad puede permitir un uso para potabilización, para riego, para bebida animal, etc. Esto significa que, acorde a las características o propiedades físicoquímicas del cuerpo o masa de agua (Calidad), se le asociarán determinados usos. Por esto es tan importante contar con agua no contaminada. Por otra parte la calidad del agua es un concepto relativo y complejo, difícil de definir en términos absolutos puesto que se determina en función de usos específicos. De esta forma, la calidad del agua puede definirse como: la capacidad de un cuerpo de agua para soportar apropiadamente usos benéficos, entendiendo los usos benéficos como los modos en que se utilizada el agua por humanos o vida silvestre; ya sea como, bebida o hábitat.

La manera más sencilla de estimar la calidad del agua consiste en la definición de valores o rangos para ciertas variables físicas, químicas o biológicas, que se consideran admisibles o deseables según el uso a que se destine. Corresponde al cumplimiento de determinados valores en función de distintos usos como son los que se presentan en la Tabla 2.

Así, acorde a las concentraciones encontradas, se clasifica la calidad de agua y se define su potencialidad de uso. La calidad físico-química del agua es un instrumento imprescindible para determinar la calidad del agua en los ríos y lagos, y es la manera más común para identificar y cuantificar muchas características del agua y la posible aparición de contaminantes. En la mayor parte de las normativas ambientales para agua, se han definido estándares de calidad para determinados usos (i.e., abastecimiento de agua potable, recreación, riego, vida acuática), así como la frecuencia de muestreos y las técnicas analíticas de aplicación.

Sin embargo, la toma periódica de muestras no siempre es suficiente para definir la calidad de un cuerpo acuático. En primer lugar, hay factores ajenos a la propia analítica físico-química, como la alteración del hábitat físico o la modificación del régimen de caudal. En segundo lugar, la toma de muestras de agua no deja de ser puntual, por lo que determinados vertidos no continuos pueden pasar desapercibidos, por ejemplo algunos industriales. Además, la calidad del agua se suele basar en la concentración de una serie de compuestos (con las limitaciones que esto trae consigo) y sus supuestos efectos de toxicidad. No siempre es fácil conocer el verdadero efecto que los distintos compuestos considerados pueden tener en los ecosistemas fluviales, incluidas las posibles sinergias.

Debido a lo anterior, los métodos biológicos son de creciente aplicación a la hora de determinar la calidad del agua, aunque nunca se conciben como sistemas sustitutos de los físico-químico. Por el contrario, los métodos biológicos son complementarios para paliar algunas de las imputaciones de aquéllos. Sintéticamente, dos son las principales ventajas: (i) los métodos biológicos no se circunscriben al momento de toma de la muestra, puesto que las comunidades de seres vivos pueden integrar periodos anteriores y (ii) el efecto de los posibles contaminantes se evalúa según el verdadero efecto que tienen en las biocenosis. Los métodos biológicos más empleados son los que se basan en la composición de la comunidad de macroinvertebrados bénticos. Con la presencia - ausencia de estos pequeños animales se pueden calcular "índices bióticos", que son sistemas para clasificar la calidad del agua otorgando una puntuación. Los métodos biológicos, nunca son excluyentes de la calidad físico-química, son relativamente sencillos, rápidos y de bajo costo.

Tabla 2. Criterios de calidad para la protección de la vida acuática propuesta por la US-EPA.

SUSTANCIA O PARÁMETRO	RANGO DE VALORES	CRITERIO DE CALIDAD	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA
Alcalinidad mg CaCO ₃	>20	Excepto casos de concentración natural inferior	US-EPA 1977
Amoniaco mg/l	0,02	Como NH ₃ no ionizado	US-EPA 1977
Fósforo µg/l	0,1	Como P elemental	US-EPA 1977
Gas disc. tot. % sat	<110%		US-EPA 1977
H ₂ S µg/l	2	Como H ₂ S no disociado	US-EPA 1977
Grasas y aceites mg/l	1/100	LC ₅₀ 96 h para especies sensibles de aguas continentales o marinas	US-EPA 1977
Oxígeno disuelto mg/l	>5		US-EPA 1977
PH	6,5-9	Aguas continentales	US-EPA 1977
	6,5-8,5	Aguas marina (
Sólidos suspendidos mg/l		No debe reducir la profundidad del punto de compensación de la actividad fotosintética mas allá de 10% respecto a la condición natural.	US-EPA 1977
Temperatura		El criterio es complejo y depende de las diversas condiciones ambientales, y principalmente de las características de la especie.	US-EPA 1977
Plata mg/l	1/100	LC50 96 h para especies sensibles de aguas continentales o marinas	US-EPA 1992
	0,004	Aguas continentales	
	0,002	Aguas marina	
Arsénico mg/l	0,2	Aguas continentales	US-EPA 1992
	0,04	Agua de mar	
Berilio mg/l	0,011	En aguas poco duras	US-EPA 1977
	1,1	En aguas duras	
Cadmio µg/l	0,4	En aguas poco duras	US-EPA 1977
	1,2	En aguas duras	
	0,005	En agua de mar	
Cianuro mg/l	0,005	En aguas continentales	US-EPA 1992
	0,001	En agua de mar	
Cloro mg/l Cl total	0,002	Para Salmónidos	US-EPA 1977
	0,010	Para otros organismos	
Cromo mg/l	0,1		US-EPA 1977
Fierro mg/l	1		US-EPA 1977
Mercurio µg/l	0,012	En aguas continentales	US-EPA 1992
	0,025	En agua de mar	
Níquel mg/l	1/100	LC ₅₀ 96 h para especies sensibles de aguas continentales o marinas	US-EPA 1977
	0,16	En agua continentales	US-EPA 1992
	0,008	En agua de mar	
Plomo mg/l	1/100	LC ₅₀ 96 h para especies sensibles de aguas continentales o marinas	US-EPA 1977
	0,003	En aguas continentales	US-EPA 1992
	0,008	En agua de mar	
Cobre mg/l	1/100	LC ₅₀ 96 h para especies sensibles de aguas continentales o marinas	US-EPA 1977
	0,012	En aguas continentales	US-EPA 1992
	0,003	En agua de mar	
Selenio µg/l	1/100	LC ₅₀ 96 h para especies sensibles de aguas continentales o marinas	US-EPA 1977
	0,005	En agua continentales	US-EPA 1992
	0,07	En agua de mar	
Zinc mg/l	1/100	LC ₅₀ 96 h para especies sensibles de aguas continentales o marinas	US-EPA 1977
	0,11	En aguas continentales	US-EPA 1992
	0,09	En agua de mar	
Aldrin µg/l	0,003		US-EPA 1977
Clordano µg/l	0,004		US-EPA 1992
DDT µg/l	0,001		US-EPA 1992
Demeton µg/l	0,1		US-EPA 1977
Dieldrin µg/l	0,0019		US-EPA 1992
Endosulfan µg/l	0,06	En aguas continentales	US-EPA 1992
	0,009	En agua de mar	
Endrin µg/l	0,002		US-EPA 1992
Fenoles µg/l	1		US-EPA 1977
Ftalatos µg/l	3		US-EPA 1977
Guthion µg/l	0,01		US-EPA 1977
Heptacloro µg/l	0,004		US-EPA 1992
Lindano µg/l	0,08		US-EPA 1992
Malathion µg/l	0,1		US-EPA 1977
Methoxychlor µg/l	0,03		US-EPA 1977
Mirex µg/l	0,001		US-EPA 1977
Parathion µg/l	0,04		US-EPA 1977
PCB (individual) µg/l	0,014	Aguas continentales	US-EPA 1992
	0,03	Agua de mar	
Pentaclorofenol (PCP) µg/l	13	Aguascontinentales	US-EPA 1992
	8	Agua de mar	
Toxafeno µg/l	0,002		US-EPA 1992

2.2.2 CONTAMINACIÓN ACUÁTICA

Los ríos, lagos y mares recogen, desde tiempos inmemoriales, los residuos o las basuras producidas por la actividad humana. El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación. Pero esta misma facilidad de regeneración del agua, y su aparente abundancia, hace que sea el vertedero habitual en el que se arrojan los residuos producidos por diversas actividades humanas. Pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, etc., se encuentran, en cantidades mayores o menores, al analizar las aguas de los más remotos lugares del mundo. Muchas aguas están contaminadas hasta el punto de hacerlas peligrosas para la salud humana, y dañinas para la vida acuática.

La degradación de las aguas viene desde tiempos remotos. En algunos lugares, como la desembocadura del Nilo, hay altos niveles de contaminación desde hace siglos. Pero ha sido durante el siglo veinte cuando se extendió este problema a ríos y mares de todo el mundo. Primero fueron los ríos, las zonas portuarias de las grandes ciudades y las zonas industriales, las que se convirtieron en sucias cloacas, cargadas de productos químicos, espumas y toda clase de contaminantes. Con la industrialización y el desarrollo económico este problema se ha ido trasladando a los países en vías de desarrollo, a la vez que en los países desarrollados se producían importantes mejoras.

Los países occidentales industriales han hecho algún progreso al establecer controles sobre la contaminación industrial en particular. Pero subsisten problemas masivos. A la mayoría les resulta sorprendente que en los países con mayor capacidad económica, poco más de la mitad de la gente cuente con el servicio de plantas de tratamiento de aguas fecales. El río Rhin drena una de las regiones más altamente industrializadas del mundo. Ha sido el foco de importantes esfuerzos europeos por mejorar el alcantarillado y el tratamiento de los desechos industriales. Han vuelto los peces a algunas partes del río de las que estuvieron ausentes por décadas. Pero la contaminación por las sustancias químicas tóxicas y el desecho mineral sigue siendo alta. El peligro de polución esta siempre presente. Las aguas contaminadas suelen terminar en el mar y gran cantidad de peces de consumo humano se convierten a su vez en agentes tóxicos.

Usar el agua de manera más eficiente, reduciendo el derroche, es obviamente el camino. Se ha estimado, que si el derroche de agua en torno del río Indo, en Pakistán, pudiera reducirse en sólo un décimo, podrían irrigarse otro dos millones de hectáreas de tierras cultivables. Por fortuna, se está tomando conciencia en mejorar el flujo de los canales de irrigación y se está usando el riego por goteo para llevar el agua directamente a las raíces. Estos son algunos de los métodos para solucionar el problema de la escasez del agua y de la necesidad de aprovechar mejor los recursos de agua.

Todo esto es un grave problema en algunos países del Tercer mundo; la mayoría de los ríos de India son poco más que alcantarillas descubiertas que llevan al mar los desechos no tratados de las áreas rurales y urbanas. Alrededor del 70% de las aguas superficiales continentales están contaminadas. En general, los ríos de Asia son tal vez los más degradados del mundo.

La actividad agrícola tiende a la utilización masiva y creciente, de fertilizantes y pesticidas, los que se incorporan al ciclo hidrológico en forma de contaminación difusa, que en muchos casos no es degradable. Son procesos de lenta evolución y complejo control, cuyas consecuencias pueden generar conflictos a largo plazo. Las aguas de riego transportan una parte importante de las sustancias químicas

utilizadas en la agricultura (fertilizantes, pesticidas, plaguicidas, etc.), algunas de ellas muy tóxicas, que vía la escorrentía superficial o a través de las aguas subterráneas, alcanzan a ríos, lagos o mares.

Los procesos de erosión acelerada (provocados por las actividades agrícolas, silvícolas, minero-extractivas, construcción y otras actividades deforestadoras) también generan problemas de contaminación que se relacionan, principalmente, con el transporte de sedimentos y compuestos químicos asociados a las matrices sedimentarias.

La agricultura es el sector que más contaminación produce, inclusive más que el industrial y las descargas civiles. En casi todos los países donde se usan fertilizantes agrícolas y plaguicidas, se han contaminado los acuíferos subterráneos y el agua de superficial. Los desechos animales son otra fuente de contaminación persistente en algunas zonas. Cuando el agua es devuelta a los ríos y arroyos, después de haber sido utilizada para el riego, está generalmente degradada por el exceso de nutrientes, sales, agentes patógenos y sedimentos, que suelen dejarla inservible para cualquier otro uso posterior, a menos que sea tratada, incurriendo en un alto costo.

Europa y Norteamérica confrontan enormes problemas de contaminación del agua. Más del 90% de los ríos de Europa tienen altas concentraciones de nitrato, sobre todo de productos químicos utilizados en la agricultura, y 5% de ellos tienen concentraciones por lo menos 200 veces más altas que los niveles naturales de nitrato en los ríos no contaminados (WHO, 1992). En Estados Unidos, la agricultura sería la responsable del 70% de la contaminación actual del agua, donde el 40% de las aguas de superficiales no son aptas para el baño ni la pesca, y el 48% de los lagos se encuentran eutrofizados (EPA, 1995).

En Europa más de la mitad de los lagos son eutróficos a causa de la sobrecarga de nutrientes agrícolas y desde descargas urbanas (WHO, 1997). La eutrofización es un proceso que ocurre cuando un exceso de nutrientes estimula el crecimiento excesivo de las microalgas, las que cuando mueren y se descomponen consumen el oxígeno de la columna de agua.

En los países en desarrollo, del 90% a 95% de las aguas negras domésticas y el 75% de los desechos industriales se descargan en cuerpos de aguas superficiales sin tratamiento de ninguna clase (Allaoui, 1998). Algunos ejemplos de ello son:

- Los 14 ríos principales de la India están muy contaminados. Juntos, estos ríos transportan 50 millones de metros cúbicos por año de aguas negras sin tratar a las costas de la India.
- En Tailandia y Malasia, el agua está tan contaminada que los ríos suelen contener 30 a 100 veces más agentes patógenos, metales pesados y sustancias tóxicas, provenientes de la industria y la agricultura, que lo permitido por las normas de salud (Niemczynowicz, 1996).
- En el Gran Sao Paulo (Brasil), todos los días se arrojan al río Tieté 300 toneladas métricas de efluentes no tratados de 1.200 industrias, dejándolo con altas concentraciones de plomo, cadmio y otros metales pesados. La ciudad también descarga al río unas 1.000 toneladas métricas de aguas negras por día, de las cuales sólo 12% se someten a algún tratamiento (WHO, 1992).

Además, los contaminantes atmosféricos como el dióxido sulfuroso y los óxidos de nitrógeno, que se combinan en la atmósfera para formar lluvia ácida, han tenido amplios efectos en los ecosistemas de agua dulce y terrestres. La lluvia ácida ha disminuido el pH de los ríos y lagos en muchos países del mundo desarrollado.

Entre los contaminantes más dañinos se encuentran las sustancias químicas sintéticas. En el mundo se usan comúnmente unas 70.000 sustancias químicas diferentes. Se estima que todos los años se introducen al mercado 1.000 compuestos nuevos. Muchos de ellos llegan a los ríos, lagos y acuíferos subterráneos. Solamente en los Estados Unidos, se han detectado más de 700 sustancias químicas en el agua para beber, 129 de las cuales se consideran sumamente tóxicas (Maywald et al., 1988).

Varias sustancias químicas sintéticas, como los hidrocarburos halogenados, las dioxinas y los compuestos organoclorados como el DDT y los Bifenilos Policlorados (PCBs, por sus siglas en inglés), tienen larga vida y son sumamente tóxicos en el ambiente. No se descomponen fácilmente en los procesos naturales y tienden, por tanto, a acumularse en las cadenas tróficas hasta llegar a presentar riesgos para la salud humana.

La Organización Mundial de la Salud define a la contaminación de las aguas dulces de la siguiente manera: “Debe considerarse que un agua está contaminada, cuando su composición o su estado están alterados de tal modo que ya no reúnen las condiciones para el o los usos que se le hubiera destinado en su estado natural”.

También la OMS ha establecido, también, los límites máximos para la presencia de sustancias nocivas en el agua de consumo humano, que han sido utilizados por algunos países latinoamericanos como valores guías para sus respectivas normativas nacionales (Tabla 3).

Tabla 3. Normas de Calidad de Agua Potable utilizados por diferentes países de Latinoamérica, adoptados a partir de los valores guías proporcionados por la OMS.

PARAMETRO	UNID.	OMS	ARG	BOL	BRA	COL	COR	CHI	ECU	ELS
Año		1995	1994	1997	1990	1998	1997	1984	1992	1997
Origen		Valores guía	Código Alimentario	IBNORCA NB512	Portaria 36-GM	RAS-98	Dto. 25991-S	NCH 409/1	IEOS	NSO 130701
Microbiológicos										
Coli fecales o E. Coli	UFC/100ml	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Coliformes totales	UFC/100ml	0	E 3	0	0	1	-	1	1	0
Bact. Heterotróficas	UFC/ml	-	-	-	-	-	-	-	-	100
Químicos de importancia para la salud										
Inorgánicos										
Antimonio	Mg/L	0.005	-	0.05	-	0.05	0.05	-	-	0.005
Arsénico	"	0.01	0.05	0.05	0.05	0.01	0.01	0.05	0.05	0.01
Bario	"	0.7	-	1	1	0.5	-	-	1	0.2
Boro	"	0.3	-	-	-	0.3	-	-	-	0.3
Cadmio	"	0.003	0.005	0.005	0.005	0.003	0.05	0.01	0.005	0.003
Cianuro	"	0.07	0.1	0.02	0.1	0.1	0.05	0.2	0.1	0.05
Cobre	"	2	1	0.05	1	1	2	1	1	1
Cromo	"	0.05	0.05	0.05	0.05	0.01	0.05	0.05	0.05	0.05
Fluoruro	"	1.5	1.7	1.5	Variable	1.2	1.5	1.5	1.7	1.5
Manganeso	"	0.5	0.1	0.3	0.1	0.1	0.5	0.1	0.1	0.05
Mercurio	"	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Molibdeno	"	0.07	-	-	-	0.07	-	-	-	-
Niquel	"	0.02	-	0.05	-	0.02	0.05	-	0.05	0.02
Nitrato	"	50	45	-	10	10	50	10	10	45
Nitrito	"	3	0.1	0.05	-	0.1	-	1	0.1	1
Plomo	"	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.05	0.05	0.01
Selenio	"	0.01	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Orgánicos										
Tetracloruro de carbono	m g/L	2	3	-	3	-	2	-	-	2
Diclorometano	"	20	-	-	-	-	20	-	-	5
1,1 Dicloroetano	"	NDS	0.3	-	-	-	-	-	-	30
1,2 Dicloroetano	"	30	10	-	10	-	30	-	-	50
1,1,1 Tricloroetano	"	2,000	-	-	-	-	2,000	-	-	200
Cloruro de vinilo	"	5	2	-	-	-	5	-	-	2
1,1 Dicloroeteno	"	30	-	-	0.3	-	30	-	-	30
1,2 Dicloroeteno	"	50	-	-	-	-	50	-	-	5
Tricloroeteno	"	70	-	-	30	-	70	-	-	70
Tetracloroeteno	"	40	-	-	10	-	40	-	-	-
Benceno	"	10	10	-	10	-	-	-	-	5
Tolueno	"	700	-	-	-	-	700	-	-	700
Xilenos	"	500	-	-	-	-	500	-	-	500
Etilbenceno	"	300	-	-	-	-	300	-	-	300

Estireno	"	20	-	-	-	-	20	-	-	20
Benzopireno	"	0.7	0.01	-	0.01	-	0.7	-	-	0.2
Monoclorobenceno	"	300	3	-	-	-	300	-	-	100
1,2 Diclorobenceno	"	1,000	500	-	-	-	1,000	-	-	600
1,3 Diclorobenceno	"	NDS	-	-	-	-	-	-	-	-
1,4 Diclorobenceno	"	300	400	-	-	-	300	-	-	75
Triclorobencenos	"	20	-	-	-	-	20	-	-	20
Adipato de di (2etilhexilo)	"	80	-	-	-	-	80	-	-	80
Ftalato de di(2etilhexilo)	"	8	-	-	-	-	8	-	-	6
Acrilamida	"	0.5	-	-	-	-	0.5	-	-	0
Epiclorhidrina	"	0.4	-	-	-	-	0.4	-	-	0.4
Hexaclorobutadieno	"	0.6	-	-	-	-	0.5	-	-	0.6
EDTA	"	200	-	-	-	-	200	-	-	200
Ac. Nitrilotriacético	"	200	-	-	-	-	200	-	-	200
Oxido de tributilestaño	"	2	-	-	-	-	2	-	-	2
Plaguicidas										
Alacloro	m g/L	20	-	-	-	-	20	-	-	-
Aldicarb	"	10	-	-	-	-	10	-	-	-
Aldrina/Dieldrina	"	0.03	0.03	-	0.03	-	0.03	0.03	0.03	-
Atrazina	"	2	-	-	-	-	2	-	-	-
Bentazona	"	30	-	-	-	-	30	-	-	-
Carbofurano	"	5	-	-	-	-	5	-	-	-
Clordano	"	0.2	0.3	-	0.3	-	0.2	0.3	0.03	3
DDT	"	2	1	-	1	-	2	1	1	-
2,4 D	"	30	100	-	100	-	30	100	100	-
1,2 Dicloropropano	"	20	-	-	-	-	20	-	-	-
1,3 Dicloropropeno	"	20	-	-	-	-	20	-	-	-
Heptacloro y HCl-epóxido	"	0.03	0.1	-	0.1	-	0.03	0.1	0.1	-
Hexaclorobenceno	"	1	0.01	-	0.01	-	-	0.01	-	-
Lindano	"	2	3	-	3	-	2	3	3	-
Metoxicloro	"	20	30	-	30	-	20	30	30	-
Metolacloro	"	10	-	-	-	-	10	-	-	-
Molinato	"	6	-	-	-	-	6	-	-	-
Pendimetalina	"	20	-	-	-	-	20	-	-	-
Pentaclorofenol	"	9	10	-	10	-	9	-	-	-
Permetrina	"	20	-	-	-	-	20	-	-	-
Fenoprop	"	9	-	-	-	-	-	10	-	-
2,4,5 T	"	9	-	-	-	-	9	-	2	-
Desinfectantes y productos secundarios										
Monocloramina	m g/L	3	-	-	-	-	4,000	-	-	-
Cloro aplicado	"	5	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloro residual	"	-	0.2	-	0.2	-	1	0.2	0.8	-
Plata	"	-	0.05	-	0.05	0.01	-	-	0.05	0.1
Bromato	"	25	-	-	-	-	25	-	-	-
Clorito	"	200	-	-	-	-	200	-	-	-
2,4,6 Triclorofenol	"	200	10	-	10	-	200	-	-	-
Formaldehido	"	900	-	-	-	-	900	-	-	-
Trihalometanos	"	Nota	100	-	100	100	-	-	30	-
Bromoformo	"	100	-	-	-	-	100	-	-	-
Dibromoclorometano	"	100	-	-	-	-	100	-	-	-
Cloroformo	"	200	-	-	-	30	200	-	-	-
Radiactivos										
Radiactividad Alfa global	Bq/L	0.1	-	0.1	-	-	-	15 pCi	0.1	15
Radiactividad Beta global	"	1	-	1	-	-	-	50 pCi	1	4
Sustancias que pueden producir quejas en los usuarios										
Color	UCV	15	-	15	5	15	15	20	15	15
Olor	Varias	Sin	Sin	-	No obj.	Acept.	12"	Inodora	No obj.	3
Sabor	Varias	-	Sin	-	No obj.	Acept.	12"	Inspida	No obj.	1
Turbiedad	UNT	5	3	5	1	5	5	5	10	5
Temperatura	° C	-	-	-	-	-	30	-	D	30
Conductividad	m S/cm	-	-	-	-	1,000	400	-	-	1,600
Aluminio	Mg/L	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-	0.3	0.01
Amoniac	"	1.5	0.2	0.05	-	-	0.5	-	-	0.5
Cloruro	"	250	350	250	250	250	250	250	250	250
Dureza	"	-	400	500	500	160	400	-	500	400
Calcio	"	-	-	200	-	60	100	-	-	75
Magnesio	"	-	-	150	-	36	50	125	-	50
Hierro	"	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.3
Ph	Unidad	-	8.5	8.5	8.5	-	8.5	8.5	8.5	8.5
Sodio	Mg/L	200	-	200	-	-	200	-	115	150
Sulfato	"	250	400	300	400	250	250	250	400	250
Alcalinidad total	"	-	-	370	-	100	-	-	-	250
Detergentes	"	-	0.5	-	0.2	-	-	-	0.5	-
Sulfuro de hidrógeno	"	0.05	-	-	0.25	-	0.05	-	0.05	0.05
Sólidos disueltos totales	"	1,000	1,500	1,000	1,000	-	1,000	-	1,000	600
Zinc	"	3	5	5	5	5	3	5	5	5
Tolueno	m g/L	170	-	-	-	-	-	-	-	-
Xileno	"	1,800	-	-	-	-	-	-	-	-
Etilbenceno	"	200	-	-	-	-	-	-	-	-
Monoclorobenceno	"	120	-	-	-	-	-	-	-	-
Triclorobencenos (total)	"	50	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/e/normas.html>

La mayor parte de las veces, la contaminación de las aguas deriva,, de vertidos no controlados de diverso origen. Las principales fuentes son:

- i. Aguas residuales urbanas: que son aquellas que contienen los residuos colectivos de la vida diaria.
- ii. Aguas de origen industrial: constituyen la principal fuente de contaminación de las aguas.

La mayoría de las industrias utilizan el agua en cantidades variables en diferentes procesos de fabricación. Las principales industrias contaminantes son las siderúrgicas, curtiembres, frigoríficos, petroquímicas y celulósicas. Aportan, predominantemente, metales pesados como Cadmio, Cromo, Plomo, Cobre, Hierro, Mercurio, Aluminio, Arsénico, Selenio, etc.

La contaminación supone una alteración importante de las características naturales de las aguas por la introducción de sustancias y la alteración de los ciclos biogeoquímicos, producto de actividades humanas como la agricultura intensiva y regadío, urbanización, acumulación de residuos (basurales), vertidos incontrolados, perforaciones y pozos mal diseñados, actividades mineras e industriales poco cuidadosas, etc. A esta problemática se le puede sumar que la determinación de contaminación es muchas veces tardía que los procesos de defensa y/o restauración son difíciles de concretar y que es complicado determinar las causas de contaminación.

La contaminación de las aguas subterráneas, es uno de los problemas más serios que están afrontando los países industrializados y los de economías emergentes, por lo que vienen realizando grandes esfuerzos para regularizar esta situación y mitigar esta problemática con el objetivo de garantizar un uso sustentable de los recursos subterráneos. En los países no industrializados, como la mayoría de los estados pertenecientes al área de Latinoamérica, este problema aún es más crítico, ya que de no adoptar medidas a tiempo pueden ver coartados sus esfuerzos de desarrollo, reducir la distancia entre la renta y el bienestar, cometer mayores errores que los países que les han precedido, y sin medios ni tiempo para reducirlos.

Desde hace muchos años, los países desarrollados han instado a reducir severamente los contenidos de elementos tóxico-nocivos en las aguas destinadas al consumo humano en todo el mundo.

La contaminación acuática de origen agrícola proviene principalmente de ciertos productos utilizados en agricultura (como herbicidas, fungicidas y fertilizantes nitrogenados) y de residuos de origen animal. Entre las sustancias contaminantes aportadas se encuentran los plaguicidas clorados y fosforados, solventes clorados, dioxinas, nitritos y nitratos, fosfatos (principal responsable del proceso de eutroficación de muchos lagos y ríos) etc.

2.2.3. LA CONTAMINACIÓN PUNTUAL Y DIFUSA

En términos generales, las fuentes de contaminación pueden ser de origen puntual y difusa ("non-point source"). La primera ocurre cuando la descarga contaminante impacta los cuerpos de agua en puntos específicos. La de tipo difuso, como el nombre lo indica, no tiene un sólo punto de origen e impacto; el agua de retorno agrícola (regadío), la nieve derretida y las inundaciones que arrastran contaminantes a lagos, arroyos y océanos, son algunos ejemplos de ella. No sobra insistir en que la contaminación difusa es más difícil de identificar, medir, monitorear y prevenir que las descargas puntuales, por lo que representa una de las mayores preocupaciones ambientales a nivel global.

La contaminación puntual más común es la provocada por la industria, la que se caracteriza por la variedad de sustancias químicas, orgánicas e inorgánicas, que este sector produce y son susceptibles de convertirse en contaminantes, así como por la particularidad de poder ser considerada como una fuente de contaminación local o puntual.

Las principales fuentes de contaminación industrial son:

- i. Los residuos derivados de los procesos de producción que son enviados a la atmósfera, al terreno, a las aguas superficiales o subterráneas. Por otra parte, pueden exigir fugas que si no son detectadas no pueden ser corregidas; así como situaciones imprevistas, ocasionadas por los accidentes.
- ii. Los compuestos inorgánicos provenientes de la actividad industrial comprenden metales, sales y ácidos-bases. Los metales suelen encontrarse en bajas concentraciones cerca de fuentes localizadas de contaminación, pero aún en pequeñas cantidades, presentan una elevada toxicidad para el organismo humano.
- iii. Las sales son consecuencia de un gran número de actividades, asociadas en muchos casos con la agricultura y con los núcleos urbanos. Las sales como los cianuros y compuestos de arsénico; contaminan debido a su alta toxicidad, aún en pequeñas cantidades.
- iv. La introducción de ácidos y bases, es decir líquidos con valores extremos de pH, en los sistemas acuíferos también provocan contaminación pues pueden ocasionar un incremento en la salinidad del agua.
- v. Los compuestos orgánicos provienen principalmente de la industria alimenticia y del papel: estos residuos cuando se vierten al terreno son degradados. El primer efecto que resulta es un incremento en las sales que llegan al acuífero.

2.2.4 TIPOS DE CONTAMINANTES

El efecto de las descargas contaminantes sobre los recursos hídricos depende, entre otros factores, de su composición química, de las características físicas y biológicas, además de las características propias del medio acuático receptor.

Los contaminantes en fase líquida incluyen un amplísimo rango de compuestos disueltos y suspendidos, orgánicos e inorgánicos. A continuación, se resumen los efectos de los principales residuos que se vierten comúnmente en las aguas superficiales continentales.

Material orgánico biodegradable disuelto

Los compuestos orgánicos solubles biodegradables, permiten mantener la actividad de microorganismos unicelulares heterótrofos (bacterias, hongos), que requieren de fuentes de carbono orgánico y que se alimentan por transporte a través de la membrana celular. Estos organismos acuáticos reciben, además, los compuestos derivados de la actividad biológica terrestre en las zonas aledañas a los cuerpos de agua, que son transportados por la escorrentía superficial o subterránea. Aquí se incluyen los compuestos generados a partir de la descomposición de especies muertas y del material que se descarga desde las riberas (frutos, ramas, excrementos, etc).

Cuando un nutriente entra al agua, los organismos aerobios consumen oxígeno disuelto como resultado de la actividad metabólica inducida. Así, el nutriente ejerce una demanda sobre la disponibilidad del oxígeno disuelto, denominada Demanda Biológica de Oxígeno. Si la cantidad de materia orgánica en el medio es muy alta, ello puede conducir a una disminución en la concentración de oxígeno disuelto. A niveles bajos de oxígeno disuelto, (2-4 mg/l), los peces tienden a desaparecer y el ambiente acuático favorece a las especies anaeróbicas.

El metabolismo anaeróbico es mucho más lento que el proceso aeróbico (típicamente, por más de un orden de magnitud) y de menor eficiencia, generando varios compuestos orgánicos intermedios (ácidos orgánicos, alcoholes, metano). Como resultado de la menor velocidad de consumo del material orgánico disuelto, éste se acumulará en el medio acuático, a menos que su ingreso al sistema acuático disminuya drásticamente.

Si los nutrientes disueltos entran al agua a una tasa tal que el oxígeno disuelto se consume más rápidamente de lo que se puede reponer, el agua se desoxigena. Ningún aerobio obligado, desde los microbios hasta los peces, podrá sobrevivir en dichas aguas. Así, los contaminantes orgánicos se acumularán produciendo anaerobiosis, lo que genera sustancias malolientes (ej.: sulfuros y aminas volátiles) y compuestos orgánicos parcialmente oxidados.

Aparte del mal olor, la anaerobiosis puede presentar problemas para la salud humana, ya que muchas bacterias anaerobias son patógenas (por ejemplo, tétano, botulismo). Cuando el agua contiene sulfatos disueltos, las bacterias anaerobias reductoras producen H_2S (corrosivo y venenoso). La conversión de mercurio inorgánico a organomercurio tiene lugar bajo condiciones anaerobias. La anaerobiosis genera compuestos orgánicos (ácidos orgánicos) que pueden ser inhibidores o tóxicos para los organismos heterotróficos. Generalmente, las aguas anóxicas pueden ser recuperadas si la entrada de contaminantes se detiene, permitiendo consumir anaeróbicamente los nutrientes remanentes y que el oxígeno transferido naturalmente restablezca los procesos aeróbicos.

Compuestos tóxicos

La población microbiana puede verse afectada debido a la presencia de contaminantes químicos tóxicos, por inhibición o muerte por envenenamiento. Diferentes organismos presentan distinta susceptibilidad a la presencia de tóxicos. Por ejemplo, el fenol es tóxico para casi todas las especies (razón por la cual se usa como desinfectante); sin embargo, ciertas bacterias (*Pseudomonas*) pueden usarlo como nutriente y descomponerlo, aún cuando su actividad es inhibida a altas concentraciones de fenol. Muchos componentes tóxicos pueden ser degradados por actividad química o bioquímica natural y, por lo tanto, su acción puede ser de relativa corta duración en el ecosistema.

Existen otros tóxicos, tales como los metales pesados o ciertos compuestos orgánicos, cuya toxicidad persiste debido a que no son afectados por desactivación natural. Estos últimos, son los más difíciles de controlar, ya que por ser no degradables, se acumulan en el medio receptor y, a pesar de ser desechados a muy baja concentración, persisten y afectan la vida del sistema. En muchos casos se produce un aumento de la concentración de dichos contaminantes, cuando entran a formar parte de la cadena alimenticia de las diferentes especies del ecosistema. Por ejemplo, la concentración de DDT en los tejidos de los organismos superiores, puede llegar a ser 50.000

veces más alta que la concentración en el medio receptor. En el caso de las dioxinas, dicho factor puede llegar a ser del orden de 5.000.

Por otra parte, los procesos naturales que ocurren en el medio receptor incrementan la toxicidad de algunos contaminantes primarios. Por ejemplo, el mercurio inorgánico es tóxico, pero los compuestos de organomercurio generados a partir de mercurio inorgánico en las aguas, son 10 veces más venenosos.

Muchos de los compuestos tóxicos, no biodegradables, que se encuentran a muy bajas concentraciones, pueden ser ingeridos por los organismos vivientes de los diferentes niveles tróficos, depositándose en sus tejidos y entrando en la cadena alimenticia. Esto resulta en un aumento de la concentración del material contaminante a medida que es transferido a las especies superiores, lo que puede tener consecuencias para la salud humana.

Nitrógeno y Fósforo

Las algas y plantas acuáticas utilizan la energía de la luz para sintetizar material orgánico complejo, a partir de CO_2 , agua y otros materiales como nitrógeno (N) y fósforo (P). A su vez, el oxígeno generado por fotosíntesis es utilizado por los organismos heterótrofos y por algunos autótrofos oxidantes. Cuando este balance ecológico se altera debido a un aumento drástico de los nutrientes limitante, los resultados pueden ser desagradables o desastrosos. El aumento de la cantidad de nutrientes necesarios para la vida en un cuerpo de agua, se denomina eutrofización. La eutrofización puede generar serios problemas en los cuerpos de agua superficiales:

- La fotosíntesis implica la creación de materia orgánica a partir de materiales inorgánicos y, por lo tanto, la producción en grandes cantidades de sustancias orgánicas donde antes sólo existían unas pocas. Cuando las algas/plantas mueren, sus componentes se transforman en nutrientes orgánicos que ejercen una demanda de oxígeno
- Durante la acción fotosintética, el CO_2 es rápidamente consumido, generando un aumento del pH que puede llegar sobre 10. Durante la noche, la reacción inversa ocurre, consumiendo oxígeno y generando CO_2 , con lo cual el pH tiende a bajar. La actividad fotosintética tiene un significativo efecto sobre el nivel de pH del cuerpo de agua, ya que afecta la reacción reversible.



- En ausencia de luz, muchos tipos de algas usan el oxígeno para obtener energía en la descomposición oxidativa de compuestos orgánicos previamente sintetizados. En efecto, almacenan la energía luminosa en forma de energía química para usarla en ausencia de luz (como una batería de automóvil). Así, mientras más fuerte sea el crecimiento de algas durante el día (lo que puede producir sobresaturación de oxígeno), mayor será la desoxigenación durante la noche. Cuando se produce una cubierta de algas flotantes muy gruesa, la transmisión de la luz se ve afectada, de manera que aún en el día, las algas en los niveles inferiores utilizan el oxígeno.

Finalmente, las masas de algas depositadas en las riberas mueren y se pudren, produciendo condiciones anaeróbicas, lo que presenta un peligro para la salud (ej.: formación de *Clostridium botulinum*, que es un anaerobio obligado patógeno). Por otra parte, las ramificaciones de las plantas acuáticas atrapan sólidos orgánicos que se descomponen, ejerciendo una demanda de oxígeno concentrada.

Generalmente el N y P son los factores limitantes. En el crecimiento microbiano, se consume P en forma de fosfato, mientras la mayoría de las bacterias asimilan N en la forma de NH_3 y sólo unas pocas lo hacen como NO_3^- . En cambio, las algas, asimilan el N como NO_3^- y muy pocas como NH_3 . Hay más bacterias que pueden usar NO_3^- como fuente de oxígeno que como fuente de N. De acuerdo a la estequiometría aproximada de la fotosíntesis en las algas, la proporción N : P es del orden de 7. Según la Ley del Mínimo de Liebig, un cuerpo de agua con una relación N : P mucho mayor que 7 indica que el P es el nutriente limitante. Por otra parte, un valor de N : P mucho menor que 7 implica una limitación por N. Algunos autores sugieren que concentraciones de P y N superiores a 0,015 y 0,3 mg/l, respectivamente, son suficientes para generar un crecimiento excesivo de algas en aguas lacustres.

Las principales fuentes de N orgánico son las proteínas, los aminoácidos y la urea; por su parte, el N inorgánico está en la forma de NH_3 , NO_3^- , NO_2^- . El amoníaco es un producto característico de la descomposición de la materia orgánica y se puede oxidar microbiológicamente a nitritos y nitratos, mediante la acción de las bacterias nitrificantes. Estos procesos ocurren naturalmente en las aguas y constituyen una importante contribución a la demanda biológica de oxígeno.

Otros agentes contaminantes

La temperatura y el pH afectan directamente la vida de los organismos superiores, la que sólo es posible dentro de rangos limitados de temperatura y de pH.

- Temperatura: Los efluentes calientes pueden alterar negativamente el ecosistema, ya que la elevación de la temperatura reduce la solubilidad del oxígeno. Más aún, el metabolismo microbiano aumenta al elevarse la temperatura (hasta cierto límite).
- pH: Es importante evitar descargar aguas con pH muy diferente de 7. Desgraciadamente, la eutrofización de un cuerpo de agua genera variaciones extremas de pH que tienen un efecto negativo sobre muchas especies acuáticas.
- Sólidos suspendidos: Los sólidos en el agua interfieren directamente con la transferencia de oxígeno y con la transmisión de la luz. Además, cuando sedimentan, afectan la vida en el fondo del cuerpo de agua. Si son orgánicos biodegradables, imponen una fuerte demanda de oxígeno que genera rápidamente un medio anóxico.

COMPETENCIAS PARA EL PROFESOR

COMPETENCIA GENERAL

Reconocer el impacto que provocan los distintos usos del agua sobre los recursos hídricos y sus consecuencias en el medio ambiente.

SUBCOMPETENCIAS

- a) **Identificar** los tipos de uso del agua en su entorno para su posterior utilización (aprender a conocer).
- b) **Reconocer** el impacto provocado por los diferentes usos sobre la calidad del agua.
- c) **Reconocer** los distintos contaminantes del agua y sus efectos sobre el ambiente.
- d) **Valorizar** el agua como un recurso disponible que puede verse afectado en su calidad para determinados usos.

TERCERA PARTE
LOS RECURSOS HÍDRICOS
Y LA REPERCUSIÓN EN LA SALUD

3. LOS RECURSOS HÍDRICOS Y SU REPERCUSIÓN EN LA SALUD

En todo el mundo, unos 2.300 millones de personas padecen enfermedades vinculadas con el agua (Kristof, 1997). Un 60% de la mortalidad de niños menores de un año está relacionada con enfermedades infecciosas y parasitarias, en su mayor parte vinculadas con el agua (Tabla 4). En algunos países las enfermedades relacionadas con el agua constituyen una alta proporción de la totalidad de enfermedades entre los adultos y los niños. En Bangladesh, por ejemplo, se estima que las tres cuartas partes de todas las enfermedades están relacionadas con el agua impura y servicios de saneamiento inadecuados. En Pakistán, la cuarta parte de las personas que concurren a los hospitales tienen enfermedades relacionadas con el agua (Ali, 1992).

La provisión de agua pura y de saneamiento adecuado salvaría millones de vidas, al reducir el número de enfermedades relacionadas con el agua. De allí que los países en desarrollo y las organizaciones de asistencia deberán dar alto grado de prioridad a la búsqueda de soluciones para estos problemas.

En general, los efectos adversos para la salud relacionados con el agua pueden organizarse en tres categorías: (1) enfermedades transmitidas por el agua, incluidas las causadas por organismos fecales y por sustancias tóxicas; (2) las enfermedades de origen vectorial transmitidas por el agua y (3) las enfermedades vinculadas a la escasez de agua (también denominadas enfermedades vinculadas a la falta de higiene), que comprende a las enfermedades que se desarrollan donde el agua limpia es escasa.

Tabla 4. Estimaciones de Morbilidad y Mortalidad Global por Enfermedades Relacionadas con el Agua (principios de los 1990s)

Enfermedad	Morbilidad (episodios/año de personas infectadas)	Mortalidad (muertes/año)
Enfermedades diarreicas	1.000.000.000	3.300.000
Helmintos Intestinales	1.500.000.000 (personas infectadas)	100.000
Esquistosomiasis	200.000.000 (personas infectadas)	200.000
Dracunculiasis	150.000 (en 1996)	-
Trachoma	150.000.000 (caso activos)	-
Malaria	400.000.000	1.500.000
Fiebre de Dengue	1.750.000	20.000
Poliomielitis	114.000	-
Tripanosomiasis	275.000	130.000
Filariasis Bancroftiana	72.800.000 (personas infectadas)	-
Oncocerciasis	17.700.000 (personas infectadas; 270.000 ciegas)	40.000 (mortalidad causada por ceguera)

Fuente: “The World’s Water.” World Health Organization, 1995

3.1. ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA

Las enfermedades transmitidas por el agua son enfermedades producidas por el “agua sucia”, que se ha contaminado con desechos humanos, animales o químicos. Mundialmente, la falta de servicios de evacuación sanitaria de desechos y de agua limpia para beber, cocinar y lavar, es la causa de más de 12 millones de defunciones por año.

Son enfermedades transmitidas por el agua el cólera, fiebre tifoidea, shigellosis, poliomielitis, meningitis y hepatitis A y E. Las enfermedades diarreicas transmitidas por el agua, prevalecen en numerosos países en los que el tratamiento de las aguas servidas es inadecuado. Según las estimaciones, todos los años se registran 4.000 millones de casos de enfermedades diarreicas, que causan 3 a 4 millones de defunciones, sobre todo entre los niños.

El uso de aguas servidas como fertilizante puede provocar epidemias o enfermedades como el cólera (principio de 1990 en Latinoamérica).

Las sustancias tóxicas que van a terminar al agua dulce son otra causa de enfermedades transmitidas por el agua. Los productos químicos, aún en bajas concentraciones, con el tiempo pueden acumularse y, finalmente, causar enfermedades crónicas (cáncer entre otras).

Las concentraciones excesivas de nitratos causan trastornos sanguíneos. Además, los altos niveles de nitratos y fosfatos en el agua estimulan el crecimiento de algas verde-azules, que llevan a la desoxigenación (eutrofización).

La presencia de plaguicidas (i.e., DDT, heptaclor) en el agua y en productos alimenticios tienen repercusiones alarmantes en la salud humana, pues se los reconoce como elementos causantes de cáncer y también pueden provocar una disminución del número de espermatozoides y enfermedades neurológicas.

Al momento, el mejoramiento del saneamiento público y la provisión de agua limpia son los dos pasos necesarios para prevenir la mayoría de las enfermedades transmitidas por el agua y las muertes resultantes. Si bien es muy costoso construir sistemas de potabilización de agua dulce e instalaciones de saneamiento, es alarmante el costo que implica no hacerlo.

3.2. ENFERMEDADES DE ORIGEN VECTORIAL RELACIONADAS CON EL AGUA

En las enfermedades con base en el agua los causantes son organismos acuáticos que pasan parte de su ciclo vital en el agua y otra parte como parásitos de animales. Estos organismos pueden prosperar tanto en aguas contaminadas como no contaminadas. Como parásitos, generalmente toman forma de gusanos y se valen de vectores animales intermediarios (i.e., caracoles) para prosperar, y luego infectan directamente al hombre, penetrando a través de la piel o al ser tragados por éste.

Entre éstas se cuenta la dracunculosis, causada por el gusano de Guinea, paragonimiasis, clonorchiasis y esquistosomiasis. Los causantes de estas enfermedades son una variedad de gusanos tremátodos, tenias, vermes cilíndricos y nemátodos vermiformes, denominados colectivamente helmintos. Aunque estas enfermedades generalmente no son mortales, pueden ser extremadamente dolorosas e impiden trabajar a quienes las padecen, e incluso a veces impiden el movimiento.

El lavado prolijo de las verduras en agua limpia, una buena cocción de los alimentos y el abstenerse de entrar a los ríos infectados, constituyen elementos básicos y simples para prevenir estas enfermedades.

Millones de personas sufren de infecciones transmitidas por vectores (insectos u otros animales) capaces de transmitir una infección, como los mosquitos y las moscas tse-tsé, que se crían y viven cerca de aguas contaminadas y no contaminadas. Éstos infectan al hombre con paludismo, fiebre amarilla, dengue, enfermedad del sueño y filariasis. El paludismo es la enfermedad más extendida, es endémico en unos 100 países en desarrollo, y unos 2.000 millones de personas están en riesgo de contraerla. Se estima que en el África subsahariana, el costo del paludismo en concepto de tratamiento y pérdida de productividad es de US\$1.700 millones anuales (Olshansky et al., 1997).

Una de las soluciones para las enfermedades de origen vectorial relacionadas con el agua parecería ser clara: eliminar los insectos que transmiten las enfermedades. Pero, lamentablemente, los pesticidas mismos pueden ser dañinos para la salud si pasan al agua para beber o para el riego. Además, muchos insectos desarrollan resistencia a los plaguicidas, y las enfermedades pueden surgir otra vez bajo nuevas formas aún más virulentas.

3.3. ENFERMEDADES VINCULADAS A LA ESCASEZ DE AGUA

Se considera que muchas otras enfermedades -inclusive el tracoma, lepra, tuberculosis, tos ferina, tétanos y difteria- están vinculadas a la escasez de agua (también conocidas como enfermedades vinculadas a la falta de higiene), porque prosperan en condiciones de escasez de agua y saneamiento deficiente (Figura 15). Las infecciones se transmiten cuando se dispone de muy poca agua para lavarse las manos. Estas enfermedades, en aumento en la mayor parte del mundo, pueden controlarse eficazmente con mejor higiene, para lo cual es imprescindible tener agua adecuada.

Figura 15: Las construcciones no poseen sistemas sanitarios adecuados (agua potable, ventilación, evacuación de aguas residuales) y dicha carencia se relaciona directamente con el deterioro de la salud.



3.4. SALUD Y COOPERACIÓN ENTRE LOS SECTORES

Para superar la variedad de riesgos sanitarios relacionados con el agua se requiere una perspectiva que articule el ordenamiento de los recursos hídricos con la salud pública en los proyectos de desarrollo. En los proyectos de atención primaria de salud deberá tenerse en cuenta el papel clave que los suministros adecuados de agua potable desempeñan en la prevención de enfermedades y en la promoción de una buena salud. Los proyectos de desarrollo deberán prestar más atención a la gestión de los recursos hídricos. Al llevar a cabo esta gestión se podría cooperar más con los organismos de atención de salud y de desarrollo.

3.5. AGUA Y EQUIDAD SOCIAL

Estudios recientes demuestran que los niveles de uso de agua por persona en las ciudades de África Oriental, disminuyeron a la mitad entre los años 1970 y 2000. En el mismo período, el tiempo promedio invertido para buscar agua aumentó de 9 minutos a 21 minutos por cada viaje. De acuerdo con esto, las mujeres y niñas pasan 40.000 millones horas-persona por año acarreado agua (UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND). Este tiempo se le resta a la educación, a las tareas de atender a los niños, a cocinar, buscar leña, trabajo asalariado y otras actividades que forman parte de las estrategias de supervivencia de los pobres.

Recientemente, la OPS realizó una evaluación conjunta con UNICEF sobre la situación al final de la década de 1990, que reveló que de los 459 millones de habitantes que América Latina tenía en 1998, 70 millones carecían de agua potable, 95 millones no tenían saneamiento y 194 millones están conectados a sistemas de alcantarillado, cuyos afluentes no reciben tratamiento. Según cifras conservadoras, América Latina necesita unos 217 millones de dólares para superar el déficit acumulado en la infraestructura sanitaria.

Para superar las limitaciones actuales de cobertura en agua potable y saneamiento, las inversiones se estiman en el rango de 10 mil a 50 mil millones de dólares, dependiendo del nivel de servicio y de las tecnologías seleccionadas. Estos valores pueden ser aún mayores si las aguas se tratan con tecnologías convencionales (OPS, 2001).

COMPETENCIAS PARA EL PROFESOR

COMPETENCIA GENERAL

Reconocer que los cuerpos acuáticos pueden servir como vectores de enfermedades y deterioro de la calidad de vida.

SUBCOMPETENCIAS

- a) **Identificar** los distintos tipos de enfermedades que pueden ser transmitidas a través del agua.
- b) **Prevenir y controlar** riesgos para la salud asociados con el agua.

CUARTA PARTE
CAMBIOS EN LOS ENFOQUES DE LA
GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

4. EL CAMBIO DE ENFOQUE EN LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Se debe dejar de vivir como si existiesen suministros infinitos de agua y empezar a reconocer que se debe lidiar con serias restricciones, advierten muchos científicos. Es decir se debe regular mejor la demanda de agua en lugar de continuar concentrándose en una gestión orientada hacia el suministro (Falkenmark, et al., 1989).

Los estudios ambientales, señalan que en el futuro el uso de agua deberá ser reducido por lo menos en un 10% para proteger ríos, lagos y humedales, de los cuales dependen millones de personas para su subsistencia y para satisfacer las crecientes demandas urbanas e industriales. De este modo, los países de todo el mundo se enfrentan al conflicto emergente derivado de la gestión de los recursos hídricos.

Este conflicto acerca del agua involucra complejidades e incertezas que requieren de la integración de las perspectivas técnicas, económicas, culturales, políticas e interactivas. Esta perspectiva interactiva, central para desarrollar un diálogo sobre el agua a nivel país es, de muchas maneras, una nueva perspectiva. Esta visión busca las maneras de incluir en un solo diálogo al gobierno, los privados y los actores de la sociedad civil en un proceso de aprendizaje y negociación que pueda trascender las limitaciones de un esquema de decisiones y orientaciones burocráticas centralizadas o de gobierno, por una parte, y las decisiones propias de intereses privados o del libre mercado, por otra.

A nivel mundial, parece existir conciencia de que hay serias divergencias entre las visiones y posiciones respecto del uso del agua para la naturaleza y el agua para la producción industrial y de alimentos derivados y que, en general, la organización y las decisiones se hacen sobre bases sectoriales y no se privilegia la visión “integradora u holista”. Igualmente, parece existir acuerdo en que a pesar que el manejo integrado de los recursos hídricos, e incluso a nivel de cuenca hidrográfica, es ampliamente compartido como concepto o teoría. Sin embargo, en la práctica siguen prevaleciendo las aproximaciones sectoriales y que las acciones tomadas acerca de la interfase producción -medio ambiente, pueden no estar siendo las más adecuadas.

Aún cuando la situación en cada país puede ser diferente, en muchos aspectos de la situación promedio mundial en cuanto a, por ejemplo, la disponibilidad alimentaria por habitante, los niveles de cobertura de agua potable y alcantarillado, los incrementos en la productividad agrícola, etc., los informes de organizaciones internacionales indican un panorama de carencias crecientes en la disponibilidad de agua para los diferentes usos, tendencia que, según todas las fuentes, se agudizará y será materia de conflictos en el futuro próximo.

Lo anterior indica que es necesario enfrentar el dilema de pensar en un esquema de desarrollo sustentable que se haga cargo, por una parte, de un crecimiento económico sostenido y con equidad (y de los pasivos ambientales existentes) y, por otra, de cautelar la mantención de los ecosistemas y de las funciones de la naturaleza en ámbitos que no son siempre valorables económicamente, por lo que responden mas bien a “acuerdos sociales”. Estos podrán expresarse y definirse como parámetros cuantitativos (por ejemplo las normas de calidad ambiental o el “caudal ecológico”) y/o como decisiones respecto del tipo de gestión y administración de los recursos naturales que cada país desea para sí mismo.

En términos de dotación de recursos hídricos, la primera característica a destacar es la gran variabilidad geoclimática en que estos recursos están presentes en el territorio de un país, lo cual deriva de varios factores, como el desarrollo latitudinal del territorio y a condicionantes estructurales como las corrientes oceánicas, los movimientos anticiclónicos y la orografía de cada país. Lo anterior hace que la disponibilidad de agua por habitante en cada país, sea muy distinta según la localidad donde se encuentre, configurando un cuadro de gran desigualdad territorial respecto de la oferta de recursos hídricos, lo que plantea un desafío adicional en cuanto a la generación de mecanismos de gestión diseñados con la suficiente flexibilidad para ser capaces de adaptarse a esta realidad.

A medida que la conciencia ambiental de la sociedad se desarrolla, se reconoce la necesidad y validez de que el aprovechamiento de las aguas se realice de forma tal que se asegure la mantención de caudales que permitan sustentar las demandas ambientales existentes sobre el recurso. Dicha demanda ambiental hídrica considera el mantenimiento de caudales y de niveles de acuíferos y lagos para la protección de los ecosistemas y de los valores paisajísticos y turísticos asociados. La existencia de una demanda ambiental, que limita la disponibilidad de recursos hídricos para atender las nuevas demandas de los sectores productivos, es una realidad indiscutible. Con esta afirmación, se está dando una señal explícita de considerar el factor ambiental como un bien social que debe ser protegido y considerado al momento de efectuar la planificación en el uso de los recursos hídricos.

Al introducir el elemento “ambiente” como parte del esquema de gestión de los recursos hídricos, debe primeramente definirse cuál es exactamente el “bien”, privado y social, que se quiere proteger y para ello deben precisarse sus funciones. La función del recurso hídrico para cada uno de los demandantes tradicionales (Minería, Industria, Agua Potable y Riego) está muy clara, además tiene, en cada caso, un mercado definido y un precio determinado por ese mercado (independientemente que sean discutibles los grados de transparencia y la movilidad de los factores que lo regulan). En el caso de la función ambiental del recurso hídrico, no existe un mercado y, por lo tanto, tampoco un precio. Ello implica la necesidad de establecer las regulaciones adecuadas para que en la gestión de los recursos hídricos sean interpretados cada uno de los actores, incluyendo el ambiental, que estará representado por una institucionalidad pública capaz de recoger, mediante un proceso técnico y participativo, la posición de la sociedad respecto de la valoración del “bien Medio Ambiente”, tanto en su valor de existencia como de recurso.

4.1. AGRICULTURA, UNA ACTIVIDAD CLAVE

Considerando que la agricultura utiliza casi el 70% del agua extraída en todo el mundo de ríos, lagos y acuíferos subterráneos, el incremento de la eficiencia de la agricultura de regadío es lo que mayores posibilidades ofrece para la conservación del agua. El riego por goteo es una de las técnicas que reduce el consumo de agua de un 40% a 60%, en comparación con los sistemas de riego por gravedad.

También varios países canalizan las aguas servidas urbanas tratadas de los pueblos y ciudades hacia las fincas cercanas donde se cultivan hortalizas y frutales. Actualmente, por lo menos, medio millón de hectáreas de 15 países se riegan con aguas servidas urbanas tratadas, generalmente denominadas “aguas pardas”. Israel tiene el programa de aguas pardas más ambicioso de todos

los países. Casi todas las aguas servidas de Israel se depuran y vuelven a utilizarse para regar 20.000 hectáreas de tierras de labranza (Postel, 1997). Otras técnicas de tratamiento natural del agua, como la que hace uso de la capacidad asimilativa de los humedales, pueden ser una posibilidad en lugar de los sistemas modernos de tratamiento del agua, que son demasiado costosos para las zonas urbanas pobres de los países en desarrollo.

4.2. AHORRO DE AGUA EN LA INDUSTRIA

La industria también hace uso intensivo del agua (Tabla 5). Así, por ejemplo, para fabricar una tonelada de acero pueden consumirse hasta 300 toneladas de agua. En los países desarrollados, las industrias usan entre la mitad y las tres cuartas partes de toda el agua extraída en comparación con el promedio mundial de aproximadamente la cuarta parte. El ahorro de agua en la industria facilita también el tratamiento de las aguas de procesos tanto en sus aspectos tecnológicos como económicos.

Tabla 5: Demandas de Agua por diversos usos industriales.

Demanda de agua	Uso INDUSTRIAL
250,000 litros	para1 ton de acero
220,000 a 380,000 litros	para1 ton de papel
500 litros	para1 kg de cebada
1,800 litros	para1 kg de azúcar
550 litros	para1 kg de lana
250 litros	para 1 kg de papel
1,400 litros	para1 kg de caucho sintético
400 litros	para1 kg de acero

4.3. EL AHORRO A TRAVÉS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

Gran parte del agua suministrada por las empresas distribuidoras, se pierde antes de llegar a los consumidores por fugas en las cañerías principales, tuberías y grifos, o por extracción de grifos ilegales. El suministro de agua enfrenta problemas en casi todas partes. En una encuesta realizada en 1986, de 15 ciudades latinoamericanas se encontró que los sistemas de distribución perdían entre 40% y 70% del agua (WHO, 1992). En la India más del 40% de toda el agua suministrada por las distribuidoras (municipalidades) se pierde en tránsito, antes de que pueda llegar a los consumidores y en Malta, uno de los países con mayor tensión hídrica, el 30% del agua destinada a los consumidores se pierde por fugas del sistema.

Los siguientes son otros ejemplos de medidas que podrían ayudar a reducir la demanda de agua por la población:

- Mayor uso de aparatos domésticos que ahorran agua.
- Códigos de construcción que requieran la instalación de inodoros que funcionan con menos agua en las nuevas construcciones.
- Jardinería que requiera poca agua -jardinería xerófita- en zonas áridas y semiáridas.

En la mayoría de los casos, la introducción de una estructura de precios que valore correctamente el consumo de agua puede cambiar considerablemente las cosas y permitir la incorporación de medidas eficaces tendientes a la conservación y buena gestión de este preciado recurso.

En los países en desarrollo uno de los mayores problemas es la apremiante necesidad de invertir grandes sumas en instalaciones de saneamiento y provisión de agua limpia. En el caso específico del agua potable, ministros y autoridades de 120 países fueron convocados a la Conferencia del Agua para discutir la forma de superar la crisis mundial de agua potable, de la que carecen más de 1.200 millones de personas en el planeta.

Para resolver esta situación se requieren unos 180.000 millones de dólares anuales, mientras las inversiones actuales en infraestructura para suministro de agua se estiman entre 70.000 y 80.000 millones de dólares, según un documento que deberán aprobar los participantes si llegan a un acuerdo.

La brecha de por lo menos 100.000 millones de dólares, deberá ser cubierta movilizándolo “todas las fuentes de financiación en los países en desarrollo, incluyendo fondos públicos a partir de presupuestos generales, precios del suministro, asistencia externa e inversión privada”, señala el documento.

En la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente, celebrada en Dublín en 1992 se establecieron los principios de la regulación sostenible del agua, y mediante los cuales se espera propender a la conservación de ésta:

- Principio N° 1. El agua dulce es un recurso limitado y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente.
- Principio N° 2. El desarrollo y la gestión de recursos hídricos deberán fundarse en un enfoque participativo en el que intervengan los usuarios, planificadores y autoridades de todos los niveles.
- Principio N° 3. La mujer desempeña un papel central en la provisión, gestión y salvaguardia de los recursos hídricos.
- Principio N° 4. El agua tiene un valor económico en todos sus usos y se la reconocerá como bien económico.

4.4. RESPUESTAS A NIVEL DE PAÍSES

En los países donde falta el agua, los gobiernos deberán dar el más alto grado de prioridad a la gestión de los recursos hídricos. Para un desarrollo sostenible, es esencial confeccionar y aplicar una estrategia nacional de regulación del agua. Esa estrategia debería incluir, al menos, cuatro elementos:

(i.) Perspectiva de la ordenación de las cuencas hidrográficas.

La ordenación de cuencas hidrográficas se refiere a la gestión de una entera zona continental beneficiada por todos los ríos y acuíferos que desaguan en una determinada masa de agua (como una bahía semicerrada).

Todos tenemos nuestro domicilio en una cuenca hidrográfica. Todos vivimos en cuencas que desaguan el agua de lluvia en corrientes de agua y ríos que finalmente llevan de vuelta el agua al mar o a lagos interiores.

La ordenación de las cuencas hidrográficas o fluviales rinden numerosos beneficios. El valor económico del mantenimiento del ecosistema es alto. El valor de una llanura aluvial intacta, por ejemplo, incluidas sus pesquerías, vida silvestre, recreación y efectos del control natural de las inundaciones, se ha calculado en cerca de US\$2.000 por 0,40 hectárea (Abramovitz, 1996).

Idealmente, un plan integral de regulación de una cuenca hidrográfica moviliza a comunidades e individuos y se gana la amplia aceptación del público en el ámbito nacional. Por otra parte, no es nada fácil conseguir regular una cuenca hidrográfica. Se trata de un proceso complejo y contencioso en el que intervienen numerosos interesados con opiniones opuestas acerca del uso del agua. No muchos países han sido capaces de poner en marcha estrategias factibles de ordenación de las cuencas hidrográficas. La bahía de Chesapeake, el mayor estuario de agua salobre de Norteamérica, tiene uno de los pocos planes integrales en funcionamiento del mundo para la ordenación de una cuenca hidrográfica (Hinrichsen, 1998).

Estas condiciones determinan claramente la necesidad del manejo del sistema como un todo, no sólo de los componentes individuales del sistema. Se argumenta que la centralización del manejo del agua, semejante a la centralización de los sistemas económicos y sociales, ha fallado y ahora debe haber un reemplazo por sistemas de responsabilidad local a nivel de cuencas hidrográficas. Hoy día existe consenso en reafirmar esta idea, haciendo notar que no es simple el tema del manejo de las aguas y que es difícil focalizar la atención del público en el recurso agua y desarrollar un enfoque centralizado único para su manejo. En forma persistente, numerosos expertos de organismos internacionales están llamando a poner énfasis en “alcanzar un uso racional y eficiente del agua a nivel local”, incluyendo instituciones de manejo del agua que sean “apropiadas a las condiciones locales y no impuestas centralmente y de forma inflexible”.

(ii.) Desarrollo de la capacidad institucional.

La ordenación de las cuencas hidrológicas y fluviales de manera sostenida, significa que hay que desarrollar la capacidad institucional, creando inclusive una colección de datos y sistemas de vigilancia multisectoriales. Para desarrollar la capacidad institucional se necesitan las siguientes medidas:

- Evaluar las necesidades nacionales de desarrollo de la capacidad.
- Crear estructuras administrativas y jurídicas competentes.
- Impartir capacitación a los funcionarios superiores de la gestión del agua.
- Establecer lazos más estrechos con las universidades e institutos de investigación.

(iii.) Valoración de los recursos de agua dulce.

Debe darse un valor al agua dulce que refleje su condición de recurso escaso, en lugar de tratarla como un recurso gratuito o casi gratuito.

Existen varios buenos ejemplos de cómo puede valorarse el agua de un modo más apropiado que lo habitual. Chile estableció a mediados de los años ochenta un mercado del agua que no sólo ahorró este vital elemento, sino que también permitió que los agricultores comercien los derechos al agua entre los establecimientos agrícolas vecinos y satisfagan así sus necesidades. En un estudio del Banco Mundial sobre el sistema del mercado del agua se concluyó que éste contribuyó grandemente a una mejor gestión y a precios más justos (Serageldin, 1995).

(iv.) Regulación del agua para las necesidades sectoriales.

Sin políticas que vinculen el abastecimiento de agua dulce a los usos sectoriales en competencia, a menudo se crean condiciones locales y regionales de escasez de agua, y la competencia se torna cada vez más encarnizada.

4.5. RESPUESTAS A NIVEL LOCAL O COMUNITARIO

Cuando las comunidades ordenan mejor los recursos hídricos, también ordenan mejor los suelos y los bosques, aumentan la producción agrícola y reducen la incidencia de enfermedades y dolencias.

Aún en zonas urbanas pobres puede suministrarse agua limpia por tubería a un precio que los integrantes de la comunidad puedan pagar y que la dirección de abastecimiento de agua puede aceptar. Estudios recientes en varios países ponen en evidencia que la gente pobre está preparada a pagar por el agua por tubería y saneamiento adecuado si se le da la oportunidad.

4.6. LA REPERCUSIÓN EN LA ZONA COSTERA

En todo el mundo, la población está concentrada a lo largo o cerca de la costa o en valles ribereños, ocupando sólo un 10% de la zona continental de la tierra. En las zonas costeras, las actividades humanas están en vías de aniquilar los ecosistemas costeros y oceánicos y la riqueza de la biodiversidad que éstos albergan.

Más de la mitad de la población mundial (unos 3.200 millones) ocupan una zona costera de 200 kilómetros de ancho. Con excepción de la India, la mayor parte de la población de Asia es costera. En China, por ejemplo, cerca del 60% de la población de 1.200 millones vive en 12 provincias costeras.

La población de América Latina y el Caribe es aún más costera. Entre los países costeros de la región, con una población total de unos 610 millones, tres cuartas partes de los habitantes viven en un radio de 200 kilómetros de la orilla del mar.

El crecimiento de la población, la urbanización y la industrialización con poca consideración por el ambiente, están contaminando y agotando los recursos costeros y oceánicos. Considérense las siguientes tendencias:

- El mundo ha perdido la mitad de las zonas pantanosas costeras, incluídos los manglares y los estuarios. En el siglo pasado los bosques de mangles fueron diezmados. Se estima que se han destruido o degradado aproximadamente 25 millones de hectáreas.
- En prácticamente todas las zonas costeras habitadas, está disminuyendo la superficie de marismas, vitales como viveros de peces y zonas de alimentación.
- Los arrecifes de corales, como el bosque húmedo tropical, están siendo saqueados en nombre del desarrollo. De los 600.000 kilómetros cuadrados de arrecifes que se encuentran en los mares tropicales y subtropicales, el 70% podrían perderse en el término de 40 años.
- Las pesquerías costeras y oceánicas están en seria declinación. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en 1995 casi el 70% de la existencia de peces se hallaba completa o sumamente explotadas, sobreexplotadas, agotadas o en lenta recuperación.

- Al encontrarse las aguas costeras con las aguas servidas sin tratar y los contaminantes agrícolas e industriales, los ecosistemas comienzan a degradarse.

Cuando las actividades humanas dañan los ecosistemas de agua dulce, terminan dañando también los ecosistemas de agua salada (Figura 16). Una mejor ordenación de los recursos de agua dulce ayudará a proteger las aguas costeras del mundo. Si se protegiera el ambiente costero en lugar de tratar a los océanos y los mares como si fueran basurales, se ayudaría a evitar un posible desastre ecológico en el futuro.

4.7. TIEMPO DE CAMBIAR EL ENFOQUE

El agua es el principal factor de desarrollo por lo que el mundo necesita ordenar los recursos hídricos de manera sostenible, esto requiere un cambio de enfoque en la gestión de este recurso.

Una solución a largo plazo, necesita el reconocimiento en todo el mundo del vínculo entre el rápido crecimiento de la población y la disminución de los recursos dulceacuícolas. Este reconocimiento, compenetración del problema e interés en resolverlo, pueden ayudar a desarrollar la voluntad política de evitar una crisis y asumir el compromiso necesario para asegurar que la necesidad que crece vertiginosamente de agua dulce de la humanidad, no agote el limitado suministro de agua del mundo.



Figura 16. Desembocadura de un río argentino en la zona costera.

Fuente: Secretaría de Turismo.

RECUADRO V**EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA DULCE Y EL CAMBIO DE LAS ACTITUDES: LOS RESULTADOS DE UN NUEVO ENFOQUE ENRAIZADO EN EL PASADO**

Durante muchos siglos, las comunidades se han hecho cargo de los recursos hídricos y sus integrantes han subsistido gracias a esos recursos. Lo que ha cambiado actualmente es que, debido a los avances de la tecnología para la explotación amplia y veloz del agua, del aumento de la población, de la contaminación y del hincapié que se hace en el aumento del consumo a expensas de la conservación, aumentó la presión que se ejerce sobre esos recursos. En muchas partes de la India donde estos factores no estaban presentes, era obvio que prevalecía un equilibrio ecológico natural. Sin embargo, debido a la introducción en los sectores productivos de la tecnología de las fuerzas del mercado no reguladas, ese equilibrio peligró. En el pasado, muchas comunidades habían descubierto sistemas y contaban con los medios para almacenar y conservar agua, por ejemplo mediante la protección de las cuencas de captación, la construcción de pequeñas presas de regulación y la concentración en los cultivos que les permitían los recursos de agua dulce de fuentes de superficie de los que disponían.

Sin duda, se puede aprender mucho del viejo paradigma sobre el uso sostenible de los recursos de agua dulce.

Si bien la mayoría de las comunidades son plenamente conscientes de las posibilidades y limitaciones que confrontan, esas comunidades tienen mucho menos control sobre las que se les imponen del exterior y desde otros niveles. Para elaborar nuevas estrategias y medidas en el contexto de ese nuevo paradigma de raíces antiguas, será necesario aprender en el nivel más elemental lecciones que serán específicas de ecoregiones particulares. Esas lecciones son las que posibilitan la elaboración de políticas y la integración de las mismas en niveles superiores y entre sectores diversos. Por ejemplo, algunas de las lecciones que se desprenden de la concentración en las cuestiones relativas al agua dulce en la India, durante la realización de estudios monográficos patrocinados por UNICEF y el Fondo Mundial para la Naturaleza, se relacionan con:

- Las opciones tecnológicas y el apoyo a los avances tecnológicos -el fomento de la promoción de la protección de las cuencas de captación, los pequeños diques, las pequeñas presas de regulación, los embalses, la recogida de agua de lluvia- aparte de los pozos de sondeo;
- La apreciación por parte de la comunidad de sus posibilidades en cuanto a sus recursos de agua dulce y a las tasas sostenibles de extracción, incluso de la creación en el ámbito local de capacidad e instituciones que se hagan cargo de la gestión de los recursos de agua dulce;
- Las labores de fomento y defensa y otras medidas en los niveles más elevados destinadas a ejercer influencia sobre la toma de decisiones políticas para que éstas estén orientadas a la gestión sostenible de los recursos hídricos en el ámbito local;
- La financiación de las actividades que sea necesario llevar a cabo en el plano comunitario;

- * Las medidas y las señales del mercado orientadas a regular y fijar los precios de los recursos hídricos para que tengan carácter sostenible;
- Las relaciones entre los precios de los productos agrícolas y del agua y las tasas de extracción;
- La mitigación de los efectos de los abonos y pesticidas en los suelos y el empleo de productos que tengan efectos menos nocivos para el medio ambiente;
- El uso más eficiente del agua de riego;
- El establecimiento de los precios del agua destinada al riego, al uso industrial y al consumo, y la creación y aplicación de los mecanismos más adecuados para lograr ese fin;
- La definición de los derechos y cuestiones jurídicas, relacionadas con la propiedad de las aguas subterráneas y los derechos ribereños relativos a las aguas de superficie;
- La definición y puesta en vigencia de normas relativas a las emisiones de aguas residuales de los procesos fabriles y el cobro y la recuperación de los costos del tratamiento del agua.

De: Towards Sustainable Financing of Water Supply and Sanitation Through Community Based Management of the Water Environment, A. Nigam, UNICEF, 1996

COMPETENCIAS PARA EL PROFESOR

COMPETENCIA GENERAL:

Valorizar un uso optimizado de los recursos hídricos como elemento básico de un desarrollo sustentable.

Diseñar estrategias de consumo de los recursos hídricos para promover el ahorro en su consumo

SUBCOMPETENCIAS

- a) **Promover criterios** para el uso racional del agua y la adopción de estrategias asociadas al desarrollo sustentable.
- b) **Elaborar campañas** para concientizar sobre el adecuado uso del agua, en distintos contextos: urbano, industrial, agrícola, etc.
- c) **Reconocer** que la organización estratégica del uso del agua ayuda a mejorar su disponibilidad

QUINTA PARTE

LOS RECURSOS HÍDRICOS EN ARGENTINA

5. LOS RECURSOS HIDRICOS EN ARGENTINA

5.1. LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LATINOAMÉRICA

Los ríos más largos de Centroamérica desembocan en el Caribe, en tanto que los más numerosos, pequeños y caudalosos, desaguan en el Pacífico. Entre los más largos están el Motagua, en Guatemala; el Ulúa, el Aguán y el Patruca, en Honduras; el Coco, que en uno de sus tramos sirve de demarcación de la frontera entre Honduras y Nicaragua; el río Grande y el Escondido, en Nicaragua, y el San Juan, que señala en una de sus partes la frontera entre Nicaragua y Costa Rica. Algunos de los ríos que desembocan en el Caribe son navegables por embarcaciones de poco calado y los que desembocan en el Pacífico son demasiado pronunciados o poco profundos para la navegación.

Centroamérica tiene tres grandes lagos: los lagos Nicaragua y Managua, en Nicaragua, y el lago Gatún, en Panamá. Este lago forma parte del canal de Panamá, la gran vía comercial entre el Atlántico y el Pacífico.

Gran parte de las aguas de Sudamérica desembocan en el océano Atlántico por tres sistemas hidrográficos: el Orinoco, el Amazonas y los ríos Paraguay-Paraná (Tabla 6). Cada uno de estos grandes ríos proporciona también acceso hacia el interior del subcontinente. Numerosos ríos de cauce medio desembocan a su vez en el mar Caribe y en el Pacífico, en este último caso, los cursos fluviales recorren las vertientes occidentales de los Andes. El más importante es el Magdalena, cuyo principal afluente es el río Cauca. Este sistema, que desagua al norte a través de los valles andinos del occidente colombiano para desembocar en el mar Caribe, ha proporcionado también una ruta tradicional de acceso hacia el interior del subcontinente. Una veintena de ríos andinos de menor recorrido, como el Guayas, el Santa y el Biobío, han sostenido la actividad agrícola durante siglos en Perú, Chile y en el noroeste argentino. Los ríos de los Andes, los de la Guayana y los de la región de los macizos brasileños poseen una considerable y potencial capacidad de producción de energía hidroeléctrica.

Sudamérica tiene importantes lagos. Muchos de ellos son permanentes y se hallan en las cumbres andinas, a muchos metros sobre el nivel del mar. Entre los principales cabe destacar el Titicaca, el Poopó, el Buenos Aires, el Argentino y el Nahuel Huapi.

A pesar de toda esta riqueza debemos tener presente que el agua es un bien escaso en nuestras sociedades, por lo que se hace necesario una racionalización de su uso así como una optimización en su gestión por parte de todos los organismos y agentes implicados. En este sentido, el desarrollo de las nuevas tecnologías ponen a nuestra disposición potentes herramientas de comunicación que permiten aunar esfuerzos entorno a proyectos y experiencias llevados a cabo en diferentes lugares y cuyo conocimiento puede ser de utilidad para otras comunidades.

Tabla 6. Los principales ríos de Sudamérica

Nombre	País	Caudal medio 1000 m³/s	Area de drenaje 1000 km²	Largo km	Ranqueo por longitud
Amazonas	Brasil	212.5	5711	6437	2
Orinoco	Venezuela	17.0	870	2151	60
Paraná	Argentina	14.9	2278	3998	18
Tocantinas	Brasil	10.2	896	2700	38
Magdalena	Colombia	7.5	238	1600	-
Uruguay	Uruguay	3.9	230	1612	-
San Francisco	Brasil	2.8	665	2900	31

5.2. DISTRIBUCIÓN Y DISPONIBILIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA ARGENTINA

Situada en el extremo sur del continente americano, la República Argentina tiene una superficie de 3,7 millones de km², con 2.780.400 km² en el continente y el resto correspondiendo a los espacios insulares y parte de la Antártica. La parte continental sudamericana se extiende a lo largo de 3.700 km. entre los 22° y 55° latitud sur. Argentina muestra un fuerte y marcado contraste en la distribución de sus recursos hídricos continentales. La región noreste, dominada por los grandes ríos de la Cuenca del Plata (Paraná, Paraguay y Uruguay y sus tributarios), es considerablemente rica en recursos hídricos, contribuyendo con más del 80% de las aguas superficiales del país. Varios grados de aridez predominan en el resto del país. Sin embargo, es posible distinguir entre la amplia región del noroeste y el centro, la cual es extremadamente pobre en recursos, y la Patagonia, con sus grandes lagos oligotróficos.

Su extensión y variación altimétrica posibilita la coexistencia de diferentes climas, desde el tipo sub-tropical al norte hasta los fríos de la Patagonia en el sur. La temperatura y la humedad, entre otros factores, son los que caracterizan el tipo de clima y permiten clasificar desde ese punto de vista al territorio argentino.

A la variabilidad anual muy pronunciada en algunas áreas, que concentra un alto porcentaje de la precipitación en unos pocos meses, se suma una alta variabilidad interanual, en muchos casos incrementada por los fenómenos climáticos globales como el Fenómeno del Niño, que provoca problemas de sequías e inundaciones según las regiones.

Desde el punto de vista climático, el territorio argentino tradicionalmente se divide en tres regiones características: húmeda, semiárida y árida. El rango de precipitaciones medias anuales varía: menos de 50 mm en ciertas regiones de las provincias de San Juan y La Rioja, supera los 2000 mm en la región subandina del Noroeste y en la región de la Selva Misionera, en el Noreste; llega hasta los extremos excepcionales de 5.000 mm en los bosques andino-patagónicos. La interacción de frentes fríos provenientes del sur con las masas de aire húmedo que ingresan desde la región del Atlántico al este del País, determina básicamente el régimen de precipitaciones en la

región pampeana y noreste. La presencia de sistemas orográficos determina el régimen de precipitaciones en las otras zonas del noroeste y sur. Las barreras orográficas también intervienen en la acumulación y posterior fusión del almacenamiento nival, determinando el régimen pluviométrico característico de los ríos de la zona cordillerana.

En los ríos del norte y noroeste, alimentados por lluvias, los caudales máximos ocurren en verano, en coincidencia con el período de mayores precipitaciones. Los cursos que descienden del sector andino central, abastecidos por la nieve acumulada en la Cordillera, presentan crecidas durante la primavera y el verano. Los ríos patagónicos tienen una alimentación mixta: dependen tanto de las lluvias invernales originadas en las corrientes del Pacífico como del aporte nival. Esto hace que su régimen muestre dos ondas de crecida, una de invierno y otra de primavera - verano.

También corresponde destacar las influencias que sobre el escurrimiento superficial ejercen las extensas superficies lacustres de muchas cuencas patagónicas que, con su gran capacidad de almacenamiento, atenúan las irregularidades de las descargas.

Argentina (Figura 17) está ubicada en el extremo meridional de América del Sur, con una geografía que se caracteriza por:

- su extensa fachada atlántica, que le da acceso a importantes recursos pesqueros
- grandes masas montañosas al oeste, con potencial minero extensas llanuras en el centro-oriental, de clima templado a subtropical, con aptitud para el poblamiento y la actividad agropecuaria
- relieves tabulares al sur, formando valles apropiados para el riego
- * todo esto constituye un escenario de gran diversidad climática, desde cálido tropical y subtropical hasta frío húmedo patagónico-fueguino.



Figura 17. Argentina en el contexto sudamericano.

Las características geográficas citadas anteriormente configuran tres vertientes principales (Tabla 7):

- Atlántico, conformada por las cuencas que desembocan en este océano, que incluye las principales cuencas del país, tanto en términos de derrame como de áreas beneficiadas.
- Pacífico, que no obstante estar ubicada en una estrecha franja entre la cordillera andina y la frontera con Chile, cuenta con ríos de importante caudal.
- Endorreicas, constituida por cuencas de las zonas centro y noroeste que no derraman sus aguas en ninguno de los dos océanos mencionados, cuyo derrame es mucho menor.

Tabla 7. Distribución de los aportes de las tres vertientes principales.

Vertiente	Derrame (Hm³)	Area aporte (Km²)
Atlántica *1	770.677	3.722.076
Pacífica	38.222	33.455
Endorreica *2	5.866	298.056
Total	814.765	4.053.587

(*) 1 El caudal medio incluye el 100% del caudal del río Uruguay y la superficie consignada es el total de la cuenca de aporte. En territorio nacional esta última es 918.00 km²
(*) 2 No incluye arroyos de la Puna.
Fuente: Balance Hidrico de la República Argentina. INCYTH-UNESCO, 1994.

Las cuencas con desagüe al Océano Atlántico pueden distinguirse en dos clases: (a) las que se extienden en el Oeste, centro y Sur del país, desde las divisorias de agua de los Andes hasta la costa Atlántica; y, (b) la cuenca del Río de la Plata.

Las primeras corresponden a zonas menos húmedas que las de la cuenca del Plata, cuyas precipitaciones no superan los 400 mm al año, a excepción del sudeste de la Provincia de Buenos Aires y del sector cordillerano de los bosques andino patagónicos, donde se originan grandes ríos como el Negro y el Santa Cruz. Todos sus ríos nacen en la Cordillera de los Andes y aumentan su caudal con el derretimiento de la nieve; en general, atraviesan gran parte de la zona árida y semiárida sin recibir aportes de importancia. Esta zona tiene usos agropecuarios e hidroenergéticos.

Por su parte, la cuenca del Río de la Plata destaca claramente en la vertiente atlántica del sistema hidrográfico argentino, ya que representa el 85% del derrame total. Los ríos de esta cuenca son de alimentación pluvial, con precipitaciones distribuidas a lo largo del año que oscilan entre 2000 mm al este de la cuenca y 700 mm en su ángulo noroeste, proporcionando agua para usos agrícola, pecuario, humano, hidroenergético, industrial, pesquero, recreativo y como receptor de efluentes industriales y domésticos. Varios de sus ríos son navegables, destacando el Paraná.

Las cuencas de la vertiente del Pacífico se localizan en la cordillera andino patagónica en el límite internacional con Chile. A pesar de su reducida superficie relativa, su riqueza hídrica es relevante, alcanzando 1.100 m³/seg., que representa algo menos del 5% del escurrimiento total. La variabilidad espacial de la precipitación (sobre el eje latitudinal) es bastante alta. La población asentada en el área es escasa, y el principal aprovechamiento de los ríos es el hidroenergético.

Las cuencas sin desagüe al océano o endorreicas se encuentran principalmente en el centro y noroeste del país, así como en grandes superficies de la meseta patagónica y llanura pampeana. Se les puede calificar como áreas sin drenaje superficial, ya que se trata de vastas planicies que carecen de cursos colectores de lluvias. Esta zona corresponde a un 30% del territorio nacional, y un 1% de los recursos hídricos superficiales, lo que significa que, en relación al resto del país, el agua es escasa y su gestión adquiere una gran relevancia económica y social, estimulando la construcción de obras de aprovechamiento para consumo, riego y producción de energía.

Finalmente, cabe señalar que en la Argentina se hace un uso importante de las aguas subterráneas, particularmente donde sus características, mayor estabilidad temporal, flexibilidad de uso y mejores condiciones de calidad del agua favorecen su explotación. Un 30% del agua promedio extraída en el ámbito nacional para los distintos usos proviene de fuentes subterráneas. En el caso del riego en las regiones áridas y semiáridas, las reservas de agua subterránea cumplen un rol esencial al asegurar una regulación plurianual de los recursos y permiten superar periodos de sequía, como el registrado en el periodo 1967/1972. Sin embargo, la evaluación de estos recursos en cada una de las principales regiones hidrogeológicas es insuficiente, dada la escasez de relevamientos y estudios sobre la potencialidad y calidad de los acuíferos, salvo en algunos oasis de riego que dependen fuertemente de ese recurso, como en Mendoza y San Juan.

La disponibilidad natural renovable de agua dentro del territorio continental e insular Argentina supera los 26.000 m³/seg. Como valor medio anual, de los cuales el 92% lo constituye la parte medida antes mencionada, correspondiendo ello a una riqueza hídrica promedio de 6,4 litros/seg/Km² (Tabla 8).

Con una distribución espacial marcadamente irregular a nivel de país, cabe mencionar que el mayor aporte hídrico superficial del país resulta ser el de la cuenca del Plata, razón que motiva la mayor concentración global de población y actividades económicas.

Tabla 8. Disponibilidad natural renovable de agua dentro del territorio continental e insular.

SISTEMA HÍDRICO	CAUDAL MEDIO ANUAL (m³/s)	CONTRIBUCIÓN (%)	SUPERFICIE (Km²)
Cuenca del río de la Plata	22.031	84	920.000
Cuenca de la vertiente Atlántica	2.790	10	807.000
Cuenca de la vertiente Pacífica	1212	5	33.500
Cuenca sin derrame al mar	223	1	304.000
TOTAL	26.256	100	2.064.500

Fuente: "Balance Hídrico de la República Argentina", INCYTH-PHI, 1994.

5.2.1. LA RED HIDROGRÁFICA EN ARGENTINA

Diversos intentos de describir la red hidrográfica de la República Argentina se han llevado a cabo agrupando sus cuerpos de agua superficiales (ríos, arroyos, etc.) en cuencas y agrupaciones de cuencas según sus distintas vertientes (Figura 18). En este contexto, en 1970 la Secretaría de Estado de Recursos Hídricos desarrolló un proyecto que fue llevado a cabo por el Grupo de Trabajo Gubernamental sobre Información Hídrica (G.T.G.I.H.), que convocó a todos los organismos nacionales y provinciales con actividad en esa temática. Ese grupo de trabajo apuntó, desde sus comienzos, a cubrir todas las etapas del conocimiento hídrico; desde el inventario de sus cuerpos de agua superficial (mares, lagos, esteros, etc.), los cursos de agua (ríos y arroyos) y sus aguas subterráneas (acuíferos), hasta la obtención, recolección, procesamiento, recuperación y archivo de su información hidrológica.

En la Tabla 9 presenta las características de los principales sistemas hidrográficos, desagregados según el trabajo "Balance Hídrico de la República Argentina (INCYTH-UNESCO, 1994).

Allí se puede apreciar que el Sistema de la Cuenca del Plata, concentra más del 85% del derrame total medido. Por su mayor oferta hídrica, la región asociada al Sistema del Río de la Plata motiva la mayor concentración de población, desarrollo urbano y actividad económica. Los recursos hídricos de los ríos Bermejo, Paraná, Paraguay y Uruguay que forman parte de ese Sistema, son compartidos con los países limítrofes, los que junto con la Argentina integran la Cuenca del Plata, una de las principales cuencas hídricas internacionales del mundo.

Fuera del Sistema del Plata, los ríos de la vertiente atlántica más importantes de Argentina son los que, teniendo sus nacientes en la zona cordillerana de Los Andes, desaguan en dicho Océano, atraviesan las áridas estepas patagónicas y actúan como corredores fluviales de gran importancia económica y ecológica. En estos ríos se han desarrollado sistemas de embalse para generación de energía eléctrica y regulación de crecidas e irrigación. A su vez se ubican los más importantes asentamientos poblacionales de la región sur del país. El aporte total de la vertiente atlántica, que incluye al de la Cuenca del Plata, suma casi el 95 % de la oferta superficial total del país. En términos de riqueza hídrica relativa, los sistemas fluviales de la vertiente pacífica son los que exhiben el mayor caudal específico, que alcanza a unos 36,2 litros/seg/Km², muy superior al promedio de 6.4 l/ seg/ Km² en el ámbito del país. Vastas regiones de la zona árida y semiárida, del orden del 15% de la superficie total, corresponden a cuencas sin derrame al mar con una contribución menor al 1%.

TABLA 9. CUENCAS Y REGIONES HÍDRICAS DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

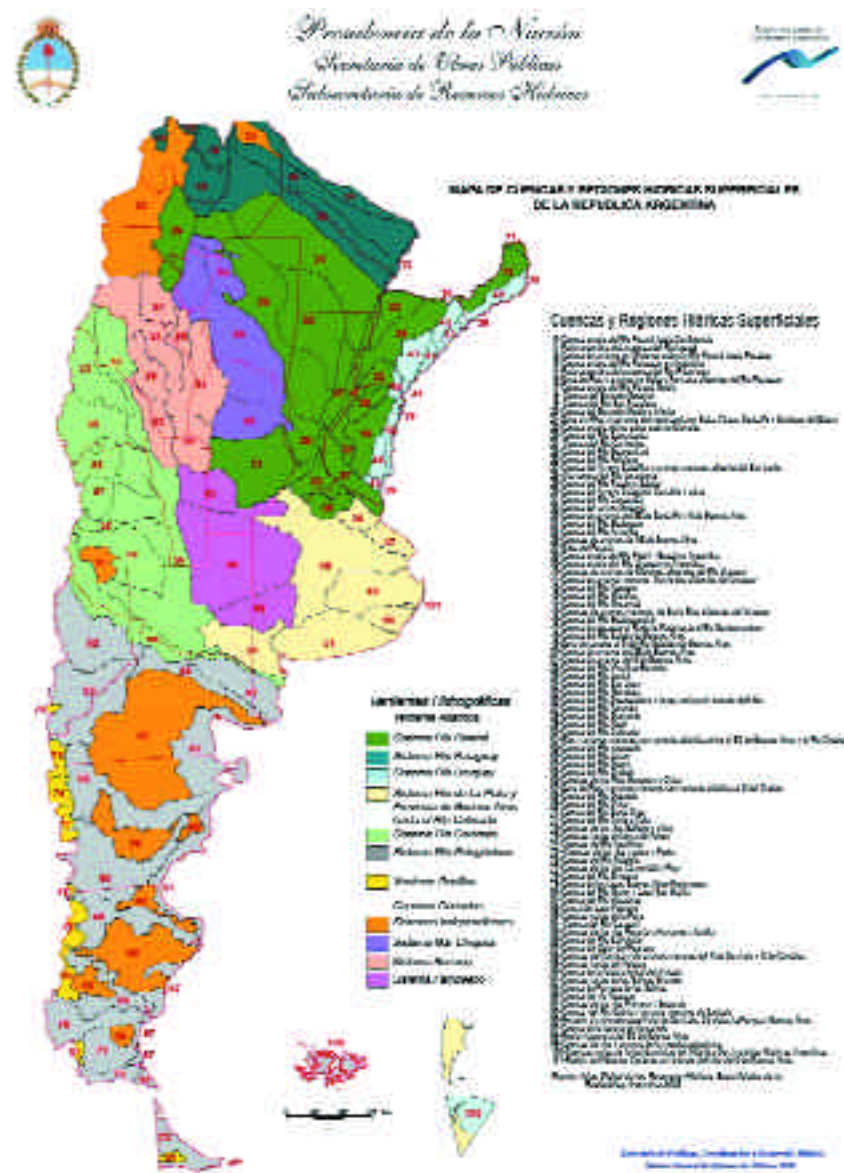


Figura 18. Mapa de cuencas y regiones hídricas superficiales en República Argentina.
Fuente: Atlas Digital de la República Argentina. Secretaría de Recursos Hídricos. 2002.

Nº	NOMBRE	AREA Km²
10	CUENCA PROPIA DEL RÍO PARANÁ HASTA CONFLUENCIA	2.121
11	PARTE ARGENTINA DE LA CUENCA DEL RIO IGUAZÚ	1.785
12	CUENCA DE ARROYOS DE MISIONES SOBRE EL RÍO PARANÁ HASTA POSADAS	16.284
13	CUENCA PROPIA DEL RÍO PARAGUAY EN ARGENTINA	2.296
14	PARTE ARGENTINA DE LA CUENCA DEL RIO PILCOMAYO	30.188
16	ZONA DE RÍOS Y ARROYOS EN SALTA Y FORMOSA AFLUENTES DEL RIO PARAGUAY	46.681
17	CUENCA PROPIA DEL PARANÁ MEDIO	17.684
18	CUENCA DEL RÍO BERMEJO SUPERIOR	13.351
19	CUENCA DEL RÍO SAN FRANCISCO	24.697
20	CUENCA DEL RÍO BERMEJO MEDIO E INFERIOR	70.036
21	ZONA SIN RÍOS NI ARROYOS DE IMPORTANCIA EN SALTA, CHACO, SANTA FE Y SANTIAGO DEL ESTERO	97.540
22	CUENCA PROPIA DE LOS BAJOS SUBMERIDIONALES	61.647
23	CUENCA DEL RÍO SANTA LUCÍA	16.103
24	CUENCA DEL RÍO CORRIENTES	27.678
25	CUENCA DEL RÍO GUAYQUIRARO	9.505
26	CUENCA DEL RÍO FELICIANO	8.393
27	CUENCA DEL ARROYO SALADILLO Y AFLUENTES MENORES DEL RÍO SAN JAVIER	14.033
28	ALTA CUENCA DEL RÍO JURAMENTO	32.886
29	CUENCA DEL RÍO PASAJE O SALADO	92.774
30	CUENCA DEL ARROYO COLASTINE, CORRALITO Y OTROS	14.166
31	CUENCA DEL RÍO CARCARA_A	59.441
32	CUENCA DEL RIO NOGOYA	3.831
33	CUENCA DE ARROYOS DEL SE DE SANTA FE Y N DE BUENOS AIRES	13.500
34	CUENCA DEL RÍO GUALEGUAY	22.195
35	CUENCA DEL RÍO ARRECIFES	11.021
36	CUENCAS DE ARROYOS DEL NE DE BUENOS AIRES	10.227
37	DELTA DEL PARANA	22.588
38	CUENCA PROPIA DEL RÍO PEPIRÍ-GUAZÚ EN ARGENTINA	718
39	CUENCA PROPIA DEL RIO URUGUAY EN ARGENTINA	2.979
40	CUENCAS DE AROYOS DE MISIONES AFLUENTES DEL RÍO URUGUAY	11.906
41	CUENCAS MENORES DE CORRIENTES AFLUENTES DEL RÍO URUGUAY	7.810
42	CUENCA DEL RÍO AGUAPEY	8.089
43	CUENCA DEL RÍO MIRIÑAY	12.924
44	CUENCA DEL RIO MOCORETA	3.686
45	CUENCA DE ARROYOS MENORES DE ENTRE RÍOS AFLUENTES DEL RÍO URUGUAY	9.568

46	CUENCA DEL RÍO GUALEGUAYCHU	7.245
47	CUENCA DE DESAGUE AL RIO DE LA PLATA AL S DEL RIO SAMBOROMBON	10.893
48	CUENCA DEL RIÍO SALADO DE BUENOS AIRES	87.775
49	ZONA DE CANALES AL S DEL RIO SALADO DE BUENOS AIRES	41.058
50	CUENCA DE ARROYOS DEL SE DE BUENOS AIRES	11.974
51	CUENCAS Y ARROYOS DEL S DE BUENOS AIRES	50.172
52	CUENCA DEL RÍO VINCHINA - BERMEJO	35.644
53	CUENCA DEL RÍO JACHAL	34.855
54	CUENCA DEL RÍO SAN JUAN	38.773
55	CUENCA DEL RÍO MENDOZA	17.895
56	CUENCA DEL RÍO DESAGUADERO Y AREAS VECINAS SIN DRENAJE DEFINIDO	119.137
57	CUENCA DEL RÍO TUNUYAN	21.219
58	CUENCA DEL RÍO DIAMANTE	8.603
59	CUENCA DEL RÍO ATUEL	39.404
60	CUENCA DEL RÍO COLORADO	47.459
61	RIOS Y ARROYOS MENORES CON VERTIENTE ATLANTICA ENTRE EL SO DE BUENOS AIRES Y EL RÍO CHUBUT	109.189
62	CUENCA DEL RÍO NEUQUEN	49.958
63	CUENCA DEL RÍO LIMAY	60.902
64	CUENCA DEL RÍO NEGRO	20.027
65	CUENCA DEL RÍO CHUBUT	53.234
66	CUENCA DE LOS RÍOS SENGUERR Y CHICO	61.132
67	ZONA DE RÍOS Y ARROYOS MENORES CON VERTIENTE ATLÁNTICA DEL SE DE CHUBUT Y E DE SANTA CRUZ	36.148
68	CUENCA DEL RÍO DESEADO	32.275
69	CUENCA DEL RÍO CHICO	25.722
70	CUENCA DEL RÍO SANTA CRUZ	29.686
71	CUENCA DEL RÍO COILE O COIG	20.794
72	CUENCA DE LOS RÍOS GALLEGOS Y CHICO	9.554
73	CUENCAS VARIAS DE TIERRA DEL FUEGO	17.592
74	CUENCA DEL RÍO HUA-HUM	1.044
75	CUENCA DEL LOS RÍOS MANSO Y PUELO	6.042
76	CUENCA DEL RÍO FUTALEUFU	7.346
77	CUENCA DE LOS RÍOS CARRENLEUFU Y PICO	5.587
78	CUENCA DEL RÍO SIMPSON	655
79	CUENCA DE LOS LAGOS BUENOS AIRES - PUEYRREDON	8.556
80	CUENCA DEL RÍO MAYER Y LAGO SAN MARTIN	7.221
81	CUENCA DEL RÍO VIZCACHAS	1.806
82	CUENCA DEL LAGO FAGNANO	2.910
83	CUENCAS VARIAS DE LA PUNA	88.185
84	CUENCA DEL RÍO ITIYURO O CARAPARI	8.045

85	CUENCA DE LOS RÍOS ROSARIO U HORCONES Y URUE_A	19.093
86	CUENCA DEL RÍO SALI-DULCE	92.119
87	CUENCA DEL SALAR DE PIPANACO	16.904
88	CUENCAS DE RÍO CONLARA Y DE ARROYOS MENORES DEL N DE SAN LUIS Y O DE CORDOBA	22.975
89	CUENCA VARIAS DE VELAZCO	18.797
90	CUENCA DE LA FALDA ORIENTAL DE AMBATO	9.352
91	CUENCAS VARIAS DE LAS SALINAS GRANDES	44.008
92	CUENCA DE PAMPA DE LAS SALINAS	23.705
93	CUENCA DEL RÍO ABAUCAN	43.160
94	CUENCA DE LOS RÍOS PRIMERO Y SEGUNDO	30.325
95	CUENCA DEL RÍO QUINTO Y ARROYOS MENORES DE SAN LUIS	34.100
96	REGION SIN DRENAJE SUPERFICIAL DE SAN LUIS, CORDOBA, LA PAMPA Y BUENOS AIRES	109.097
97	CUENCA DE LA LAGUNA DE LLANCANELO	10.594
98	REGION LAGUNERA DEL SO DE BUENOS AIRES	29.986
99	CUENCAS DE RÍOS Y ARROYOS DE LA MESETA PATAGONICA	248.128
100	CUENCAS VARIAS DE ANTARTIDA E ISLAS DEL ATLANTICO SUR, INCLUIDAS MALVINAS ARGENTINAS	330.179
101	REGION DE MEDANOS COSTEROS SIN DRENAJE DEFINIDO DEL E DE BUENOS AIRES	393

Fuente: Atlas Digital de la República Argentina. Subsecretaría de Recursos Hídricos. 2002393

RECUADRO VI
LA GRAN CUENCA DEL RÍO DE LA PLATA

La cuenca del río de la Plata (Figura 19) es una de las más grandes del mundo, con 3.100.000 Km². Se extiende sobre territorios de Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay. En ella vive el 75% de la población de la Argentina, es el soporte de las principales actividades productivas y de los mayores centros urbanos. Esta cuenca incluye íntegramente las Provincias de Misiones, Corrientes, Entre Ríos, Formosa, Chaco y porciones de Jujuy, Salta, Santiago del Estero, Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires.

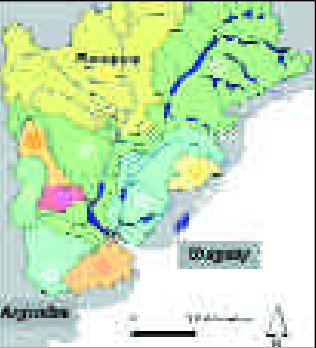


Figura 19: La cuenca hidrográfica del río de la Plata

Las subcuencas principales del sistema son las de los ríos Paraná, Uruguay, Paraguay, Bermejo y Pilcomayo; otras cuencas menores, como las del Iguazú, de los ríos de Entre Ríos, del Pasaje-Juramento-Salado y del Carcarañá, completan dicho sistema. Todos los ríos que lo integran son de alimentación pluvial, con precipitaciones distribuidas a lo largo del año que oscilan entre 2000 mm al Este de la cuenca y 700 mm en su ángulo Noroeste.

Los ríos Paraná, Paraguay, Uruguay y del Plata se utilizan para navegación, abastecimiento de agua para uso humano, uso industrial, pesca, recreación, y como receptores de efluentes domésticos e industriales. De los ríos Paraná y Uruguay se bombea agua para irrigación de arrozales y, en época de sequía, para completar la dotación de otros cultivos. Sobre ambos ríos existen importantes aprovechamientos energéticos que utilizan sólo parcialmente su capacidad potencial.

El río Paraná es en la Argentina la principal vía navegable y como tal ha ejercido una influencia decisiva en las distintas etapas del poblamiento y ocupación del territorio. Como vía de penetración de la conquista española primero, como radicador de población y actividades generadoras de riqueza después, y como componente básico en la circulación de productos y personas en la región. Es conocida, por otra parte, la importancia económico - social que el eje industrial y de asentamientos humanos del Paraná tiene en el ámbito nacional.

Como se indicó, la cuenca del río de La Plata abarca una superficie que llega a 3.100.000 km², es decir, el 17% aproximadamente de la superficie de América del Sur, abarcando una región de entre las de mayor riqueza y densidad poblacional de América Latina. El mayor desarrollo de esta gran área de drenaje se encuentra en Brasil, donde alcanza 1.415.000 km², mientras que el resto se distribuye de la siguiente forma aproximada: a la Argentina le corresponden 920.000 km², a Paraguay 410.000 km², a Bolivia 205.000 km² y a Uruguay 150.000 km².

Para apreciar la incidencia de cada uno de sus principales componentes, a continuación se indican las superficies de sus cuencas aportantes (Tabla 10):

Tabla 10. Superficies de las subcuencas de aporte a la gran cuenca del Plata.

SUBCUENCA PRINCIPAL	SUPERFICIE (KM²)
Río Paraná	1.510.000
Río Paraguay	1.095.000
Río Uruguay	365.000
Río de la Plata	130.000

5.2.2. RELACIÓN OFERTA-DEMANDA

Globalmente, la Argentina dispone de una oferta hídrica media anual por habitante sumamente importante y superior a los 22.500 m³/hab, muy por encima del umbral de estrés hídrico adoptado por el PNUD equivalente a una disponibilidad de 1000 m³/hab. No obstante, la distribución de la oferta es muy irregular, por lo que en varias provincias de la región árida la disponibilidad de agua se ubica bien por debajo de ese valor. Así, dos tercios de la superficie del país se encuentra bajo condiciones climáticas áridas o semiáridas.

La oferta de agua analizada en los puntos anteriores es un concepto estrictamente natural, derivado de los procesos físicos del ciclo hidrológico (precipitación, infiltración, evaporación y evapotranspiración y el escurrimiento de las aguas - superficial y subterráneo). Una primera forma de acercar la disponibilidad de agua (entendiendo como tal a la cantidad de agua que se encuentra en el momento, en la cantidad y calidad necesarias para su utilización por parte del hombre) a la oferta, es a través de su regulación. Es decir, a través de la modificación del régimen natural de los cuerpos de agua para adaptarlos a las demandas de la sociedad. Argentina cuenta con aprovechamientos hidráulicos diseñados con el fin de almacenar el agua para regular la oferta temporal irregular que presentan los ríos, fundamentalmente de las zonas áridas y semiáridas, con destino, en su mayoría, a propósitos múltiples (suministro de agua para bebida y riego, generación eléctrica, atenuación de crecidas naturales, navegación fluvial, actividades turísticas y de recreación).

Actualmente, existen en el territorio argentino alrededor de 100 aprovechamientos en funcionamiento, dos de los cuales son de carácter binacional: Salto Grande (compartido con la República Oriental del Uruguay) y Yacyretá (compartido con la República del Paraguay).

El reuso del agua, a partir del aprovechamiento de cantidades de agua residuales de una cierta utilización para otro uso, permite aumentar la disponibilidad de agua por sobre su oferta natural en una determinada región. Un ejemplo de dicha actividad lo constituye la utilización de aguas residuales del uso doméstico para el riego de 15.000 has de vegetales en Campo Espejo, provincia de Mendoza.

Otras experiencias de reuso de aguas residuales tratadas, se presentan en las localidades de Puerto Madryn, Rada Tilly y Comodoro Rivadavia, en la Provincia del Chubut con fines forestales, y en Villa Nueva, en la Provincia de Córdoba destinada al riego hortícola, florícola y forestal.

La incorporación de cambios tecnológicos que permitan aumentar la eficiencia de utilización del agua pueden permitir poner en disponibilidad cantidades de agua para la satisfacción de nuevas demandas a partir de las mismas ofertas naturales.

5.3 PRINCIPALES USOS DEL RECURSO HÍDRICO EN ARGENTINA

5.3.1. USOS CONSUNTIVOS DEL AGUA

En un estudio elaborado en 1999 por el Banco Mundial se hizo una estimación de las demandas consuntivas totales de Argentina. El uso agrícola (irrigación) es el principal, seguido del uso doméstico (abastecimiento a poblaciones) e industrial. El sector agrario tiene una demanda del 79.4% del uso consuntivo total, desagregado en 70.6% para las actividades agrícolas (riego) y

8.8% para las pecuarias. Otros sectores importantes, que representan el consumo poblacional e industrial, registran porcentajes mucho menores (Tabla 11).

Es importante destacar que el agua subterránea representa el 30% del abastecimiento para usos consuntivos, siendo especialmente importante para las actividades pecuarias e industriales.

Tabla 11. Usos consuntivos del agua en Argentina

Tipo de uso	Superficial	Subterránea	Total	(%)
Riego	18.000	6.000	24.000	70,6
Ganadero	1.000	2.000	3.000	8,8
Municipal	3.500	1.000	4.500	13,2
Industrial	1.500	1.000	2.500	7,4
Total	24.000	10.000	34.000	100

Fuente: BIRF, FAO-AQUASTAT

Agua para uso agrícola (riego)

Argentina cuenta con 125 sistemas o zonas de riego, considerando el riego complementario e integral, tanto público como privado. Se considera que el potencial de tierras aptas para riego es del orden de 6.300.000 hectáreas, de las cuales solo 2,5 millones pueden ser factibles de habilitar para riego integral. La superficie regada total es del orden de 1,5 millones de hectáreas (73% o 1,1 millones de hectáreas en las zonas áridas y semiáridas), mientras que la superficie con infraestructura de riego disponible (incluyendo en ésta toda la empadronada) cubre unos 1,75 millones de hectáreas. El 68% de la superficie bajo riego se ubica en las regiones áridas y semiáridas del país y el 32% restante, en las regiones húmedas y se trata de riego complementario o riego para arroz. El 74% de los sistemas o áreas pertenecen y/o son administradas por el sector público y el 26% por el sector privado.

Aunque el área bajo riego representa solamente un 5% del área agrícola del país (30 millones de hectáreas), su participación en el valor de la producción sectorial ha oscilado entre el 25% y 38%. Del total de 1,5 millones de hectáreas bajo riego, se considera que existen 500.000 hectáreas que están afectadas, en distintos grados de intensidad, por problemas de drenaje y/o salinidad. La eficiencia del uso del agua, en general, se encuentra en niveles muy bajos: la media es inferior a 40%.

Agua para uso doméstico (Figura 20)

La población urbana con acceso a sistemas de agua potable, en diciembre de 1998, alcanzaba los 27.511.000 habitantes (85%), de los cuales 23.385.000 habitantes (70%) eran servidos con conexión domiciliaria y el 15% restante tenía acceso a una fuente pública de agua potable cercana. La población urbana con acceso a sistemas de eliminación adecuada de excretas alcanzaba los 28.751.000 habitantes (88% del total de población urbana), de los cuales 17.767.000 habitantes (60%) disponían de conexiones domiciliarias a la red de alcantarillado y el 38% restante contaba con sistemas adecuados “in situ”, privado o compartido para la eliminación de las excretas.

Sólo el 30% de la población rural, 1.222.000 habitantes, disponía de acceso a sistemas de agua potable, siendo que el 92% de ésta era servida con conexión domiciliaria y el 8% restante tenía acceso a una fuente pública de agua potable cercana. El 48% de la población rural, 1.954.000 habitantes, era servida con eliminación adecuada de excretas, siendo que sólo el 2% de ésta era servida con conexiones domiciliarias a la red de alcantarillado; el 98% restante, no disponía de conexiones domiciliarias a la red de alcantarillado pero era servida con sistemas adecuados “in situ”, ya sean privados o compartidos.

En tanto que, el 15% (4.970.000 hab.) y el 12% (3.730.000 hab.) del total de la población urbana no disponía del servicio de agua potable ni era servida con una eliminación adecuada de excretas respectivamente, debiendo recurrir para su abastecimiento de agua y eliminación de excretas a la utilización de sistemas individuales que no reúnen las mínimas condiciones de seguridad e higiene requeridas.

Esta situación se agrava entre la población rural, ya que el 70% (2.875.000 hab.) y el 52% (2.143.000 hab) no disponían de servicio de agua potable ni eran servidos con eliminación adecuada de excretas, debiendo recurrir a la utilización de sistemas individuales poco confiables.

En 1999 el 81% de la población urbana estaba conectada a redes de agua y el 38% a redes de alcantarillado. Existe una marcada disparidad en los niveles de cobertura de agua potable y saneamiento entre provincias y entre áreas urbanas y rurales de éstas. Se denomina área urbana a aquella en la que las agrupaciones de población superan el valor de 2000 habitantes, en tanto que se denomina áreas rurales a aquellas con núcleos poblados de hasta 2000 habitantes.

Paradójicamente, el consumo irracional y el desperdicio en la gran mayoría de los sistemas de abastecimiento (áreas urbanas) requerían de producciones por habitante elevadísimas, de casi 500 litros por habitante día, que se encuentran entre las más altas del mundo.

El promedio nacional de producción de agua por habitante servido se estimaba en 380 lts/hab./día, con un rango amplio de variación entre las distintas provincias, que oscilaba entre un máximo de 654 lts/hab/día en San Juan y un mínimo de 168 lts/hab/día en de La Pampa. Además, la calidad del servicio era deficiente. Prácticamente en todas las ciudades mayores había racionamiento. Esta situación se exacerbaba por el consumo irracional y el desperdicio en la gran mayoría de los sistemas argentinos, en buena medida originados por la ausencia de tarifas adecuadas con base en consumos medidos.

El consumo medio real sobre la base de los resultados de sistemas que operaban con micromedición (Bahía Blanca en la Provincia de Buenos Aires y la Provincia de Jujuy) era del orden de los 180 lts/hab/día (SSGRH, 1997).



Figura 20. Uso doméstico del agua.

Fuente: elaboración propia

Los niveles de agua no contabilizada, constituyen uno de los principales problemas de eficiencia en la mayoría de los servicios de agua potable, ya que un importante volumen, estimado en el orden del 40% del agua producida, se pierde en las redes y en las conexiones clandestinas, restando posibilidades de acceso al agua potable a una mayor cantidad de población, obstaculizando la optimización de las inversiones de producción y conducción, y pérdidas en los ingresos por el volumen de agua producido pero no facturado. La aún escasa implementación de sistemas de macromedición de caudales, dificulta el conocimiento del valor real de las pérdidas.

Las empresas operadoras que implementaron nuevas tecnologías para la detección y control de fugas en sus redes de distribución, así como desarrollaron programas de mejoramiento operativo de sus instalaciones lograron disminuir significativamente las pérdidas, alcanzando en la actualidad valores de alrededor del 35% del agua producida.

El nivel de cobertura de agua potable por red pública de la mayoría de las jurisdicciones supera el 90%, (Ciudad de Buenos Aires y 13 Provincias) y en algunos casos como la Ciudad de Buenos Aires y las provincias de Chubut, Santa Cruz y Neuquén, alcanzan niveles superiores al 98% de la población urbana.

Las coberturas de saneamiento básico y de acceso a sistemas de agua potable sanitariamente controlados para los cinco millones de pobladores rurales, eran sensiblemente más bajas: 17% con agua conducida por tuberías y menos del 3% con alcantarillado sanitario.

En la zona central del país, en las provincias de Santa Fe, La Pampa, sur de Córdoba y norte de Buenos Aires, existen problemas en cuanto a la cantidad y calidad del recurso, esta última por la presencia de altos niveles de arsénico y fluor en los acuíferos.

AGUA PARA USO INDUSTRIAL (FIGURA 21)

Bajo esta denominación se incluye habitualmente el uso del agua en la industria manufacturera, en la minería, en la producción de energía eléctrica de origen térmico y en la construcción. No se dispone de información actualizada sobre esta materia.

La demanda de agua en la industria manufacturera era para fines de la década del 1970 de 2.100 hm³/año, desglosada entre las actividades más representativas que ocupaban el 92% del total, las que seguidamente se mencionan: alimentos y bebidas (35%), productos químicos y derivados del petróleo (26%), imprenta y editoriales (22%) y textiles (9%). El uso consuntivo para aquella época fue estimado en 193 hm³/año.

El uso con destino a centrales eléctricas de origen térmico (generación de vapor) implicaba un volumen de 2.920 hm³ y un uso consuntivo de 73 hm³, ambos para 1973.



Figura 21. Uso Industrial del agua.

Fuente: elaboración propia

5.3.2 USOS NO CONSUNTIVOS DEL AGUA EN LA ARGENTINA

El uso no consuntivo del agua en la Argentina se registra en actividades muy variadas, debiéndose mencionar el aprovechamiento de los cuerpos de agua (ríos, lagos, etc.), para el desarrollo de deportes acuáticos, actividades recreativas y turismo, especialmente en los embalses de las regiones áridas y semiáridas (figura 22).

Estos aspectos no han sido objeto de un dimensionamiento económico apropiado, por lo que se carece de estadísticas confiables, no obstante lo cual se prevé que la contribución de estos usos a las economías regionales devendrá cada vez más significativa y podrá integrar los beneficios económicos cuantificables de este tipo de obras.

Hidroelectricidad

La necesidad de incrementar la disponibilidad del recurso hídrico regulando su variabilidad estacional, de atenuar crecidas y de generar energía eléctrica, impulsó desde principios de siglo en la República Argentina la construcción de embalses y aprovechamientos de propósito múltiple. Inicialmente, los esfuerzos del Estado se orientaron a las zonas áridas y semiáridas, acompañando e impulsando el desarrollo de las áreas de riego y posteriormente a la generación masiva de energía eléctrica, por medio de grandes obras de carácter binacional en los ríos Paraná y Uruguay.

La operación de aprovechamientos hidroeléctricos, realizada sobre la base de maximizar los beneficios de la venta de energía, puede modificar el régimen de los ríos aguas abajo de los emplazamientos. Los emprendimientos de mayor magnitud actualmente en funcionamiento, por ejemplo los que se hallan sobre ríos cordilleranos, cuentan con embalses compensadores, cuya misión es la de paliar el conflicto que a menudo se presenta entre las demandas de generación eléctrica y las de uso doméstico y producción agrícola bajo riego de las zonas ubicadas aguas abajo.

El mayor potencial de energía hidroeléctrica en Argentina está asociado a las cuencas del Plata (ríos Bermejo, Paraná y Uruguay) y a las que desaguan en el Atlántico (Ríos Colorado, Negro, Chubut, Sta. Cruz). A título comparativo téngase presente que la energía media anual consumida en la Argentina está en el orden de los 50000 millones de kwh año, la mayor parte de los cuales son generados actualmente por medio de centrales térmicas alimentadas con fuel oil y gas natural. También hay dos centrales nucleares en operación.

La construcción de la mayor parte de los embalses en paisajes áridos o semiáridos, de muy baja o nula densidad poblacional, no generó conflictos ambientales significativos en relación con los beneficios derivados de la regulación de crecidas y del riego. Sin embargo, en las dos últimas décadas, la construcción y el proyecto de obras en la región húmeda mediante aprovechamientos binacionales de porte en los ríos Uruguay y Paraná, en un marco de mayor preocupación comunitaria por las consecuencias ambientales y sociales de las acciones de desarrollo, han generado conflictos. Estos impulsaron, por un lado, el establecimiento de procedimientos de evaluación de impacto ambiental para las obras del sector de la energía (caso del aprovechamiento de Salto Grande), y por otro, que esas preocupaciones se constituyan en protagonistas de decisiones técnicas y políticas sobre el desarrollo de las obras (caso de Yacyretá).

Navegación

La navegación fluvial se desarrolla en las grandes vías fluviales del Sistema de la Cuenca del Plata. Desde el Río de la Plata hasta el Puerto de Santa Fe, se mantiene un canal de navegación con calado de 30 pies y señalizado, que permite la navegación diurna y nocturna de buques de gran porte. Desde allí hasta Corrientes (Km1210) el calado se limita a 10 pies, lo que determina el predominio de trenes de barcazas. La ruta barcacera continúa hacia aguas arriba por el río Paraguay, o por el río Alto Paraná hasta Puerto Iguazú (Km 1927), atravesando el canal esclusado del aprovechamiento de Yacyretá. La Hidrovía Paraguay Paraná es un proyecto conjunto de los países de la Cuenca del Plata para asegurar la navegación permanente de hasta 10 pies de calado desde el Puerto de Nueva Palmira (Uruguay) hasta Corumbá (Brasil).

Uso Recreativo

En la Argentina las actividades de recreación y turismo se encuentran estrechamente relacionadas con la existencia y disponibilidad de cuerpos de agua. Esto cobra relevancia en la región árida y semiárida, donde los embalses constituyen centros de actividad creciente para deportes de contacto, navegación y pesca deportiva. Estos aspectos no han sido objeto de un dimensionamiento económico apropiado, por lo que se carece de estadísticas confiables, no obstante lo cual se prevé que la contribución de estos usos a las economías regionales devendrá cada vez más significativa y podrá integrar los beneficios económicos cuantificables de este tipo de obras.

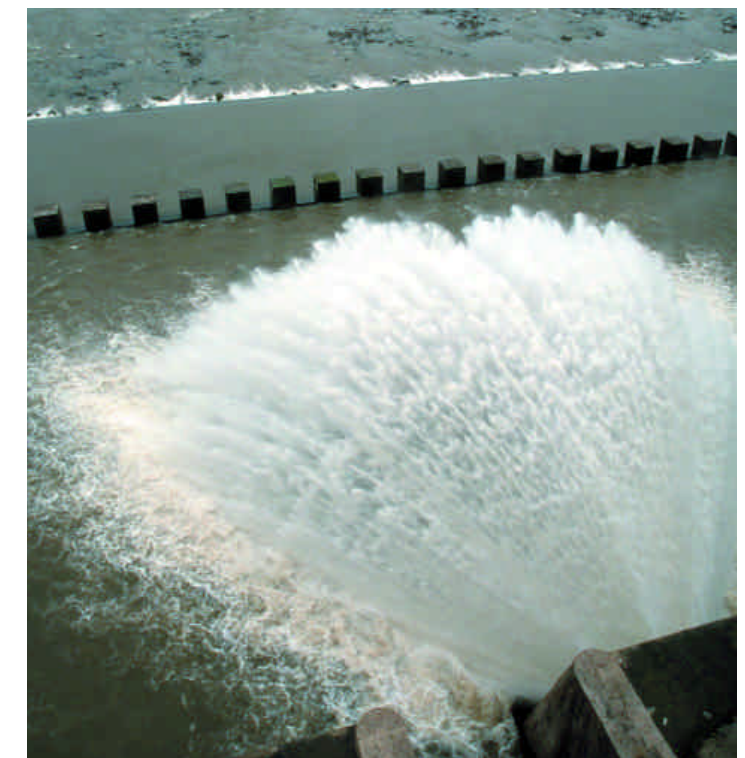


Figura 22. Usos no consuntivo del agua en Argentina

Fuente: Secretaría de Turismo.

5.4. LA CONTAMINACIÓN ACUÁTICA EN LA ARGENTINA

La Argentina no posee medidas de control adecuadas para el tratamiento y disposición de aguas servidas, residuos peligrosos sólidos y desechos industriales domiciliarios, los que finalmente terminan contaminando cuerpos de agua superficiales y subterráneos.

El mayor problema son las áreas urbanas, que reciben contaminantes al por mayor desde todas partes. La contaminación del agua actúa lentamente y genera no sólo trastornos infecciosos, sino enfermedades de todo tipo. El agua transporta metales y sustancias tóxicas que van acumulándose en los organismos hasta afectar de diferente manera los diversos tejidos corporales. Una de cada cuatro camas de un hospital está ocupada por pacientes que tienen enfermedades contraídas por el agua.

La contaminación de las aguas de superficie provenientes de las aguas residuales industriales y de aguas negras sin tratar, es una de las causas principales de daños a la propiedad (en combinación con las inundaciones), pérdidas de espacios para recreación y daños ecológicos alrededor de las principales áreas urbanas y de varios lagos interiores. En varios lugares del interior del país -como Rosario y Córdoba- los cuerpos de agua se han contaminado hasta el punto de afectar los trabajos de las plantas para su tratamiento.

El Lago San Roque, abastecedor del agua de la ciudad de Córdoba, en la Provincia de Córdoba, es un lago copado por la materia orgánica, algas, virus y bacterias, es decir, experimenta el problema de la eutrofización. Hay proyectos para hacer plantas de tratamiento para las principales localidades, pero la descarga sigue creciendo. No hay ningún sistema de tratamiento funcionando.

La cuenca Riachuelo-Matanza en la Provincia de Buenos Aires, con sus 2.240 kilómetros cuadrados y sus tres millones de habitantes, de los cuáles sólo el 45% posee cloacas y el 65% tiene agua potable (1.700.000 personas utilizan pozos negros o cámaras sépticas), es uno de los símbolos nacionales de la polución. Tres mil empresas vuelcan a diario y desde hace años sus residuos tóxicos o no tóxicos, sólidos o líquidos, sin ningún tipo de tratamiento o con tratamiento insuficiente. Las industrias farmacéuticas, químicas y petroquímicas aportan el 30% de la contaminación, la industria de las bebidas alcohólicas y curtiembres el 3%. A estos volcamientos se agregan los afluentes cloacales. En conjunto, recibe a diario 368.000 metros cúbicos de residuos industriales, nada menos que el doble del caudal mínimo promedio del río; esta carga constituye un peligroso aporte que destruye cada gota de agua transformándola en una explosiva gota de contaminación. Los lodos del Riachuelo poseen grandes concentraciones de cromo, cobre, mercurio, zinc y plomo. Las mayores concentraciones de cromo y plomo se encontraron en los límites de los municipios de Avellaneda y Lanús en la Provincia de Buenos Aires.

Hidrocarburos como el benceno, naftaleno, antraceno y tolueno, entre otros, abundan en las aguas y aparecen en sedimentos de los ríos y arroyos cercanos a destilerías e industrias petroquímicas como las que se encuentran en los cursos de agua del área Beriso-Ensenada.

En las zonas urbanas y rurales del noroeste de la Provincia de Buenos Aires, el acuífero Puelche -reconocido como uno de los más grandes del mundo- presenta diferentes niveles de contaminación con nitratos y bacterias coliformes. La sección superior arde de basura tóxica. La descarga es meteórica y el agua puede transportar sustancias asociadas con los pozos ciegos, los basurales y los nitratos residuales. En el partido del conurbano bonaerense, densamente poblado, el agua del

Puelche presenta concentraciones de nitratos hasta tres veces mayores a los límites permitidos. El canal oeste de los municipios Beriso y Ensenada, Provincia de Buenos Aires, languidece. En ningún caso, las plantas depuradoras son suficientes y los tratamientos que debieran efectuar las empresas antes de volcarlos a los cauces son entre deficientes e inexistentes. El conjunto de basuras es letal: metales pesados, compuestos orgánicos e inorgánicos.

Por otro lado, la empresa "Aguas Argentinas" estimó que fluyen 2.300.000 m³ por día de aguas negras sin tratar en el río de la Plata. A ellas, se suman 1.900.000 m³ diarios de descargas industriales del Área Metropolitana de Buenos Aires. En el caso de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, la repercusión principal recae en que las normas de calidad del agua ambiental se exceden constantemente de la franja de los 300 metros continuos a la costa del río de la Plata, impidiendo el uso recreativo (por insalubre) de las playas que antaño fueron tan importantes para sus habitantes.

La mayor parte del agua que consume la población proviene de los mismos cuerpos en los que son evacuados los efluentes cloacales e industriales. Dada la falta de tratamiento de los mismos, la población termina consumiendo agua potable de dudosa calidad o a un alto costo de purificación.

Sin embargo, la contaminación de las aguas subterráneas debe considerarse como el problema de contaminación más importante de la Argentina (Informe sobre La Contaminación ambiental en la Argentina: "Problemas y Opciones del Banco Mundial", Octubre de 1995 más que nada debido a la exposición a los riesgos de salud de una gran parte de los hogares -incluyendo una gran proporción de los de bajo recursos- que dependen del agua subterránea para sus necesidades diarias. El área más crítica es la Metropolitana de Buenos Aires, por la gran cantidad de gente afectada y por la baja cobertura de infraestructura en las municipalidades más apartadas. La principal fuente de contaminación son los tanques sépticos y, en menor medida, las aguas residuales industriales. Las aguas poseen contaminación bacteriológica y salina por nitrato.

Entre los ejemplos que pueden citarse en la Argentina, se destaca el uso del riego complementario en el sector agrícola, explotando los acuíferos Puelche y Pampeano que son fácilmente aseQUIBLES, lo que ocurre un proceso de contaminación difusa de los acuíferos provocada por el abuso de fertilizantes y pesticidas utilizados para aumentar la producción.

La intensificación agropecuaria en los últimos años se manifiesta a través de incrementos en la siembra de cultivos, utilización masiva de agroquímicos, aumentos en la carga animal, prácticas de suplementación, etc. Estos cambios en los sistemas productivos determinan importantes contaminaciones de aguas superficiales y subterráneas, deteriorando la calidad y disminuyendo su disponibilidad para la demanda agropecuaria. La presencia de nitratos es preocupante siendo uno de los principales contaminantes provenientes de estas actividades. A modo de ejemplo, los cultivos con uso masivo de fertilizantes nitrogenados son trigo y maíz.

La contaminación de aguas subterráneas por nitratos, es una contaminación difusa que puede tener origen agrícola urbano o industrial. Se han registrado episodios de contaminación difusa por el drenaje producido por el contacto del agua de lluvia con los fragmentos de mineral u otros residuos producidos por la actividad minera. Si tomamos el ejemplo de Argentina, observaremos que casi toda el agua que consumen, proviene de los mismos cuerpos de agua en los que son evacuados los residuos cloacales e industriales. La concentración de diversos elementos de contaminación (materiales pesados, bacterias, nitratos e hidrocarburos) que se producen en

diferentes lagos, lagunas y ríos de la Argentina, superan largamente las cifras consideradas peligrosas. No es casual que los ríos Paraná, Salado del Norte, Salado del Sur, Carcarañá, de la Plata y Colorado se inscriban entre los más contaminados de la Tierra.

5.4.1. CONTAMINACIÓN DE ORIGEN URBANO

Dos formas de residuos domésticos, generados por la sociedad moderna, amenazan la calidad de las aguas subterráneas: los residuos sólidos urbanos y las aguas residuales urbanas. El vertido directo de las aguas residuales urbanas sobre el terreno, afecta la calidad de las aguas subterráneas con una intensidad que depende del caudal de agua vertido, el grado de tratamiento aplicado previamente y de las características hidrogeológicas y geológicas del lugar de vertido (Figura 23).

La transferencia de organismos patógenos desde las aguas residuales urbanas a las fuentes de abastecimiento de agua potable, constituye una amenaza para la salud pública. Para prevenir la posible contaminación de las aguas subterráneas por organismos patógenos, se debe realizar un proceso de cloración a los efluentes antes de su vertido.

Pozos ciegos domésticos: si consideramos las fuentes de contaminación de aguas subterráneas, los pozos ciegos domésticos presentan mayores riesgos. El grado de contaminación depende de los componentes del suelo, la profundidad con respecto al nivel del agua, el diseño del pozo ciego, y la construcción de instalaciones de absorción de efluentes. Los sistemas de pozos ciegos domésticos son los mayores generadores de nitratos y de contaminación por nitrito de las aguas subterráneas y también pueden aportar cantidades significativas de detergentes y químicos domésticos.

De acuerdo con el “Estudio de los Recursos Hídricos del Sistema Metropolitano Bonaerense (SI-MEB)”, dentro del área de estudio se encuentran extensas zonas que abarcan un alto porcentaje de población que no dispone de los servicios colectivos de abastecimiento y debe satisfacer sus necesidades en forma individual con sus propias perforaciones.

En cuanto a los de recolección y descargas urbanas, se puede observar que los sistemas existentes tienen una cobertura que es aún menor que la abarcada por el abastecimiento. Este aspecto, no sólo está en conflicto con la necesidad de preservar el medio ambiente y los recursos hídricos, sino que se ve particularmente agravado en zonas donde las características del suelo no posibilitan el funcionamiento de pozos absorbentes, por ser su colmatación muy acelerada, o bien donde el mismo inconveniente se produce por la elevada ubicación de la napa freática.



Figura 23. Contaminación por descargas de emisarios domésticos urbanos.

Fuente: elaboración propia

5.4.2. CONTAMINACIÓN DE ORIGEN INDUSTRIAL

Las fuentes de contaminación debido a las industrias son en su mayor parte puntuales, es decir que se encuentran bien localizadas en un área (Figura 24). En algunas ocasiones los efluentes industriales se eliminan mediante pozos, estanques, o lagunas de infiltración que favorece la incorporación del contaminante a las aguas subterráneas.

El tipo de suelo, su capacidad de intercambio de cationes y la acidez de la lluvia, afectan en gran medida la velocidad con que los metales pesados se filtran a través del suelo hacia las aguas subterráneas.

Generan especial preocupación el arsénico, plomo, cadmio y mercurio, debido a la severidad de los efectos sobre la salud y la frecuencia con que se produce este tipo de contaminación de aguas subterráneas, debido a descargas industriales sin tratamiento previo.

De acuerdo con el “Estudio de los Recursos Hídricos del Sistema Metropolitano Bonaerense (SI-MEB)”, se determinó el impacto de la contaminación por rama de actividad, en base a los coeficientes de consumo y descarga de los establecimientos industriales. En dicho trabajo, se calcularon los valores para la Provincia de Buenos Aires, dada la dificultad para manejar información desagregada por rama de actividad, por partido o jurisdicción.



Figura 24. Contaminación por descargas de efluentes industriales.
Fuente: elaboración propia

Del análisis de los valores elaborados, surge que en cuanto al consumo de agua subterránea, las industrias de la rama petroquímica son las preponderantes, pero en cuanto a contaminación, se destacan las industrias alimenticias y las industrias metálicas básicas.

Por encargo de Obras Sanitarias Buenos Aires (OSBA) y el Ministerio de Salud de la Provincia de Buenos Aires, Dames & Moore realizó un estudio sobre generación de residuos durante 1992 que, a través de una muestra, permitió inferir una estimación de la situación en el conurbano respecto de la generación de residuos industriales (Tabla 12). En este estudio se incluyeron fundamentalmente los semisólidos (en general barros industriales y sólidos) ambos medidos en toneladas. Los resultados son los siguientes:

- Residuos líquidos 588.000.000 m³ anuales.
- Residuos semisólidos 656.000 toneladas.
- Residuos sólidos 286.000 toneladas.

Tabla 12. Principales fuentes de contaminación industrial:

TIPOS DE RESIDUO	FUENTE DEL IMPACTO
Residuos líquidos	<ul style="list-style-type: none">• Mataderos, frigoríficos.• Curtiembres.• Acabado de metales, electroplastia.
Residuos sólidos, tóxicos y peligrosos	<ul style="list-style-type: none">• Acabado de metales, electroplastia.• Autopartes de automóviles.• Industria química ligera.

De acuerdo a un estudio realizado por el Consejo Federal de Inversiones, la industria se vale en su casi totalidad de aguas subterráneas provenientes del subacuífero Puelche, seguida en volumen por la proveniente del servicio público.

La industria, con excepción de algunas ubicada en los márgenes del río Paraná y del Río de la Plata, se abastece en todas sus etapas de aguas subterráneas. La elevada concentración en la Capital Federal, Gran Buenos Aires y La Plata ha producido, conjuntamente con la extraordinaria explosión demográfica, una sobreexplotación del recurso.

5.4.3. CONTAMINACIÓN POR RESIDUOS SÓLIDOS (BASURALES A CIELO ABIERTO)

Uno de los aspectos más dramáticos del deterioro de la calidad de vida de una población, es la presencia de basurales a cielo abierto; con toda su carga de contaminantes, enfermedades sociales (desnutrición, enfermedades respiratorias, gastroenteritis, diarreas) y destrucción del paisaje ambiental (Figura 25).

Los residuos sólidos representan, desde el punto de vista sanitario y estético, un problema serio, con basurales a cielo abierto e áreas suburbanas y rurales, y disposición inadecuada en la vía pública en áreas de uso urbano. Como consecuencia de esto se produce una contaminación de los acuíferos subterráneos por medio de la infiltración de los líquidos a través de los residuos. Esta situación se ve reflejada en los índices de morbi-mortalidad por enfermedades transmisibles por el agua. Es de destacar, como factor adicional de preocupación, la irreversibilidad de esta contaminación.

De acuerdo a datos relevados por el CEAMSE en el año 1994, existirían aproximadamente un centenar de basurales a cielo abierto en el conurbano bonaerense. La superficie afectada sería superior a las 400 ha. con un volumen aproximado de basura expuesta de origen domiciliario e industrial equivalente a 1.200.00 toneladas.

En informes ad hoc del CEAMSE, Departamento de Servicios, se expone que estos basurales contribuyen a:

- El deterioro de la calidad de vida de los asentamientos poblacionales ubicados en las inmediaciones de los basurales y pérdida del valor económico de las propiedades.
- La degradación de la calidad de los acuíferos subterráneos, como resultado de la infiltración de los líquidos que percolan a través de los residuos.
- El deterioro de la napa freática, el Acuífero Pampeano contaminado y el Puelche en riesgo de estarlo en breve.
- La contaminación de la atmósfera.
- La proliferación de insectos y roedores, transmisores de enfermedades.

De acuerdo al CEAMSE los basurales clandestinos detectados por partido, ascendía en 1992 a 2.383.000 m³.



Figura 25. Contaminación de los cuerpos de agua por residuos sólidos y otros desechos.

5.4.4. CONTAMINACIÓN POR ACTIVIDADES AGRÍCOLAS

La intensificación de las actividades agropecuarias se traduce en un incremento del uso de agua para riego, en el desecamiento de humedales para uso agrícola, en la cría de animales estabulados o a corral, y en el uso creciente de agro-químicos (Figura 26). La cría de un número elevado de animales por hectárea, produce una cantidad elevada de nutrientes que se traducirán en nitratos en aguas subterráneas y superficiales.

A pesar de que el agua se ha convertido en un recurso escaso, en muchos lugares su uso es altamente ineficiente. Debido al uso irracional, hasta un 60 % del agua destinada a riego en ciertas áreas, no se incorpora a los cultivos, además de causar salinización del suelo. La calidad de agua superficial se deteriora debido a la contaminación industrial y urbana, así como por los residuos químicos provenientes de la agricultura.

Se observa un fuerte incremento de la productividad, que se ha traducido en una baja constante de los precios agrícolas. Pero este aumento de productividad también ha convertido a las actividades agrícolas en una fuente no puntual de contaminación del agua, más difícil de controlar que las fuentes puntuales, como los efluentes domésticos y los industriales.

El agua subterránea es la que se emplea preferentemente para riego en el área metropolitana de la Argentina. En esta zona existe un uso excesivo de fertilizantes y pesticidas cuyo control no se verifica.



Figura 26. Aplicación de plaguicidas en actividades agrícolas.

Fuente: Secretaría de Turismo

El uso de pesticidas se ha incrementó notablemente en las últimas décadas. Estos componentes, de estructura variada, son en general, compuestos orgánicos persistentes y bioacumulables.

Los pesticidas se pueden clasificar en:

- **Organoclorados**, altamente tóxicos y persistentes en el suelo y los vegetales.
- **Organofosforados**, también tóxicos, pero con alta movilidad y baja persistencia.
- **Carbamatos**, cuyo comportamiento es similar al de los organofosforados.

Los organoclorados se caracterizan por un alto efecto residual (persistencia) y por su baja solubilidad y movilidad, siendo los más conocidos: DDT, Aldrin, Dieldrin, Heptocloro y Lindano; los organofosforados son muchos más solubles y móviles que los organoclorados, pero mucho menos persistentes, siendo los más utilizados: Malation, Paration, Fention y Dimetoato y los carbamatos se comportan de manera similar a los organofosforados, tanto en movilidad como en persistencia, siendo el más empleado el Carbaryl.

Desde hace algunos años, la incorporación de siembra directa, junto a la disminución de los costos de los productos, ha permitido la utilización de pesticidas en los sistemas agrícolas intensivos y en las pasturas de alto rendimiento. Las vías de contaminación más frecuentes son las difusas, que derivan de aplicaciones no controladas de agroquímicos, y las puntuales, generalmente originadas por derrames cerca de pozos ciegos en uso o abandonados. La utilización de organoclorados en la región, data de 1960, estando en retroceso a partir del control sobre la aplicación de DDT desde 1978/79.

Los organofosforados, que se caracterizan por su alta toxicidad en el momento de la aplicación, están difundidos ampliamente desde 1969. Los productos más utilizados en la periferia del área metropolitana son: el etil-Paration, metil-Paration y Malation. Son en general poco persistentes, de rápida degradación pero muy solubles, por lo cual sus efectos son de índole local y limitados a capa freática.

El incremento en el uso de abonos en millones de toneladas en el mundo pasó de 31,2 en el año 1961 a 140 en 2000. El promedio anual de uso de fertilizantes (kg por hectárea sembrada) en los países desarrollados, disminuyó de 188 kg a 136 kg comparando los períodos 1985-87 y 1995-97 (World Resources Institute). Por el contrario, en los países en desarrollo se observó un incremento en la utilización de estos productos de 64 kg a 96 kg, teniendo en cuenta los mismos períodos. Entre los países latinoamericanos, Argentina es el país que presenta el mayor número de hectáreas sembradas por 1000 habitantes. Esta superficie disminuyó en el período comprendido entre 1987 y 1997, manteniéndose constante la superficie bajo riego, pero con un incremento de casi cinco veces en el uso de fertilizantes. Sólo en tres países de la región se ha registrado una disminución en el uso de estos compuestos. Los abonos nitrogenados constituyen una fuente no puntual de contaminación y, junto con las excretas, producto de la cría intensiva de ganado, producen acumulación de nitratos en el agua.

Un exceso de ion nitrato en agua de consumo, es un peligro potencial para la salud puesto que puede dar lugar a metenoglobinemia en bebés recién nacidos, así como también en adultos con deficiencias enzimáticas.

RECUADRO VII

ASPECTOS RELEVANTES DE LA CONTAMINACIÓN ACUÁTICA EN ARGENTINA EL PROBLEMA DEL ARSÉNICO

Las aguas subterráneas presentan contaminantes naturales, como el arsénico, en concentraciones iniciales varios cientos de veces superiores a los máximos sugeridos. Por otro lado, se carece de tecnologías de tratamiento que permitan disminuir los tenores a costos razonables, sin contar con la dificultad que implica acceder a métodos de análisis que permitan detectar niveles de contaminantes naturales tan bajos.

Actualmente, en la Argentina el límite de arsénico permitido es de 50 mg./l en aguas de bebida, similar a las normas establecidas por la US Public Health Service, por lo que la utilización de los recursos hídricos subterráneos para consumo humano en el país se ve ya seriamente comprometida. Pero si se redujera el límite actual, tal como propone la EPA, a 10 mg./l, las posibilidades de consumo de agua subterránea serían nulas si no tienen un previo tratamiento.

De modo que, en poblaciones rurales, pequeñas localidades urbanas, complejos habitacionales y clubes de campo, en donde el único medio de provisión es el agua subterránea, debería considerarse la aplicación de técnicas de remoción de arsénico al más bajo costo posible, así como de otros contaminantes que pueden estar presentes en el agua, tales como nitratos, productos orgánicos, sustancias hidrocarbурadas o metales pesados.

En Argentina, la mayor parte del agua extraída del subsuelo proviene de sedimentos finos, de origen eólico, productos de la orogenia andina, ricos en vidrio volcánico (vitroclastos) y responsables de los elevados contenidos de arsénico, flúor y vanadio entre otros elementos, en las aguas superficiales y subterráneas.

El arsénico en las aguas subterráneas está presente en gran parte de las provincias de Córdoba, Santa Fe, Santiago del Estero, Chaco, Buenos Aires, noreste de La Pampa y sectores de Río Negro, San Luis, Mendoza, San Juan, La Rioja, Catamarca, Tucumán, Jujuy y Salta, coincidiendo con el área de distribución de los depósitos eólicos mencionados. Es posible

asegurar además que, mientras en el sur del país, el Cuaternario se caracterizó por procesos de glaciación y deglaciación con imposición de ciclos fluviales, en la región central y norte fueron períodos de extrema aridez, en donde los ciclos eólicos tuvieron mayor expresión.

Las máximas concentraciones de arsénico natural se encuentran en Bell Ville (Córdoba), con 2.800 mg./l y en San Antonio de los Cobres (Salta), con más de 100 mg./l y, en menor medida, en la cuenca del Río Tercero en Córdoba y norte de la provincia de Santa Fe, aunque en cualquier caso superan la norma de 50 mg./l.

El arsénico tiene la particularidad de acumularse en el organismo humano, por lo que su ingesta aumenta el contenido en el organismo con los años y las patologías asociadas son cada vez más severas. En este caso, el estado sanitario de la población expuesta es muy importante ya que la tolerancia es variable para las mismas dosis ingeridas.

Las patologías producto de la ingesta de arsénico han sido suficientemente caracterizadas por numerosos trabajos de especialistas. Sin embargo, en Argentina no hay estadísticas reales acerca de índices de mortalidad por enfermedades de origen hídrico, ya que las patologías asociadas bien podrían tener otro diagnóstico debido a que los decesos no se producen de modo traumático, pero, sin dudas, las cifras resultantes serían más que alarmantes si se pudiesen establecer con criterio y rigor científico.

De hecho, en Argentina, hay una amplia franja poblacional susceptible a las enfermedades de origen hídrico y, en el caso de arsenicismo, individuos con deficiencias en vitamina C o con algún grado de desnutrición, son los blancos preferidos, por lo que esta enfermedad constituye una patología de carácter social. El HACRE es una endemia regional generada por un agente del medio natural no controlado por el estado, el que de hecho debería proteger a su población. Si bien las enfermedades asociadas se conocen desde hace más de 30 años, nunca se han afectado fondos oficiales nacionales para la adopción de políticas paliativas. Si se conocen unos pocos ejemplos de emprendimientos municipales y privados en las provincias de Buenos Aires y Santa Fe.

La contaminación con arsénico no es necesariamente de origen natural, sino que puede ser provocada por las actividades humanas. Se han detectado casos de muerte de familias enteras por envenenamiento debido a la infiltración hacia los acuíferos de productos arsenicales orgánicos solubilizados, intensamente utilizados como agroquímicos en cultivos de cítricos e ingeridos con agua de pozo, en la zona agrícola del valle del río San Francisco, cercana a San Pedro de Jujuy en la provincia del mismo nombre. En otros casos, las actividades industriales y mineras también se constituyen en focos de contaminación a poblaciones expuestas.

Respecto de los métodos de eliminación, se menciona la mezcla de aguas subterráneas. Estudios realizados sobre los acuíferos Puelche e Hipopuelche en el gran Buenos Aires, permitieron una reducción del 29,7% de nitratos y 27,3% de arsénico, para una mezcla de aguas del 75% del Puelche y 25% del Hipopuelche. Este método sería ampliamente aplicable en aquellos lugares en donde el Hipopuelche tenga el menor contenido salino posible (del orden de 3.000 ppm).

Otro método para remoción de arsénico es por ósmosis inversa, no aconsejable en zo-

nas áridas o donde el agua es escasa, debido a la cantidad de aguas de desecho que origina este tratamiento (entre el 20 y 40% se pierde como residuo).

Lo más aconsejable sería la instalación de pequeñas plantas de tratamiento para reducir el contenido de arsénico mediante coagulación, decantación, filtración y ajuste de pH. En el proceso de coagulación tienen lugar fenómenos de adsorción del arsénico por el coagulante y los flóculos son posteriormente decantados.

Otro método, con buenos resultados, consiste en el empleo de sales solubles de hierro asociadas con aluminio (sulfato férrico y alumbre) para la eliminación de formas solubles de arsénico: ion arsenito y arseniato, aprovechando procesos de coprecipitación y efectos de superficie. La precipitación con sulfuros, de naturaleza algo más complicada, es igualmente un método muy difundido.

En fin, existen diferentes soluciones, pero deben ajustarse al tamaño y características de cada localidad, a las condiciones geográficas del lugar, al estado sanitario de la población y a las concentraciones de contaminantes presentes en las aguas de provisión. Los volúmenes a tratar están en relación directa con la cantidad de habitantes a servir y sólo sería destinada para consumo humano.

En los últimos años se produjo una verdadera fiebre en la construcción de barrios cerrados, clubes de campo y complejos habitacionales. En estos casos, la provisión de agua potable reconoce dos alternativas: individual, mediante perforaciones de pequeño a mediano caudal en cada propiedad, o bien centralizada en una única captación de gran caudal, para posterior distribución por red. En zonas con tenores arsenicales por encima de la norma, se debería propiciar la variante de pozo único con tratamiento “ad hoc” para disminución o bien remoción total de arsénico, previamente a su distribución por red, por lo que el conocimiento de la composición química de las aguas subterráneas zonales como paso previo a cualquier otra etapa de un proyecto, debería ser en el futuro una fase inicial impostergable.

La contaminación del agua subterránea es el resultado de la infiltración de contaminantes en el sistema acuífero. Es frecuente que esto ocurra como consecuencia de descargas de efluentes descontroladas en el subsuelo. Según las características geológicas del mismo y su permeabilidad, varía su capacidad de atenuar determinados contaminantes. El proceso de filtración de contaminantes es lento, y el impacto contaminante puede llevar años en manifestarse, dado que la descontaminación completa es muy problemática.

Una vez incorporado el agente contaminante al flujo subterráneo, resulta sumamente costoso conocer su movimiento, evolución y cómo detenerlo antes que llegue a los pozos y sondeos de explotación.

El deterioro o ausencia de infraestructura sanitaria es una de las más sensibles carencias del país. Ese proceso de contaminación puede darse por fuentes puntuales o por fuentes dispersa, según la concentración o dispersión del vertido de los contaminantes.

RECUADRO VIII

EL CASO DEL RÍO RECONQUISTA (Figura 27)



Figura 27. Río Reconquista

Fuente: Elaboración propia

El río Reconquista tiene su nacimiento en la confluencia de los Arroyos La Choza y Durazno en el partido de General Rodríguez. Poco después se suma a éstos el arroyo La Horqueta, último tributario aguas arriba de la presa Ingeniero Roggero, la obra hidráulica de mayor significación, reguladora del cauce principal, fue puesta en funcionamiento a comienzo de los años setenta. Ya en tránsito hacia el este, constituye el límite natural entre el partido de Merlo y Moreno, distrito de donde recibe el aporte del arroyo Las Catonas por su margen izquierda.

Desde aquí, el curso cambia su dirección hacia el noreste y en las inmediaciones de Campo de Mayo recibe la afluencia del arroyo Morón por la margen derecha, punto desde donde se dirige definitivamente hacia el norte. Al internarse en las terrazas bajas del valle del río Luján, al que afluye luego de recorrer 50 Km, su cauce se bifurca en dos cursos naturales, el río Tigre y el llamado Reconquista Chico y a través de ellos y un tercer canal artificial, denominado canal Aliviador (conocido como Cancha Nacional de Remo), une sus aguas a las del río Luján que, a su vez, desemboca tras pocos kilómetros en el Río de la Plata.

La cuenca del río Reconquista tiene una superficie de 167.000 hectáreas. En la llanura alta de la cuenca, 72.000 hectáreas son utilizadas para actividades agropecuarias. En la llanura media y en la baja, 95.000 hectáreas están urbanizadas, con alta densidad de población y asentamientos de población consolidados aún en zonas inundables. Está ubicada en la zona Noroeste de la Región Metropolitana del Gran Buenos Aires y sus límites son la cuenca del Río Luján (al Noroeste), la cuenca Matanza-Riachuelo (al Sudoeste), los arroyos entubados de la Capital Federal (al Este) y la desembocadura del Río de la Plata (al Noroeste). Ocupa los

siguientes partidos: Ituzaingo (100%), Hurlingham (100%), San Miguel (100%), Moreno (91%), Luján (19%), Gral. Rodríguez (81%), Tigre (15%), Gral. Las Heras (39%), Merlo (59%), Tres de Febrero (63%), Gral. San Martín (70%), San Isidro (73%), Vicente López (10%), Marcos Paz (29%), José C. Paz (4%), Malvinas Argentinas (4%), y Morón (6%).

El total de población de la cuenca, según datos del censo de 1991, es de 3.400.000 habitantes, lo que representa el 10,4% de la población total del país (32,6 millones de habitantes) y un 31,5% de la población de la Capital Federal y su región metropolitana (10,8 millones de habitantes)

A raíz de los desechos industriales y cloacales que se arrojan sin control a lo largo de su recorrido, el Reconquista es uno de ríos con mayor nivel de polución del conurbano bonaerense. A su vez, los pobladores de esta zona utilizan el agua del río para su consumo cotidiano. El Delta es además una de las zonas naturales elegidas por turistas y visitantes de fines de semana, por ser considerada una verdadera reserva natural, un ecosistema único por sus características de humedal.

Los aspectos ambientales críticos son:

Inundaciones

Generada por sudestadas con afectación a los sectores de bajos recursos que se asientan en las márgenes del río y con viviendas precarias.

Contaminación

Se origina por la variedad de actividades y uso del suelo en las distintas partes de la cuenca, en descargas domésticas e industriales, en la exposición de residuos sólidos y semi sólidos.

La contaminación se complica por la acción combinada de las inundaciones y la dispersión de la contaminación. La parte superior de la cuenca presenta áreas naturales con valor ecológico, estético y recreativo medianamente degradadas como en la zona de Cascallares en Moreno/Merlo. Los tramos medio e inferior poseen escasas áreas naturales y el Canal Aliviador es usado como Pista Nacional de Remo. La contaminación es asimétrica, siendo más elevada sobre la margen derecha por un mayor desarrollo urbano e industrial.

Descargas domésticas

En el área hay sistemas troncales (cloacas máximas) que descargan al Río de la Plata. Sin embargo un cierto número de núcleos habitacionales descargan en la cuenca. También existen descargas a cámaras sépticas o pozos absorbentes que son servidos por camiones atmosféricos que pueden llegar a ser volcados indiscriminadamente en ríos y conductos pluviales.

Descargas industriales

Los problemas industriales más importantes que se producen en Merlo se originan en la matanza de ganado y conservación de la carne; en Moreno, la industria farmacéutica y matanza de ganado; en Morón, curtiembre, fabricación de derivados de caucho y meta-lúrgicos; en San Fernando, originado en mataderos y fábricas de cubiertas; en los restantes, tanto la actividad industrial como la contaminación, es diversificada, Según un estu-

dio realizado por AGOSBA en 1991, las industrias de los 9 partidos de mayor incidencia con contaminantes producían una carga equivalente al nivel de población de toda la cuenca en dicha fecha. Otro estudio realizado por el Ministerio de Obras y Servicios Públicos indicó que el 92,4% de la carga conjunta promedio estaría distribuido de la siguiente manera: Industria de la carne (49%); Industria del cuero (16%); Industria lácteos (15%); Industria textil (13%).

Residuos sólidos y semi-sólidos

La contaminación por residuos sólidos y semi-sólidos se produce por el vuelco clandestino de residuos en basurales, o su descarga al río. También se detectaron vuelcos de barros provenientes de pozos sépticos en baldíos, conductos pluviales e incluso en la calle. Las descargas industriales de barros de procesos, cenizas, vísceras animales, grasas, etc., aumentan la turbidez y los sólidos en suspensión. Se dificulta la difusión del oxígeno de la atmósfera en el agua, impidiendo los mecanismos de auto depuración.

Servicios de Saneamiento

Existe una marcada carencia de infraestructura de saneamiento básico, bajo cobertura de servicios de agua potable y cloacas.

Saneamiento Ambiental y control de la inundaciones de la Cuenca del río Reconquista

La Provincia de Buenos Aires a través de la Unidad de Coordinación del Proyecto Río Reconquista (UNIREC), está desarrollando un proyecto de saneamiento a través de la creación de una conciencia generalizada de nuestra responsabilidad sobre nuestra calidad de vida, está involucrada la totalidad de la población de la cuenca, (municipios del área, sus industrias, comercios, instituciones sanitarias y educacionales y empresas de servicio) para actuar en el programa. El objetivo del programa de Saneamiento es mejorar las condiciones de calidad de vida ambientales y de salubridad colectiva del sector de la población urbana del Gran Buenos Aires.

En la órbita del Ministerio de Obras y Servicios Públicos se creó la Unidad de Coordinación del Proyecto río Reconquista, ente autárquico creado para llevar a cabo el Proyecto de Saneamiento Ambiental y Control de las inundaciones en la Cuenca del río Reconquista. Está conformada como un equipo multidisciplinario y se trabajó en estrecha colaboración con organismos y dependencias de la Provincia de Buenos Aires.

COMPETENCIAS PARA EL PROFESOR

COMPETENCIA GENERAL:

Reconocer características de los recursos hídricos en Argentina y determinar su estado actual.

SUBCOMPETENCIAS

- a) **Reconocer** la disponibilidad de los recursos hídricos, asociadas a las características geográficas y al nivel de utilización en la Argentina.
- b) **Identificar** el carácter heterogéneo de la disponibilidad y distribución del agua, tanto a nivel local como nacional.
- c) **Reconocer los diferentes** usos del recurso hídrico (agua potable, agrícola, industrial, recreacional, energético) y sus impactos provocados sobre la calidad del agua.

PARTE VI
MARCO JURÍDICO INSTITUCIONAL

6. MARCO JURÍDICO INSTITUCIONAL

6.1. ASPECTOS INSTITUCIONALES RELACIONADOS CON LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

6.1.1. ORGANISMOS ÍTERJURISDICCIONALES

Argentina comparte recursos hídricos de diversas cuencas internacionales, entre las cuales la de mayor significación desde todo punto de vista es la Cuenca del Plata. La preocupación que genera su condición de país de aguas bajo, ha motivado la estructuración de distintos tipos de organizaciones íter jurisdiccionales de carácter internacional con intervención de representaciones de la Nación y de países vecinos (Bolivia, Paraguay, Brasil, Uruguay), según el río que se comparta.

Por otra parte, dado que el 90% de las aguas dulces del país son interprovinciales o sirven de límite entre una provincia y un territorio federal, las tareas de planificación, uso y administración del recurso deben necesariamente ser compartidas entre las autoridades de las partes involucradas. Ello determinó el funcionamiento de instituciones similares a las mencionadas antes con intervención de la Nación y de las jurisdicciones provinciales.

Se han relevado organismos de carácter internacional de diversa índole coordinado con la de acciones de cuenca (Comité Intergubernamental Coordinador de la Cuenca del Plata), con la administración de tramos internacionales de río (Comisión Administradora del Río de la Plata, Comisión Administradora del Río Uruguay), con el diseño, construcción, operación y mantenimiento de grandes aprovechamientos hidráulicos binacionales (Entidad Binacional Yacretá, Comisión Técnica mixta Argentino-Paraguaya del río Paraná) o con tareas de inventario y planificación (Comisión de Integración Física Argentino-Chilena).

Otro organismo interjurisdiccional es el Ente Tripartito de Obras y Servicios Sanitarios (Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos de la Nación, El Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires y La Provincia de Buenos Aires). También cabe citar la Comisión que atiende las cuestiones vinculadas con el río Pilcomayo, la cual está compuesta por un Director de Proyecto designado por la Secretaría de Obras Públicas y Comunicaciones de la Nación y un Director Alterno, a propuesta de la Provincia de Formosa.

6.1.2. ORGANISMOS NACIONALES.

El Artículo N° 124 de la Constitución Argentina (texto reformado en 1994), dispone que le corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio. Ello implica que las mismas son propietarias de sus recursos hídricos. Al Estado Nacional, por su parte, según el Artículo N° 75 Inciso 10 del mismo aquel texto legal, le cabe reglamentar la libre navegación de los ríos interiores y, según el inciso N° 18 del mismo artículo, proveer lo conducente a la prosperidad del país promoviendo, entre otras actitudes, la construcción de canales navegables y la explotación de los ríos interiores. Estas últimas atribuciones son concurrentes con los estados provinciales (Artículo N° 125).

En dicha reforma constitucional se agregó un nuevo artículo, el N° 41, que en su párrafo tercero expresa: "Corresponde a la Nación declarar las normas que contengan los presupuestos mínimos

de protección ambiental y las provincias necesarias para complementarlas, sin que aquellas alteren las jurisdicciones locales”. Además del cometido precedente, los organismos específicos de la Nación deberían orientar su accionar a funciones tales como: a) coordinación interjurisdiccional, b) promoción de las capacidades técnicas, operativas e institucionales propias del país, c) orientación de la cooperación técnica y financiera nacional e internacional y d) sustento nacional a los programas provisionales de aprovechamiento y preservación de sus recursos hídricos propios.

Un primer relevamiento institucional realizado a nivel nacional, permite describir la situación actual en cuanto a misiones y funciones asignadas a los diferentes organismos que tienen injerencia, con diversos grados de participación, en la gestión de los recursos hídricos.

Con injerencia en la temática hay dos organismos que dependen de la Presidencia de la Nación: i) la Secretaría de Recursos Naturales y ii) Ambiente Humano y la Secretaría de Ciencias y Tecnologías.

A la primera le compete: a) asistir en las acciones de fomento, protección, recuperación y control del medio ambiente y la conservación de los recursos naturales renovables y b) asumir el ejercicio del poder de política para el control de la contaminación hídrica en su jurisdicción. De ella depende el Instituto Nacional de Ciencias y Técnica Hídrica. Cuenta con la Subsecretaría de Ambiente Humano la que tiene por misión asistir en la fijación de normas técnicas para la preservación, cuidado, control y recuperación del medio ambiente; y de ella depende la Dirección Nacional de Control de la Contaminación que es la encargada tanto de ejercer el poder de política en materia de control de la contaminación hídrica, en lo que hace a la calidad de las aguas naturales, superficiales y subterráneas y de todo tipo de vertidos de establecimientos industriales y especiales, incluidos los peligrosos, arrojados directa o indirectamente al recurso hídrico, como de ejecutar toda norma cuyo objeto específico sea el control de la contaminación hídrica.

En cuanto a la Secretaría de Ciencias y Tecnologías, le corresponde tanto entender la formación de políticas referidas al desarrollo de las ciencias, la tecnología y la informática, a fin de posibilitar su máxima utilización como instrumento para el aumento de la calidad de vida para la población; como así también, impulsar el desarrollo Nacional y promover la investigación, aplicación, financiamiento y transferencia de la ciencia y la tecnología. De ella depende la subsecretaría de Política y Planificación, a la cual le compete la elaboración de propuestas y objetivos. Esta secretaría depende del Consejo Nacional de Ciencias y Técnicas, del cual depende: el Centro de Investigación Biometeorológicas, el Instituto Argentino de Novología y Glaciología, el Instituto Argentino de Investigación de Zonas Áridas, el Centro de Recursos Naturales Renovable de la Zona Semiárida, el Instituto de Limnología “Dr. Raúl Ringuelet” y el Instituto Nacional de Limnología.

El área que reúne la mayor parte de la gestión del Sector es el Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos, al que le compete: a) entender el relevamiento, conservación, recuperación, defensa y desarrollo de los recursos naturales en el área de su competencia; b) entender en la construcción, administración y presentación de los servicios de Obras Sanitarias en jurisdicción nacional; c) entender en la elaboración y en la ejecución de la política energética nacional; d) entender en la adopción de medidas para la defensa de las aguas y anegamientos y zonas inundables e insalubres; e) entender en los planes nacionales de riego; f) entender en la elaboración y ejecución de la política hídrica nacional; g) entender en el régimen de utilización de los recursos hídricos de usos múltiples acorde con la política hídrica nacional; h) intervenir en lo referente a los usos y efectos de las aguas provinciales y municipales sobre la jurisdicción federal y i) entender en todo lo relacio-

nado con la administración y fiscalización con las vías navegables e intervenir en la compatibilización de la navegabilidad de los cursos de agua con sus aprovechamientos como fuente de energía.

De este Ministerio dependen las Secretarías de: Obras Públicas y Comunicaciones, Energía, Agricultura, Ganadería y Pesca y Transportes. A la Secretaría de Obras Públicas y Comunicaciones, según el Decreto N° 1492/94 le compete: a) formular la política nacional en materias de obras públicas y recursos hídricos, promover el marco regulatorio destinado a facilitar ejecución y b) aplicar los marcos regulatorios correspondientes, fiscalizando su acatamiento por parte de los entes públicos y privados que intervengan en la ejecución de las políticas en materia de obras públicas y recursos hídricos, respectivamente. Con ella están vinculados funcionalmente: el Ente Tripartito de Obras y Servicios Sanitarios, el Consejo Federal de Agua Potable y saneamiento y la Comisión regional de Río Bermejo (Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos y las provincias de Formosa, Chaco, Jujuy, Salta, Santa Fe y Santiago del Estero).

De esta Secretaría depende la Subsecretaría de Recursos Hídricos, organismo recreado por el Decreto N° 1492/94, a la que le compete: a) coordinar la ejecución y planificación de la política hídrica nacional y la elaboración de marco regulatorio correspondiente; b) asesorar en la planificación de la política exterior de la Nación en materia de los recursos hídricos internacionales compartidos, así como también de las políticas tarifarias y de concesiones que se efectúan para el aprovechamiento y preservación de los recursos hídricos y prestación de servicios de agua potable y tratamientos cloacales; d) asistir en la promoción, impulso y administración de programas de abastecimiento de agua potable, evacuación de excretas y otros servicios complementarios, para el desarrollo y mejoramiento de la calidad de vida de la población; e) asistir en la gestión y obtención de cooperación técnica y financiera internacional para el cumplimiento de los objetivos y políticas en materia hídrica; f) asistir en el control de funcionamiento de los sistemas de preparación de servicios de agua potable, evacuación de excretas y otros servicios complementarios y g) coordinar las investigaciones científicas y tecnológicas para su posterior instrumentación, si fuere el caso, atendiendo a los requerimientos de las distintas provincias y/o regiones.

De esta Subsecretaría depende la Dirección nacional de Recursos Hídricos, la cual tiene a su cargo tanto la elaboración, planificación y ejecución de la política hídrica nacional, supervisando su cumplimiento y coordinando los planes, programas y proyectos vinculados a los recursos hídricos, como así también la definición del marco regulatorio del Sector Hídrico, a fin de lograr el más racional aprovechamiento, uso y preservación del recurso.

A la Secretaría de Energía, según el decreto N° 1500/93, le compete definir la política sectorial en materia de provisión de energía de los nuevos operadores al interés general. De la misma depende la Subsecretaría de Energía Eléctrica, a la que le compete: a) evaluar los recursos naturales posibles para su aprovechamiento energético y b) desarrollar la normativa específica en los campos tecnológicos y ambientales en relación con los aprovechamientos energéticos.

En cuanto a la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, según el Decreto N° 2773/92, cabe mencionar que le compete promover la utilización y conservación de los recursos naturales destinados a la producción agrícola, ganadera, forestal y pesquera, a fin de acrecentar el capital productivo del país y del desarrollo económico de dicho sector. De esta Secretaría depende el Instituto Nacional de Tecnológico y Ambiental, en relación con los aprovechamientos energéticos.

La Secretaría de Minería tiene la responsabilidad de ejercer en materia de aguas subterráneas. Además, cuenta con la Subsecretaría de Minería, a la que le compete entender, organizar y coordinar los estudios referentes a los riesgos sobre inundaciones, entre otros, y tiene a su cargo la relación de mapas hidrogeológicos de nuestro país.

La Secretaría de Programación Económica, a través de la Dirección Nacional de Inversión Pública y Financiera de Proyectos, administra proyectos de prevención e inversión, entre otros fines. Por último, cabe mencionar que a la Secretaría de Transportes, según el Decreto N° 1315/93, le compete asegurar el funcionamiento de un sistema integrado de transporte interno-internacional, coordinando sus acciones y elaboración de medidas que permitan el desarrollo del modo fluvial, en condiciones de máxima eficiencia. Una de sus áreas, la Subsecretaría de Puerto y Vías Navegables, es la que tiene competencia en: a) efectuar la propuesta, ejecución y control de políticas y planes de vías navegables y b) elaborar y proponer políticas de desregulación, privatización y/o concesión de vías navegables, constituyendo su área la Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías navegables.

Todo lo relativo a la gestión del sector en materia de recursos hídricos compartidos con otros países, le cabe al Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto, al cual le competen: a) entender en la elaboración de tratados, pactos, convenios, protocolos, acuerdos, arreglos o cualquier otro instrumento de naturaleza internacional, en todas las etapas de la negociación, aprobación, adhesión o acceso y b) entender, desde el punto de vista de la política exterior, en la negociación de la cooperación internacional de los ámbitos científicos, técnicos, tecnológicos y jurídicos, en coordinación con el organismo nacional de enlace.

Una de las áreas de la temática, es la Secretaría de Relaciones Exteriores y Asuntos Latinoamericanos, a la cual le compete conducir la política exterior con todos los países y coordinar su armonización sobre la base de criterios funcionales y geográficos. Cuenta con la Subsecretaría de Política Latinoamericana, la que tiene a su cargo: a) identificar y planificar las acciones y las políticas necesarias para instrumentar la integración entre los países del área y b) realizar y coordinar los planes y programas a profundizar el desarrollo de integración con los países latinoamericanos.

Con la Secretaría de Relaciones de Exteriores y asuntos Latinoamericanos tienen relación el Comité Intergubernamental coordinador de la Cuenca del Plata, la Comisión Administradora del Río Uruguay y la Comisión de Integración Física Argentino-Chilena. Es, a su vez, el área de la Cancillería que se relaciona con la Entidad Binacional Yacyretá, la Comisión Mixta de Salto Grande y la Comisión Mixta Argentino-Paraguaya del río Paraná.

El Ministerio del Interior es otra de las áreas del Gobierno Nacional que tiene actuación en la gestión del sector, por tener competencia para: a) entender en la coordinación de las acciones tendientes a solucionar situaciones extraordinarias o emergencias que se produzcan en territorio de la nación y b) entender en el régimen jurídico de las aguas de los ríos interprovinciales y afluentes. Cuenta por un lado con la Secretaría de Asuntos Institucionales a través de la cual interviene en el Comité Inter. Jurisdiccional del río Colorado (en conjunto con las provincias de Mendoza, Neuquén, Río Negro, La Pampa y Buenos Aires), la autoridad interjurisdiccional de las cuencas de los ríos Limay, Neuquén, Negro (en conjunto con las provincias de Río Negro, Neuquén, Buenos Aires) y el Ente Ejecutivo Presa Embalse "Casa de Piedra" (en conjunto con las provincias de Río Negro, La Pampa y Buenos Aires).

Otra área de este Ministerio con injerencia en la gestión del sector, es la Secretaría de Asistencia Para la Reforma Económica Nacional, a la cual le compete gestionar la asignación de fondos con destino a las provincias, provenientes de los organismos multilaterales de crédito, organismos no gubernamentales y fuentes de financiamiento bilateral, además de administrarlos y coordinar su ejecución. De ella depende la sub-unidad central de coordinación para la Emergencia, a la que le compete ejecutar el Programa de Rehabilitación para las Emergencias de las Inundaciones (PREI), para asistir estas siete provincias: Buenos Aires, Corrientes, Chaco, Entre Ríos, Formosa, Misiones y Santa Fe.

Al Ministerio de Salud y Acción Social, le compete: a) intervenir en los aspectos relacionados con el abastecimiento de agua potable, deposición de líquidos potables y todo otro servicio sanitario en el aspecto de su competencia y b) entender en la elaboración de los planes de las campañas sanitarias destinadas a lograr la erradicación de enfermedades endémicas. En este área, es a la Secretaría de Salud a la que le corresponde la función de responder con celeridad y eficiencia ante cualquier situación de emergencia sanitaria, la cual cuenta con la Subsecretaría de salud Comunitaria, que tiene competencia para entender la prevención y control de las enfermedades de origen hídrico (Cólera). Su brazo ejecutor es la Dirección Nacional de Medicina Sanitaria, con competencia para regular, ejecutar, evaluar, y fiscalizar las actividades tendientes al control de patologías transmitidas por vectores y patologías prevalentes como causales de mortalidad e incapacidad.

Por último, cabe citar que también el Ministerio de Defensa tiene vinculación con la temática a la cual nos estamos refiriendo, ya que le compete entender en la dirección técnica de las actividades vinculadas con la navegación por agua y aire en cuanto sean de su jurisdicción, dentro de las cuales se integran el Servicio Meteorológico Nacional, dependiente de la Fuerza Aérea Argentina y el Servicio de Hidrografía Naval, dependiente de la Armada Nacional Argentina.

6.1.3. CAPITAL FEDERAL.

La mayor parte de las actividades con injerencia en la gestión del sector están, en esta jurisdicción a cargo de la Municipalidad de la Ciudad de Buenos Aires a través de la Dirección General de Hidráulica dependiente de la Secretaría de Producción de Servicios. Este área tiene competencia para:

- a) formular el plan maestro de ordenamiento hidráulico, planteando acciones a corto, mediano y largo plazo.
- b) planificar, proyectar, administrar y controlar las obras de protección y saneamiento integral de las cuencas hídricas y de los servicios de mantenimiento del sistema pluvial.
- c) ejercer el poder de policía, de regulación y de control de los desagües pluviales dentro de los límites de su jurisdicción.

6.1.4. ORGANISMOS PROVINCIALES.

La condición federal de la República Argentina, hace que diversas acciones de gestión de los recursos hídricos se realice por los organismos que pertenecen a los Estados Provinciales.

RECUADRO IX
SISTEMA DE INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

Como en la mayoría de los países de América Latina, en la República Argentina no existe un mecanismo o estructura institucional que coordine los diversos esfuerzos que se realizan para la adquisición y disposición de información hidrológica confiable. En consecuencia, existen una diversidad de organismos propietarios de estaciones de medición con distintos objetivos e intereses. Ello determina que, aún en presencia de una cantidad apreciable de puestos de observación, éstos tengan una distribución espacial muy heterogénea, produzcan datos de calidad muy dispar, se almacenen en distintos lugares y su acceso sea dificultoso.

En el ámbito nacional existen seis instituciones que concentran el grueso de las estaciones, con abordajes sectoriales diferentes.

Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación: la red, operada por un organismo de carácter privado (EVARSA), responde en sus orígenes a las necesidades del sector hidroeléctrico.

Servicio Meteorológico Nacional (SMN): El organismo atiende las necesidades de pronóstico meteorológico, fundamentalmente con fines de aeronavegación. Su red pluviométrica ha sufrido un proceso de reducción del número de estaciones a partir de la década del 50 cada vez más intenso (más de 3000 estaciones), alcanzando a principios de la presente una cantidad similar a la que se operaba en 1910.

Ex Dirección de Construcciones Portuarias y Vías Navegables: la red operada actualmente por la Prefectura Naval Argentina (PNA), ha sido diseñada teniendo como objetivo específico dar apoyo a la navegación fluvial.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA): Con puestos de observación que se ubican en correspondencia con la Estaciones de Experimentación Agropecuaria, distribuidos por todo el País, atienden las necesidades de información agrohidrológica.

Servicio de Hidrografía Naval (SHN): dedicada a la toma de información sistemática de las aguas marítimas costeras y estuarios.

Instituto del Agua y del Ambiente (INA): generalmente con estaciones de tecnología no convencional, cuyos datos abastecen prioritariamente a sus proyectos de investigación y desarrollo tecnológico para regiones específicas.

En la mayoría de las provincias existen uno o más organismos que operan estaciones de medición de variables hidrológicas en esa jurisdicción.

También desarrollan actividades de recolección y procesamiento de información los organismos interjurisdiccionales (AIC, COIRCO, COREBE), otras instituciones de investigación (Universidades, Instituciones del Sistema de Ciencia y Técnica), operadores de servicios (abastecimiento de agua, generación hidroeléctrica, sistemas de riego) y particulares.

Un estudio completado en 1996 concluye que, en términos generales, es baja la densidad de estaciones hidrológicas y meteorológicas en la mayoría de las provincias, comparado con los estándares de la OMM. Ello es notable en relación con el agua subterránea, y adquiere características muy severas en lo que hace a la calidad de las aguas.

En ese marco de carencia, hay casos en que en un mismo área o curso de agua existen estaciones operadas por distintos organismos en forma independiente y las observaciones procesadas por diferentes centros no vinculados. Por su abordaje eminentemente sectorial, ajeno al criterio de cuenca, los puestos de medición constituyen un “conjunto de estaciones” y no una red. A ello se agrega la falta de recursos operativos y técnicos para la operación y mantenimiento de las estaciones que afecta a la mayor parte de las instituciones, la falta de uniformidad en el instrumental y en el procesamiento de la información, cuya puesta en disponibilidad para el usuario en general es deficiente.

COMPETENCIAS PARA EL PROFESOR

COMPETENCIA GENERAL

Identificar la institucionalidad jurídica argentina, referido a los recursos hídricos, y reconocer sus principales atribuciones y funciones.

SUBCOMPETENCIAS

- a) **Reconocer** las instituciones estatales y federales asociadas a la gestión de los recursos hídricos.
- b) **Verificar** el funcionamiento de los sistemas de gestión de los recursos hídricos, y reconocer su correcto desempeño.

GLOSARIO

Las definiciones que a continuación se presentan han sido obtenidas de diferentes fuentes bibliográficas, tanto técnicas como científicas, y representan, en general, las acepciones más comúnmente utilizadas en el ámbito internacional.

Agua dulce: agua que generalmente contiene menos de 1 miligramo por litro de sólidos disueltos.

Agua semisubterránea: agua subterránea que llena de manera parcial los poros que hay entre las partículas del suelo y roca de las capas superiores del suelo y las rocas de la corteza terrestre, por encima del nivel de agua freática.

Agua subterránea (o freática): agua que se infiltra en el suelo y se acumula en depósitos subterráneos que fluyen y se renuevan con lentitud, conocidos como mantos freáticos o acuíferos; agua subterránea situada en la zona de saturación, por debajo del nivel de la meseta freática.

Agua superficial: agua de precipitación que no se infiltra en el suelo o no regresa a la atmósfera por evaporación o por transpiración. Véase escurrimiento fluvial, escurrimiento superficial. Compárese con agua subterránea.

Aguas o cuerpos de aguas receptoras: un río, lago, océano, arroyo u otro curso o cuerpo de agua dentro del cual efluentes urbanos o industriales son descargados.

Aguas superficiales: toda agua naturalmente expuesta a la atmósfera (ríos, lagos, embalses, lagunas, esteros, arroyos, estuarios, mares, etc.).

Aguazal costero: terreno que se localiza a lo largo de una línea costera y que se extiende tierra adentro desde un estuario cubierto por agua de mar durante todo el año o parte de éste. Ejemplos son las marismas, bahías, lagunas costeras, zona de marea y manglares.

Aguazal interior: terreno alejado de la costa, como un pantano, tremedales, o ciénaga, en el cual está recubierto en todo o gran parte del año con agua dulce.

Aguazal: Terreno cubierto durante todo o gran parte del año, con agua salobre o dulce, excluyendo ríos, lagos y mar abierto.

Ambiente (o medio ambiente): todas las condiciones o factores externos, vivientes y no vivientes (sustancia y energía), que influyen en un organismo u otro sistema específico durante su período de vida.

Bacterias: organismos procarióticos unicelulares. Algunos transmiten enfermedades. La mayor parte actúa como descomponedores o degradadores y obtienen los nutrientes que necesitan degradando los compuestos orgánicos, complejos residentes en los tejidos de organismos vivos o muertos, en compuestos nutritivos inorgánicos más simples.

Bioacumulantes: sustancias que incrementan en concentración en organismos vivientes en aire, agua y/o alimentos, debido a que estas sustancias son muy lentamente metabolizadas o excretadas.

Bioconcentración: acumulación de una sustancia peligrosa en una parte particular del cuerpo.

Bioconcentración: la acumulación de químicos en tejidos de un organismo (tales como en peces) a niveles mayores que en el medio circundante, en el cual vive el organismo.

Biodegradable: sustancia o materia capaz de descomponerse rápidamente bajo condiciones naturales.

Bioensayo: estudios de organismos vivos para medir el efecto de una sustancia, factor o condiciones por comparación, antes y después de la exposición u otros datos.

Biomonitoreo: (1) El uso de organismos vivos para controlar la posibilidad de efluentes para descarga en cuerpos acuáticos receptores y para controlar la calidad aguas abajo de tales descargas. (2) análisis de sangre, orina, tejidos, etc., para medir exposición a químicos, en humanos.

Biótico: Viviente. Organismos vivos que conforman las partes bióticas de los ecosistemas. Compárese con abiótico.

Cambio químico: interacción entre sustancias en las que hay un cambio (o reacción) en la composición química de los elementos o compuestos involucrados. Compárese con cambio físico.

Capacidad asimilativa: la capacidad de un cuerpo de agua para recibir aguas de desechos o material tóxico, sin efectos deletéreos y sin dañar la vida acuática o humana que consume o habita ese agua.

Carcinógeno: se dice de un producto químico, radiación ionizante o virus que causan o promueven el desarrollo de un tumor maligno, o cáncer, en el que las células de un cierto tipo tisular se multiplican e invaden el tejido circundante. Véase mutágeno, teratógeno.

Ciclo hidrológico: ciclo biogeoquímico por el que se concentra, purifica y distribuye el abasto fijo de agua en la Tierra que procede del entorno, hacia los seres u organismos vivos y de regreso al ambiente.

Comunidad: En ecología, un grupo de poblaciones interactuantes en tiempo y espacio.

Concentración: cantidad de una sustancia química en un volumen o peso particular de aire, agua, suelo u otro medio.

Conservación: preservación y renovación, cuando es posible, de recursos humanos y renovables. El uso, protección y mejoramiento de recursos naturales de acuerdo a principios que aseguran los más altos beneficios económicos y sociales.

Contaminación del agua: cualquier cambio físico o químico en las aguas superficiales o subterráneas, capaz de causar daño a los organismos o volver al agua inapropiada para determinados usos.

Contaminación térmica: aumento en la temperatura del agua con efectos dañinos para la vida acuática.

Contaminación: la presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones o concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente.

Contaminación: un cambio indeseable en las características físicas, químicas o biológicas de aire, agua, suelo o alimentos y que puede influir de manera diversa en la salud, sobrevivencia o actividades de seres humanos u otros organismos vivos. Se llama también infección.

Contaminante: todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental.

Contaminante biodegradable: material que puede ser degradado en sustancias más simples (elementos y compuestos) por bacterias u otros degradantes o descomponedores. El papel y la mayor parte de los desechos orgánicos, como el estiércol o abono animal, son biodegradables, pero puede tomar décadas su degradación en los tiraderos de desperdicios actuales.

Contaminante lentamente degradable: material que se degrada con lentitud convirtiéndose en sustancias más simples, o se reduce a niveles aceptables por medio de procesos físicos, químicos o biológicos naturales.

Contaminante no degradable: material que no se puede degradar por procesos naturales. Ejemplos son los elementos tóxicos plomo y mercurio. Compárese con contaminante biodegradable, contaminante degradable y contaminante lentamente degradable.

Contaminante no persistente: véase contaminante degradable fuente no puntiforme. Extensiones de tierra grandes o dispersas como campos de cultivos, calles y predios que emiten contaminantes al ambiente en un área amplia.

Contaminante: cualquier sustancia, materia o energía que tiene un efecto adverso sobre el aire, suelo y/o agua.

Contenido (nivel) de oxígeno disuelto (OD): cantidad de oxígeno (O₂) disuelto en un volumen determinado de agua a una presión y temperatura particulares, que suele expresarse como una concentración en partes de oxígeno por millón de partes de agua.

Corriente fluvial: cuerpo fluyente de agua superficial. Ejemplos son los ríos y los arroyos.

Criterio de calidad de agua: niveles de calidad del agua esperados para hacer utilizable a un cuerpo de agua, para el uso designado. Los criterios están basados sobre niveles específicos de pululantes que debieran hacer al agua no apta para la bebida, el baño, pesca, agricultura o procesos industriales.

Cuenca de captación: área de tierra que encauza agua, sedimentos y sustancias disueltas, en forma de pequeñas corrientes fluviales y las dirige hacia una corriente mayor (río).

Cuenca arreica: cuenca inactiva o sin escurrimiento de aguas superficiales. Una región típica de arreísmo es la de la costa de la región de Antofagasta, entre la Cordillera de Domeiko y el océano Pacífico.

Cuenca endorreica: Cuenca cerrada, sin salida visible. Puede tener por base de equilibrio una laguna o un salar, o ambos. Por lo general, la descarga se efectúa por evaporación.

Cuenca exorreica: cuenca que presenta desagüe al mar.

Datos científicos: hechos que se obtienen haciendo observaciones y mediciones. Compárese con hipótesis científica, ley científica, teoría científica.

Degradación ambiental: agotamiento o destrucción de un ambiente potencialmente renovable como suelo, pastizal o pradera, bosque o vida silvestre, al utilizarlo según una tasa mayor que su tasa natural de recuperación. De continuar tal uso, el recurso puede volverse no renovable en una escala humana de tiempo, o bien desaparecer (extinguirse). Véase también rendimiento sustentable.

Demanda biológica de oxígeno (BOD): cantidad de oxígeno disuelto necesaria para que los degradadores aeróbicos descompongan los materiales orgánicos en un volumen dado de agua, a cierta temperatura y a lo largo de un intervalo de tiempo determinado.

Depositación ácida: la caída de compuestos formadores de ácidos desde la atmósfera hasta la superficie de la Tierra. Por lo común, a la depositación ácida se le conoce como lluvia ácida, término que sólo hace referencia a la depositación húmeda o en gotas de ácido y de precursores de éstos.

Depósito artificial de agua (o rebalse): cuerpo de agua dulce inmóvil, creado por humanos; con frecuencia constituido tras un dique. Compárese con lago.

Desechos demandantes de oxígeno: materiales orgánicos que por lo común son degradados por bacterias aeróbicas (consumidoras de oxígeno), si hay el suficiente oxígeno disuelto en agua. Véase también demanda biológica de oxígeno.

Diversidad biológica (o biodiversidad): variedad de especies (diversidad de especies), variabilidad genética entre individuos dentro de cada especie (diversidad genética) y variedad de ecosistemas (diversidad ecológica). Compárese con diversidad ecológica, diversidad genética, diversidad de especies.

Diversidad de especies: número de especies diferentes y sus abundancias relativas en un área o región determinada. Véase diversidad biológica. Compárese con diversidad ecológica, diversidad genética.

Diversidad ecológica: variedad de bosques, desiertos, praderas, mares, ríos, lagos y otras comunidades biológicas que interactúan entre sí y con su entorno o ambiente no vivo. Véase diversidad biológica. Compárese con diversidad genética, diversidad de especies.

Diversidad genética: variabilidad en la constitución genética entre individuos de una misma especie. Véase biodiversidad. Compárese con diversidad ecológica, diversidad de especies.

Ecología: el estudio de las interacciones de los seres vivos entre sí y con su ambiente inanimado o no vivo de materia y energía; el estudio de la estructura y funciones de la naturaleza.

Ecosistema acuático: cualquier ecosistema basado en agua, como en corriente fluvial, estanque, lago o mar.

Ecosistema: comunidad de diferentes especies que interactúan entre sí y con los factores físicos y químicos que conforman su entorno no vivo.

Entropía: medida del desorden o aleatoriedad en un sistema. Cuanto mayor es la entropía de un sistema, tanto más grande es su desorden. Véase energía de alta calidad, material de alta calidad, energía de baja calidad, material de baja calidad.

Erosión: procesos o grupos de procesos por los que los materiales térreos, sueltos o consolidados, se disuelven, disgregan y desgastan, pasando de un lugar a otro.

Escurrecimiento fluvial: flujo de agua hacia el mar, por ríos o arroyos.

Escurrecimiento superficial: flujo de agua por la superficie de tierras hacia cuerpos de aguas superficiales.

Escurrecimiento: agua dulce procedente de precipitación atmosférica y del hielo fundente, que fluye sobre la superficie de la Tierra hasta reunirse en corrientes, lagos, pantanos y rebalses cercanos.

Especie: grupo de organismos semejantes en apariencia, comportamiento, constitución, procesos químicos y estructura genética. Los organismos que se reproducen sexualmente se clasifican como miembros de la misma especie, sólo si son capaces de hecho o potencialmente de entrecruzarse y tener descendencia fecunda o fértil.

Especies generalistas: especies con un nicho ecológico amplio. Pueden vivir en muchos lugares distintos, alimentarse de una gran variedad de alimentos y tolerar un amplio espectro de condiciones ambientales. Como por ejemplo: las moscas, cucarachas, ratones, ratas, seres humanos.

Especies indicadoras: especies que sirven como avisos iniciales de la degradación de una comunidad o de un ecosistema.

Especies nativas: especies que normalmente viven y medran en un ambiente particular. Compárese con especies inmigrantes, especies indicadoras, especies dominantes.

Estándar de calidad del agua: el estándar prescribe el uso de un cuerpo acuático y establece el criterio de calidad del agua, que debe ser alcanzado para proteger un uso designado.

Estándares: normas que imponen límites sobre la cantidad de contaminantes (polutantes) o emisiones producidas.

Estructura del ecosistema: atributos relacionados al estado físico instantáneo de un ecosistema; e.g., densidad poblacional de especies, riqueza específica y productividad por biomasa.

Estuario: área costera parcialmente cerrada que se localiza en la desembocadura de un río, donde su agua dulce lleva cieno fértil y escurrimientos de las tierras, que se mezclan con el agua marina salobre.

Estuario: área o región de interacción entre ríos y aguas oceánicas litorales, donde las acciones de las olas y flujo del río mezclan aguas dulces y saladas. Tales áreas incluyen bahías, desembocaduras de ríos, marismas y lagunas costeras. Estos ecosistemas acuáticos sustentan vida marina, aves y fauna natural.

Eutroficación cultural: sobrenriquecimiento de ecosistemas acuáticos con nutrientes vegetales (sobre todo nitratos y fosfatos) a causa de actividades humanas tales como, agricultura, urbanización y descargas desde plantas industriales y plantas de tratamientos de aguas negras.

Eutroficación: cambios físicos, químicos y biológicos que tienen lugar después de que un lago, un estuario o una corriente fluvial de flujo lento, reciben nutrimentos vegetales, en su mayor parte nitratos y fosfatos por la erosión natural y los escurrimientos desde la cuenca circundante.

Factor limitante: factor que limita el crecimiento, abundancia o distribución de la población de una especie en el ecosistema.

Fertilizante inorgánico comercial: Mezclas comercialmente preparadas de nutrimentos vegetales, como nitratos, fosfatos y potasio que se aplican al suelo para restaurar su fertilidad y aumentar el rendimiento agrícola.

Fertilizante orgánico: material orgánico, como el abono animal, como abono vegetal y composta, que se aplica a tierras cultivadas como fuente de nutrientes vegetales. Compárese con fertilizante inorgánico comercial.

Fertilizante: sustancia por la que se agregan nutrientes vegetales, orgánicos o inorgánicos, al suelo, y mejorar así la capacidad de éste para sostener cultivos de alimentos, árboles y otros tipos de vegetación. Véase fertilizante inorgánico comercial, fertilizante orgánico.

Finca piscícola: sistema de acuicultura en la que se mantienen cautivos miembros de una especie piscial, como el salmón, durante los primeros años de su vida, luego se liberan, y después son colectados como adultos cuando regresan del mar a su lugar de nacimiento en agua dulce para desovar. Véase también granja piscícola.

Fitoplancton: pequeñas plantas, en su mayor parte algas y bacterias, y que se encuentran en los ecosistemas acuáticos. Compárese con plancton y zooplancton.

Fosa séptica: tanque subterráneo para tratamiento de aguas excretas procedentes de una casa o vivienda en áreas rurales y suburbanas. Las bacterias que hay en el tanque descomponen los desechos orgánicos, y el lodo de aguas negras resultante se sedimenta en el fondo de la fosa o tanque. El efluente sale del tanque, al suelo, a través de un conjunto de tubos de desagüe.

Fotosíntesis: proceso complejo que tiene lugar en plantas verdes. La energía radiante que llega del sol se utiliza para combinar dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O) para producir oxígeno

(O₂) y carbohidratos (como glucosa, C₆H₁₂O₆) y otras moléculas nutritivas. Compárese con respiración aerobia, quimiosíntesis.

Fuente puntiforme: una fuente individual identificable que descarga contaminantes al ambiente. Ejemplos son la chimenea de una planta de energía o industrial, el desagüe de una procesadora de carnes, la chimenea de una casa o el escape de un automóvil.

Fuentes no puntuales: se refiere a fuentes de contaminación provenientes de extensas superficies de tierra que descargan contaminantes sobre una gran área de aguas superficiales y por filtración, a aguas subterráneas. Por ejemplo: aguas de escorrentía de campos de cultivo, bosques, áreas urbanas, contaminación atmosférica. El control de la contaminación proveniente de fuentes no puntuales es necesario poner más énfasis en la prevención, como por ejemplo: mejor uso del suelo, conservación del suelo, control de la contaminación atmosférica y regulación de la población.

Fuentes puntuales: fuentes puntuales de contaminación antrópica son aquellos puntos en que una masa de contaminantes se descargan en cuerpos de agua en lugares bien precisos, a través de tuberías o canales. Estas fuentes son fáciles de identificar, monitorear y regular.

Granja piscícola: sistemas de acuicultura en que se crían peces en un estanque controlado u otro ambiente, y que se colectan cuando alcanzan el tamaño deseado. Véase también finca piscícola.

Hábitat: el lugar donde una población (e.g., humana, animal, planta, microorganismo) vive y su entorno viviente y no viviente.

Hábitat: lugar o tipo de lugar en donde vive un organismo o una población de organismos.

Herbicida: compuesto químico para matar una planta o inhibir su crecimiento.

Hidrocarburo clorado: compuesto orgánico conformado por átomos de carbono, hidrógeno y cloro. Ejemplos de estos son los DDT y los PCB.

Hidrocarburo: compuesto orgánico de átomos de carbono e hidrógeno.

Hidrosfera: conjunto del agua líquida que cubre gran parte de la Tierra (mares, océanos, lagos y otros cuerpos de agua superficial, además del agua subterránea), el agua congelada telúrica (casquetes polares glaciares, cuerpos de hielo flotantes en el mar y el hielo incrustado en el suelo, el que se conoce como permafrost o permagelo); así como las cantidades de vapor de agua (nubes) que ocurren en la atmósfera.

Homeostasis: un estado dinámico estable en el que los procesos internos varían en respuesta a cambios en las condiciones externas para mantener constantes las condiciones internas.

Horizontes de suelo: zonas a nivel horizontal que conforman un suelo maduro en particular. Cada horizonte tiene una textura y composición distintivas que varía según los tipos de suelos.

Hoya hidrográfica o cuenca fluvial: el área terrestre drenada por un río y sus tributarios.

Indicador ambiental: una medida, estadística o valor que provee una “gauge” aproximada o evidencia de los efectos de programas de manejo o gestión ambiental o del estado o condición del ambiente.

Indicador de hábitat: un atributo físico de un ambiente medido para caracterizar condiciones necesarias, para soportar organismos, poblaciones o comunidades en ausencia de contaminantes, e.g., salinidad de aguas estuarinas o tipos de sustratos en ríos o lagos.

Indicador ecológico: una característica del ambiente que, cuando es medida, cuantifica magnitudes de estrés, características del hábitat, grado de exposición a un estresante o respuesta ecológica a una exposición. Es un término colectivo para respuesta, exposición, hábitat e indicador estresante.

Indicador: un organismo, especie o comunidad cuyas características muestran o “indican” la presencia de una condición ambiental específica. (2) En Química, una sustancia que muestra un cambio visible, usualmente de color a un deseado punto de una reacción química. (3) Un instrumento que indica el resultado de una media o determinación.

Infiltración: movimiento o filtración hacia abajo del agua a través del suelo.

Lago: gran cuerpo natural de agua dulce estática que se forma cuando el agua procedente de las precipitaciones, escurrimientos superficiales y flujo de agua subterránea, llena una depresión creada en la superficie de la Tierra por glaciación, movimiento de tierras, actividad volcánica o por un meteorito gigantesco.

Lago eutrófico: lago que posee un aporte grande o excesivo de nutrientes vegetales, sobre todo nitratos y fosfatos.

Lago mesotrófico: lago que posee un aporte moderado de nutrientes vegetales.

Lago oligotrófico: lago que posee bajo de nutrientes vegetales.

Latitud: distancia angular sobre la superficie terrestre medida a partir del Ecuador (hacia el norte o hacia el sur).

Ley de la tolerancia: la existencia, abundancia y distribución de una especie en un ecosistema, están determinadas por el hecho de que si los niveles de uno o más factores químicos caen dentro del intervalo de tolerancia de la especie.

Lodo de aguas negras: mezcla viscosa de sustancias tóxicas, agentes infecciosos y materiales sólidos asentados, que se separan de las aguas de desecho en las plantas de tratamiento de aguas negras.

Macronutriente: elemento que una planta o un animal necesita para permanecer vivo y saludable. Ejemplos son: el carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, magnesio y potasio.

Magnificación biológica: se refiere a los procesos por el cual ciertas sustancias, tales como pesticidas o metales pesados, se mueven a través de las cadenas tróficas en sistemas acuáticos, don-

de son comidos por otros organismos acuáticos, tales como peces, los que a su turno son comidos por aves, animales y humanos. De esta manera, estas sustancias llegan a concentrarse en tejidos u organismos internos.

Manejo de la vida silvestre: tratamiento conservativo de poblaciones de especies silvestre (concretamente especies de caza) y de sus hábitats para beneficio humano, el bienestar de otras especies y la preservación de especies silvestres amenazadas o en peligro de extinción.

Manto freático (o acuífero) confinado: manto de agua subterránea que se localiza entre dos capas de materiales térricos relativamente impermeables, como arcilla o pizarra.

Manto freático: capas porosas (saturadas de agua) de arena, grava o lecho de roca que pueden producir una cantidad de agua económicamente significativa.

Manto no confinado: acumulación de agua subterránea por encima de una capa de material terrestre (casi siempre roca o arcilla) por donde fluye agua con gran lentitud (tiene baja permeabilidad).

Métodos científicos: maneras en que los científicos obtienen datos para formular y comprobar leyes y teorías científicas.

Micronutriente: elemento que una planta o un animal necesita, en cantidades pequeñas o trazas, para seguir vivo y saludable. Ejemplos son: el hierro, cobre, zinc, cloro y yodo.

Mineral: cualquier sustancia inorgánica natural que se encuentra en la corteza terrestre en forma de sólido cristalino.

Mineralización: proceso que tiene lugar en el suelo y en el cual los descomponedores convierten materiales orgánicos en inorgánicos.

Molécula: unión estructural de dos o más átomos del mismo elemento (O₂) o de diferentes elementos (H₂O), que se mantienen unidos mediante enlaces químicos.

Monitoreo de cumplimiento: colección y evaluación de datos, incluyendo informes voluntarios de monitoreo y verificación para mostrar si concentraciones de contaminantes y cargas contenidas en descargas permitidas o autorizadas, están cumpliendo con los límites y condiciones específicas en los permisos o autorizaciones.

Monitoreo: vigilancia periódica o continua o control para determinar el nivel de cumplimiento con requerimientos normativos y/o contaminantes en varios medios (agua, suelo, aire) en humanos, plantas y animales.

Nicho ecológico: modo de vida o función total de una especie en un ecosistema. Incluye todas las condiciones físicas, químicas y biológicas que necesita una especie para vivir y reproducirse en un ecosistema.

Nivel de agua freática: superficie superior de la zona de saturación acuosa en la que todos los poros disponibles, en suelo y roca de esta porción de la corteza terrestre, se encuentren llenos de agua.

Nivel trófico: todos los organismos que se sitúan al mismo número de niveles de transferencia de energía más allá de la fuente energética original (por ejemplo, la luz solar) que ingresa en un ecosistema. Todos los productores pertenecen al mismo nivel trófico y todos los herbívoros al segundo nivel trófico, de una cadena o de una red alimentarias.

Nutriente: cualquier elemento que necesita un organismo para vivir, crecer y reproducirse.

Organismo aerobio: organismo que necesita oxígeno para permanecer vivo.

Organismo anaeróbico: organismo que no necesita oxígeno para estar vivo.

Organismo: cualquier sistema vivo.

País desarrollado: país altamente industrializado y con un PNB elevado per cápita.

Parámetro: una variable, apropiadamente medida, cuyo valor es un determinante de la característica de un sistema: e.g., temperatura, pH, salinidad, son parámetros que se miden en un cuerpo acuático.

Pesca comercial: localizar y capturar peces destinados a la venta.

Pesca de subsistencia: localizar y atrapar (matar) peces con el objeto de que sirvan de alimento para sobrevivir.

Pesca deportiva: buscar y atrapar (matar) peces, como forma de entretenimiento.

Pesca en redes de arrastre: captura de peces en grandes redes que se dejan en el agua a la deriva, y luego son arrastradas cerrándose sobre la pesca.

Petróleo crudo: Líquido viscoso que contiene, sobre todo, compuestos hidrocarbónicos, así como también pequeñas cantidades de compuestos que contienen oxígeno, azufre y nitrógeno. Después de ser extraídos de yacimientos del subsuelo, se envía a refinerías de petróleo, en donde se transforma en aceite diesel, gasolina, alquitrán, aceite y otros materiales.

pH: índice numérico que señala la acidez o alcalinidad relativa de una sustancia en una escala de 0 a 14, con el punto de neutralidad en 7. Las soluciones ácidas tienen pH menor que 7, y las básicas o alcalinas, pH mayor que 7.

Plaguicida: cualquier sustancia elaborada para matar o inhibir el crecimiento de un organismo que se considera indeseable.

Plancton: pequeños organismos vegetales (fitoplancton) y animales (zooplancton) que flotan y residen en los ecosistemas acuáticos.

Planta (o central) hidroeléctrica: obra técnica en la que la energía de agua que cae o fluye puede impulsar una turbina hidráulica que mueve un generador eléctrico.

Plantas: organismos eucarióticos, en su mayor parte multicelulares, como algas (rojas, azules y verdes), musgos, helechos, flores, cactus, pastos y árboles. Hacen uso de la fotosíntesis para producir nutrientes orgánicos para sí mismas y para los organismos que se alimenten de ellas. El agua y otros nutrientes inorgánicos se obtienen del suelo en caso de las plantas terrestres, y del agua, para las acuáticas.

Población: grupo de organismos de la misma especie que viven en un área o región en particular.

Polución acuática: la presencia en el agua de suficiente empeoramiento o material objetable, para dañar la calidad de la misma.

ppb (partes por mil millones): número de partes de un producto o sustancia que se encuentran en mil millones de partes de un gas, líquido o un sólido en particular.

Precipitación atmosférica: agua en forma de lluvia, aguanieve, granizo o nieve que cae desde la atmósfera sobre la tierra y los cuerpos de agua.

Prevención de la contaminación: acción o proceso que impide la formación de un contaminante potencial o su entrada al ambiente, o bien que reduce de manera importante las cantidades que ingresan al ambiente.

Productividad primaria: la tasa a la cual los productores de un ecosistema capturan y almacenan una cantidad de energía química o en forma de biomasa en un período o tiempo dado.

Productor: organismo que utiliza energía solar (plantas verdes) o energía química (algunas bacterias) para fabricar los compuestos orgánicos que necesita como nutrientes, a partir de compuestos inorgánicos más simples que obtiene de su entorno o ambiente.

Protistas: organismos eucarióticos, en su mayor parte unicelulares, como diatomeas, amebas, algunas algas (pardas, doradas y amarillo-verdosas), protozoarios, mixomicetos y mohos. Algunos protistas producen sus propios nutrientes orgánicos por medio de la fotosíntesis. Otros son degradadores y algunos se alimentan de bacterias, otros protistas, o células de organismos multicelulares.

Recarga freática: saturación acuosa del suelo con agua de riego o por el exceso de precipitación, con lo que el nivel del agua freática, sube casi hasta la superficie.

Recurso de vida silvestre: especie de fauna en estado silvestre, que tienen un valor económico actual o potencial para los humanos.

Recursos naturales: extensión de la superficie sólida de la tierra, minerales y nutrientes de suelos, y capas más profundas de la corteza terrestre, agua, plantas, animales silvestres y domesticados; aire y otros recursos producidos por los procesos naturales de la tierra.

Resiliencia: capacidad que tiene un sistema vivo para restituirse a su condición original, después de estar expuesto a una perturbación externa que no resulta demasiado rigurosa.

Resistencia del ambiente: todos los factores limitantes que actúan en conjunto para restringir o limitar el crecimiento de una población.

Respiración aeróbica: proceso complejo que ocurre en las células de la mayor parte de los organismos, en donde moléculas de nutrientes orgánicos, como la glucosa ($C_6H_{12}O_6$), se combinan con oxígeno (O_2) y producen dióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O) y energía térmica.

Salinidad: cantidad de diversas sales disueltas en un volumen dado de agua.

Salinización: acumulación de sales en el suelo, que eventualmente pueden volverlo incapaz de sostener el crecimiento de las plantas.

Saprobionte: organismo que extrae nutrientes del detritus. Ejemplos son las lombrices de tierra, termitas y cangrejos.

Segunda ley de la ecología: todo está conectado e interrelacionado con todo lo demás existente.

Segunda ley de la termodinámica: en una transformación de energía térmica en trabajo útil, parte de la energía inicial de entrada se degrada siempre a una energía menos útil, de menor calidad y más dispersa (mayor entropía), casi siempre calor de baja temperatura que fluye al ambiente.

Selección natural: proceso en el cual algunos genes en una población de una especie, se reproducen más que otros, cuando la población se expone a un cambio o apremio sobre el ambiente. Cuando ciertos organismos de una población mueren en el transcurso, el tiempo a causa de que no pueden tolerar un nuevo apremio (o estrés), son reemplazados por otros cuyos rasgos genéticos les permiten arreglárselas mejor con tal estrés.

Sequía: condición en la que una región carece de agua suficiente por causa de una precipitación inferior a la normal, por temperaturas superiores a las normales, que causan gran incremento en la evaporación, o ambas cosas.

Sistema de vigilancia: una serie de dispositivos de monitoreo diseñados para controlar condiciones ambientales.

Sobrepesca: captura de muchos peces de una especie, por lo general especímenes inmaduros, de forma que no quedan las existencias reproductoras suficientes para que la especie se recupere, de este modo su pesca o captura deja de ser redituable.

Sustancia peligrosa: compuesto químico capaz de causar daño debido a ser inflamable o explosivo, o que puede irritar o dañar la piel o los pulmones, o bien producir reacciones alérgicas al sistema inmunitario.

Temperatura: medida de la velocidad media del movimiento de átomos, iones o moléculas, en una sustancia o combinación de sustancias en un momento determinado.

Teoría científica: una hipótesis científica comprobada que goza de una amplia aceptación.

Teratógeno: sustancia, agente ionizante o virus, que causa defectos congénitos o de nacimiento.

Tercera ley de la ecología: Cualquier sustancia que se produzca no debe interferir con los ciclos biogeoquímicos naturales de la Tierra.

Termoclina: zona de disminución gradual en la temperatura entre el agua superficial más caliente y el agua más fría y profunda en un lago, rebalse, mar u océano.

Tratamiento primario de aguas negras: tratamiento mecánico de aguas negras en el que se filtran los sólidos grandes por tamices y las partículas sólidas suspendidas se decantan, en forma de lodo de aguas negras en un tanque de sedimentación.

Tratamiento secundario de aguas negras: segundo paso en la mayor parte de los sistemas de tratamiento de aguas de desecho, en el que bacterias aerobias degradan hasta un 90% de los desechos que hay en las aguas residuales y que demandan oxígeno. Casi siempre esto se hace juntando las aguas negras con las bacterias en filtros intrincados, o en el procesamiento de sedimentos de aguas negras activados.

Uso múltiple de un recurso hídrico: uso de un recurso hídrico para diversos propósitos (recreacional, acuicultura, aprovisionamiento potable e industrial, hidroelectricidad, riego, etc.).

Uso múltiple: principio de administración de terrenos públicos, como un bosque nacional, de modo que se le utilice para diversos propósitos, como para maderaje, minería, recreación, pastoreo, preservación de la vida silvestre o conservación del agua y suelo.

Vertebrados: animales con columna vertebral.

Vida silvestre: todas las especies de la fauna libres o no domesticadas.

Zona costera: tierras y aguas adyacentes a la costa, que ejercen una influencia sobre los usos del mar y su ecología, o cuyos usos y ecología están afectados por el mar.

Zona costera: parte somera de un mar u océano, relativamente cálida y rica en nutrientes, que se extiende desde la marca de la más alta marea en tierra, hasta el borde de una masa de tierra continental sumergida en aguas costeras y que se conoce como repisa continental.

Zona de saturación acuosa: área en el que todos los poros disponibles en el suelo y roca de la corteza terrestre están repletos de agua.

Zona estuarina: región cercana a una línea litoral, que consta de estuarios y pantanos costeros de agua salobre, que llegan hasta el borde la plataforma continental.

Zona latente: aquella en que la medición de la concentración de contaminantes en el aire, agua o suelo se sitúa entre el 80% y el 100% del valor de la respectiva norma de calidad ambiental.

Zona saturada: aquella en que una o más normas de calidad ambiental se encuentran sobrepasadas.

Zonificación: reglamentación del uso que pueden tener diversas porciones de tierra.

Zooplankton: plancton animal. Pequeños herbívoros flotantes que se alimentan de plancton vegetal (fitoplancton).

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

Abramovich Beatriz, 1998. Parásitos en agua potable: un desafío de nuestro tiempo. Ingeniería Sanitaria y Ambiental N°40: 18-20.

Abramovitz, J. Imperiled waters, impoverished future: The decline of freshwater ecosystems. Washington, D.C., Worldwatch Institute, Mar. 1996. p. 5-66.

Agosba; 1991. Plan de Control de la Contaminación Industrial en la Cuenca del Río Reconquista; Ministerio de Obras y Servicios Públicos, La Plata, Provincia de Buenos Aires.

Aguas Argentinas, Technical and Quality Bureau, Groundwater Resources Division. Groundwater Resource Potential. Contribution to discussion on alternative master plans. September 1997.

AIDIS ARGENTINA. Seminario "Criterios de selección de tecnologías de depuración de líquidos cloacales" Mendoza, 10 y 11 de mayo del 2000

Ali, A. Water, sanitation and health: Role of NGOs. In Touch, Aug. 1992. p. 1-2.

Allaoui, K. Long-term finance for water projects: The IDB's approach. Presented at the International Conference of Water and Sustainable Development, Paris, Mar. 19-21, 1998. p.1-7

Anderson N. P., "Arch Dermat. Syph.", 26: 1052-1064, 1932.

Argentina, Situación y tendencias. 1986-1995

Astolfi E., Besuschio S. C., García Fernández J. C., Guerra C. y Maccagno A.: "Hidroarsenicismo crónico regional endémico", FECIC, Buenos Aires, 1982. pag.12

Atlas Físico de la República Argentina, volumen II, Centro Editor de America Latina, 1982

Boletín Epidemiológico Nacional. Ministerio de Salud, Secretaría de Atención Sanitaria. Subsecretaría de Programa de prevención y promoción. Dirección de Epidemiología. <http://www.msal.gov.ar/htm/site/pdf/boletin2001.pdf>

Boletín semanal de notificaciones. Semana epidemiológica N°32. Agosto de 2002. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica. Dirección de Epidemiología. Ministerio de Salud. República Argentina.

Borgoño M. J. at al., "Environm. Health Perspect", 19: 109-119, 1977. Botta Horacio y Iñiguez Gustavo. septiembre, octubre 1987. Planta de tratamiento Lago Lácar. Ingeniería Sanitaria y Ambiental N° 47. 62-65.

BOTTA Horacio, Castañeda Sara, Ogando Miguel, Remedi Gabriel, Vazquez Marcela, Urbanski Javier. Estrategias de Gestión Ambiental del Arroyo Pocahullo en la Cuenca del Lago Lácar. Fuente: AIDIS Argentina.

Botta Horacio, Gerardo Ginesta y Fabián Baudracco. Julio, agosto 2001. Planta del Lago Lácar. Remoción de nitrógeno. Una experiencia innovadora. Ingeniería Sanitaria y Ambiental N°57:72-75

Brown M. et al, "J. Toxicol. Environm. Health" 1: 505-514, 1976

Bundschuh J. 1992. Boron contamination of the ground and surface waters of Lerma Valley, Argentina. J. Water SRT. Aqua Vol. 41. N 1, pp. 13-17.

Bustamante María Alejandra, Granero Micaela, López Fabián, Helmbrecht Jorge, Busso Fanny, Bonfanti Enzo, Girbal Alberto. Programa de Monitoreo del Embalse San Roque (Córdoba, Argentina), Período 1999-2000. Presentado en el THIRD INTERNATIONAL WORKS HOP ON REGIONAL APPROACHES TO RESERVOIR DEVELOPMENT AND MANAGEMENT IN THE LA PLATA RIVER BASIN: "Informed Decision Processes for Sustainable Development of Reservoirs" Marzo, 2001. Posadas, Misiones. Argentina.

Carrizo Ricardo. Agosto 1999 Propuesta del componente calidad de agua del sistema de información ambiental en la cuenca del río Bermejo. Programa estratégico de acción para la cuenca del río Bermejo.

Castañe P.M.; TOPALIAN, M.L.; ROVEDATTI, M.G.; SALIBIAN, A. 1995. The impact of human activities on the water quality of the Reconquista River (Buenos Aires, Argentina). XXVI Congress of International Association of Theoretical and Applied Limnology, São Paulo, Brasil.

Charbonneau S. M. et al, "Toxicology Letter", 3: 107-113, 1979.

Charbonneau S. M. et al, "Toxicology and Applied pharmacology", 50: 319-322, 1979.

Cifuentes Olga, Héctor Labollita, Santiago Bassani. 1996. Zonificación Cualitativa de la Contaminación en la Cuenca de los ríos Limay, Neuquén y Negro. Ingeniería Sanitaria y Ambiental N°27:64-77.

Código Alimentario Argentino. Capítulo XII: Bebidas Hídricas, Agua y Agua Gasificada. Agua Potable. Pag. 331/331, 1994

Comisión Regional del Río Bermejo (COREBE) <http://www.corebe.org.ar/>

Comité Interjurisdiccional del Río Colorado. Secretaría de Energía de la Nación. Grupo interempresario. Programa integral de calidad de aguas del Río Colorado. www.coirco.com.ar

Control de la Contaminación Industrial, República Argentina. 1994-1999. Presidencia de la Nación. Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable. Programa Desarrollo Institucional Ambiental

CRAS, Amilcar A. Alvarez, Recursos hídricos de la cuenca Mendoza Norte. Información General en base al conocimiento actual. San Juan, Junio 1997.

Cuencas Hídricas. Instituto Provincial del Medio Ambiente. Gobernación de la Provincia de Buenos Aires. 1996.

Dalairac et al., Proyecto de Saneamiento Ambiental y Control de las inundaciones en la Cuenca del Río Reconquista. V Jornadas de Integración de la Industria y la Ingeniería de la Construcción. FRBA. U.T.N.

Del Pino Acuña, Nidia; Abramovich, Beatriz; Meyer, Roberto; Haye, Miguel Angel; Gilli, María Inés. 1998. Evaluación de niveles de contaminación bacteriana en aguas recreacionales. Factores intervinientes. Revista FABICIB, Año 1998, Volumen 2: 61-67.

De Pietri Diana Elba. Julio/agosto 1999. Los problemas ambientales de la concentración urbano-industrial. Ingeniería Sanitaria y Ambiental N°45:70-79.

Dutkiewicz T. "Environ, Health Perspect", 19: 173.-177, 1977.

El agua como factor de vida. 1981. Poder Ejecutivo Nacional. Ministerio de Obras y Servicios Públicos. Subsecretaría de Recursos Hídricos. Servicio Nacional de Agua Potable y Saneamiento Rural. Documento técnico N° 5.

Engelman, R. And Leroy, P. Sustaining water: Population and the future of renewable water supplies. Washington, D.C., Population Action International, 1993. p. 6-47.

ENOHSA, 1998. SPIDES Report, 1998.

Environmental Protection Agency (EPA). The quality of our nation's water: 1994. Washington, D.C., EPA, Dec. 1995. p. 209.

Esteban Bojanich Marcovich, Amilcar H. Riga. Aguas Subterráneas de la Provincia de Santa Fe. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos. Serie. #9.

European Schoolbooks (ES). The battle for water: Earth's most precious resource. Cheltenham, United Kingdom, ES. 1994. p. 1-16.

Ferrari L.; Castañe P.M.; Topalian, M.L.; DE LA TORRE F. R. DEMICHELIS, S.O.; GARCIA, M.E.; LOEZ, C.R.; ROVEDATTI, M.G.; SALIBIAN A.; 1994. Evaluación exploratoria del estado del agua del Río Reconquista (Bs.As.): Parámetros fisicoquímicos. I Congreso y III Reunión Argentina de Limnología; Tankay (1): 10-13; Facultad de Cs. Nat. E Inst. Miguel Lillio, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.

Food and Agriculture Organization/CP, Proyecto de desarrollo agrícola provincial, Resumen del sector de riego. Buenos Aires, May 1996.

Fowler B. et al., "Toxicology and Applied Pharmacology", 50: 177-187, 1979.

Gestión de los Recursos Hídricos. Elementos de Política para su Desarrollo Sustentable en el Siglo XXI. VOLUMEN I. Informe Principal. Anexo C. Banco Mundial. Vicepresidencia Regional de América Latina y el Caribe. Departamento de Argentina. Grupo de Gestión de Recursos Hídricos. Mayo 2000.

Gleick, P. Basic water requirements for human activities: Meeting basic needs. International Water 21(2): 83-92. 1996.

González Chaves, A; Herrero, M.A. Noviembre/diciembre 1999. Las actividades agropecuarias y su impacto en la calidad del agua en el partido de Lobos, Argentina. Ingeniería Sanitaria y Ambiental N°47:52.

Grippio Silvia B., Stella M. Visciarelli. Inversiones extranjeras y servicios públicos: problemas y conflictos (Internet)

Guatelli M. A., Gallego de Femicola N.A., Neira Rodríguez M. M. y Franchetti E. P., "La Semana Médica", 143 (15): 443-446, 1973.

Guatelli M. A., Gallego G. de Fernicola N. A., Neira Rodríguez M. M. y Franchetti E. P.: "La Semana Médica", 143, 443, 1973.

Guías de calidad para la calidad del agua potable. Segunda Edición. Volumen 3. Vigilancia y control de los abastecimientos de agua a la comunidad. Organización Mundial de la Salud. Ginebra.

Hinrichsen, D. Coastal waters of the world: Trends, threats and strategies. Washington, D.C., Island Press, 1998. 232 p.

Hinrichsen, D., Robey, B., And Upadhyay, U.D. Soluciones para un mundo con escasez de agua. Population Reports, Serie M, No. 14. Baltimore, Johns Hopkins School of Public Health, Population Information Program, septiembre de 1998.

Holmes, B. Water, water everywhere....New Scientist, Feb. 17, 1996. p. 8.

Guías para la calidad del agua potable. Segunda edición. Volumen 3. Vigilancia y control de los abastecimientos de agua a la comunidad. Organización Mundial de la Salud. Ginebra.

<http://www.mecon.gov.ar/hidricos/calidad/>

<http://www.paho.org/>

<http://www.paho.org/Spanish/HCP/HCT/EER/cholera.htm>

<http://www.paho.org/spanish/hcp/hct/eeer/colera.htm>

<http://www.unesco.org.uy/phi/libros/congreso/47tineo.pdf>

<http://165.158.1.110/spanish/sha/bs971col.htm#argentina>

<http://www.paho.org/spanish/HIA1998/Argentina.pdf>

INCONAS SRL; ECO SISTEMAS S.A.; 1993. Proyecto de Saneamiento y Control de las inundaciones del Río Reconquista: La Evaluación de Impacto Ambiental; (I) y (II), Ministerio de Obras y Servicios Públicos, La Plata.

Instituto Nacional de Estadística y Censo; Censo Económico Nacional; 1985. Ministerio de Economía y Obras Y Servicios Públicos, Buenos Aires.

La salud en las Américas, edición de 1998, Volumen II.

Laboranti, Claudio and Guillermo V. Malinow, Diagnóstico Preliminar Sobre los Recursos Hídricos en la Argentina, Sub-secretariat of Water Resources, Argentina, Enero 1995.

Lomniczi, Irene, Haydée Musso and Ricardo Pereyra. 1997. Assessment of boron concentration in surface and groundwaters in the Lerma and Calchaquí valleys (Province of Salta, Argentina). Anales de la Asociación Química Argentina, Vol. 85, N° 5/6, 283/293.

Marcovich, Esteban Bojanich and Amilcar H. Riga. Groundwater in the Province of Santa Fe. Argentine Society of Geographic Studies. Special Series. #9.

Maywald, A., Zeschmar-Lahl, B., And Lahl, U. Water fit to drink? In: Goldsmith, E. and Hildyard, N., eds. The earth report: Monitoring the battle for our environment. London, Mitchell Beazley, 1988. p. 79-88.

Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos and UNESCO, Mapa Hidrológico de la República Argentina, 1991.

Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. República de Cuba. Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano. República Argentina. Diagnóstico de la contaminación de la Cuenca del río Salí. Plan Integral de Acción para su solución. Resumen Ejecutivo. 1996

Morteo de Gomez Antonia. Presencia de bacterias y virus en aguas subterráneas. Revista AGUA N°29:32-40.

Muñoz Ratto E. Un proyecto de reglamentación para la valorización agrícola de biosólidos. Presentado en el Seminario "Disposición de biosólidos" organizado por AIDIS Argentina y la International Water Association (Setiembre de 1999).

Niemczynowicz, J. Wasted waters. UNESCO Sources, No. 84, p. 8. Nov. 1996.

Niveles Guía Nacionales de Calidad de Agua Ambiente. Julio 2002. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. República Argentina.

O.P.S. CEPIS, 1996. Reunión regional sobre calidad de agua. Control de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Lima, Perú.

Olshansky, S.J., Carnes, B., Rogers, R., and Smith, L. Infectious diseases—New and ancient threats to world health. Population Bulletin 52(2): 2-43. Jul. 1997.

OPS - Boletín Epidemiológico Cólera. Organización Panamericana de la Salud. Situación del cólera en las Américas, 1996. Vol. 18, N°1. Marzo 1997

OPS Argentina. Organización Panamericana de la Salud, oficina regional para las Américas de la Organización Mundial de la Salud. Argentina

Organización Mundial de la Salud. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. OMS Serie de Informes Técnicos 778, Ginebra (1989).

Organización Panamericana de la Salud. Página del cólera.

PESCUMA, A.; GUARESTI, M.E.; 1992. Proyecto de Saneamiento Ambiental y Control de las inundaciones de la Cuenca del Río Reconquista: Sector Saneamiento; Proyecto AR/0038; Buenos Aires.

Postel, S. Last oasis: Facing water scarcity. New York, Norton, 1997. p. 17-191

Perfil de Salud del País para ARGENTINA. Datos de salud de países. (<http://165.158.1.110/spanish/sha/prflarg.html#asis>)

Proyecto de Saneamiento Ambiental y control de las inundaciones en la Cuenca del río Reconquista (<http://www.rio-reconquista.com.ar>)

Proyecto Regional Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad Potencial. Convenio: IDRC - OPS/HEP/CEPIS 2000 - 2002. Estudio General del caso de Campo Espejo del aglomerado Gran Mendoza, República Argentina. Ing. Eduardo Barbeito Anzorena. República de Argentina, junio de 2001

Proyecto de Prevención de endemias en áreas de frontera. El caso del Cólera en Argentina y Bolivia. Foro Latinoamericano de Ciencias Ambientales (FLACAM) y Fundación Catalana de Gas (FUNCAG). 1998.

Rimski-Korsakov, H.; Alconada, M.; Lavado, R. S. Lixiviación de nitratos a partir de fertilizantes y biosólidos en un suelo arcilloso. Ingeniería Sanitaria y Ambiental N°53

Rosenberg H. G., "Arch. Pathol", 97: 360.365, 1974.

Saltiel Gustavo C., 1997. Situación ambiental en la cuenca hídrica del Río Reconquista. Problemas y soluciones (Primera Parte). Ingeniería Sanitaria y Ambiental N° 31.

Santa Cruz Jorge; D. Amato Sergio; Silva Adrián; Guarino María; Villegas Daniela; Cernadas Martín. Abril 1997. Explotación y Deterioro del Acuífero Puelches en el área Metropolitana de la República Argentina. Ingeniería Sanitaria y Ambiental N°31: 34-44.

Sapoznik Pedro y Mónica Napoli. Contaminación de las Cuencas Hídricas. Su impacto en la salud. En Cuencas Hídricas. Instituto Provincial del Medio Ambiente. Gobernación de la Provincia de Buenos Aires. 1996.

Serageldin, I. Toward sustainable management of water resources. Washington, D.C., World Bank, 1995. p. 1-33.

The World Bank 1994 Argentina. Water Supply and Sewerage Sector Norte.

The World Bank- Argentina. Managing Environmental Pollution: Issues and Options. Octubre 1995.

The World Bank, 1999 (a). Argentina, Water Sector Reform Project, Project Appraisal Document

The World Bank, 1999 (b) World Development Report, 1998-1999, Washington DC.

Tineo Alfredo. La Provincia Hidrogeológica de Bolsones y Valles Calchaquies. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillio. U.N. Tucumán. INSUGEO-CONICET

TOPALIAN, M.L.; LOPEZ, C.R.; SALIBIAN, A.; 1990. Metales pesados en el Río Reconquista (Buenos Aires): Resultados preliminares. Acta bioquímica clínica latinoamericana, Vol XXIV, N°2, 171-176.

Trelles R. A. y cols: "Fac Ing. UBA- Inst. de Ingeniería Sanitaria", Publicación número 12, 1972.

Tseng W. P. et al, "J.Natl Cancer Inst", 40: 453463, 1968.

Tseng W. P., "Environm. Health Perspect", 19: 109-119, 1977.

U.S.EPA. Guidelines for water reuse. EPA/625/R-92-004. U.S. Environmental Protection Agency, Center for Environmental Research Information, Cincinnati, Ohio (1992).

U.S.EPA. Wastewater Technology Fact Sheet. Ozone disinfection. EPA 832/F-99-063. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington D.C. (Septiembre de 1999).

Water and Sanitation sector in Argentina. Review and Strategy. Anexo F. 1999. Finance, Private Sector and Infrastructure Country Management Unit 7. Latin America and the Caribbean Regional Office.

World Health Organization. Guidelines for drinking water-quality. Second Edition. Volume I. Recommendations. Geneva, 1993.

ANEXO I

LOS PROGRAMAS DE MONITOREO COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN AMBIENTAL

La contaminación de los recursos hídricos, reviste un carácter crítico en la actualidad y sigue en aumento. Ante esto, el desarrollo de programas de monitoreo de ambientes acuáticos juega un rol clave para su control, debido a que si no se dispone de un conocimiento acabado del grado de contaminación, cualquier intento de regular los impactos de ella está destinado al fracaso.

Sin embargo, el monitoreo es una actividad científica relativamente nueva y emergente, debido a las siguientes razones:

- Las técnicas analíticas actualmente disponibles son inadecuadas para cuantificar con exactitud muchos de los contaminantes de potencial importancia en ecosistemas acuáticos. En tal sentido no se ha dado un énfasis suficiente al desarrollo de la química acuática para suministrar un punto de apoyo que lleve a perfeccionar esas técnicas.
- No hay duda que el Hombre ha ignorado por mucho tiempo la amenaza presentada a los ambientes acuáticos a través de la descarga de contaminantes, confiando en una capacidad ilimitada de ríos y océanos que los define como lugares apropiados para disponer de ellos.
- El desarrollo de nuevas técnicas para el monitoreo de contaminantes acuáticos ha sido muy lento.

El monitoreo ambiental fue considerado por Chapman et al. (1987) como la repetición de una colección de datos, con el objeto de establecer tendencias en parámetros ambientales. Ellos postulan que las estimaciones realizadas a través de un monitoreo incluyen:

- i) Indicaciones a priori de problemas que se desarrollan en un recurso, antes que adquieran un carácter crítico, y
- ii) Evaluaciones a posteriori de cambios temporales en determinados parámetros de interés.

Sin embargo, algunos autores han reconocido más razones para ejecutar monitoreos ambientales e.g., Holdgate, 1978; Reay, 1979; Martin & Coughtrey, 1982). Ellas pueden ser resumidas de la siguiente manera:

- Investigar los efectos de la calidad ambiental sobre la salud humana u otros parámetros en un intento de dilucidar las relaciones causa/efecto.
- Analizar efluentes, aguas receptoras o biota para sustancias potencialmente tóxicas, incluyendo en determinados casos la estimación de requerimientos para control de descargas (emisiones).
- Estudiar las fuentes de origen, trayectorias de transporte y resumideros de contaminantes en el medio ambiente.
- Suministrar un registro histórico de las descargas (emisiones) o de la calidad ambiental, con el objeto de asegurar el cumplimiento de estándares o legislación vigente.
- Investigar impactos ambientales específicos de proyectos individuales o múltiples.

OBJETIVOS DE UN PROGRAMA DE MONITOREO

El establecimiento de objetivos de un monitoreo, es el aspecto más importante en el diseño de programas, para estudiar la contaminación en los ecosistemas acuáticos. Phillips & Segar (1986) han argumentado que la definición de objetivos que no sean ambiguos es fundamental, para lograr un diseño detallado y eficiente de un programa de monitoreo.

En el contexto anterior, las razones más importantes para desarrollar programas de monitoreo en ambientes acuáticos son las siguientes:

- Establecer tendencias espaciales de la contaminación.
- Definir cambios temporales de la contaminación y su relación con consideraciones regulatorias (e.g., estándares de calidad).
- Proteger las pesquerías comerciales, otros aspectos biológicos de los ecosistemas o salud pública.
- Identificar nuevos contaminantes en los ambientes acuáticos.

Es importante indicar que, aún cuando los programas de monitoreo pueden ser diseñados para satisfacer uno o más de esos objetivos, el diseño óptimo difiere para cada uno de ellos (NAS, 1980; Phillips & Segar, op. cit.). Por ejemplo, un programa para estudiar tendencias espaciales de la contaminación, debería considerar un diseño significativamente diferente, que otros destinado a establecer tendencias temporales de la contaminación en cualquier cuerpo de agua en particular.

TIPOS DE CONTAMINANTES DEL AGUA

Contaminantes físicos (Parámetros de tipo físico que afectan la calidad del agua)

Color.- El color es el resultado de la reflexión de ciertas longitudes de onda de la luz incidente. El Color puro se debe a las sustancias disueltas y se obtiene después de filtrar la muestra (eliminando la turbidez). El Color aparente se debe a la suma de sustancias disueltas más las partículas en suspensión. 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 se deben a la presencia de manganoso.

Turbidez.- La turbidez se debe a sustancias insolubles en suspensión, coloides, microorganismos. Un agua turbia dificulta el paso de la luz impidiendo la fotosíntesis y disminuyendo el aporte de oxígeno disuelto. La transparencia de un cuerpo de agua natural es un factor decisivo para su calidad y productividad.

Temperatura.- La temperatura del agua determina sus propiedades físicas, químicas y biológicas. La temperatura es importante en la solubilidad de las sales, y de los gases por lo tanto influye en la conductividad y en el pH. Una contaminación térmica (vertido de efluentes con temperatura alta) se detecta por un aumento de más de 3° C en una zona respecto de las adyacentes.

Conductividad.- La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad e indica la materia ionizable total. Este parámetro depende de la temperatura. La dureza y conductividad son dos parámetros que están muy relacionados, ya que las sales de calcio y magnesio son las más abundantes en la naturaleza. La conductividad y la dureza reflejan el grado de mineralización de las aguas y su productividad potencial.

pH.- El pH indica la concentración de iones hidronios en el agua y usado como una medida de la naturaleza ácida o alcalina de una solución acuosa.

pH = 7 medio neutro

pH < 7 medio ácido

pH > 7 medio básico

El pH en el agua natural depende de la concentración de CO₂, las aguas con pH entre 6 a 7, 2 son ideales para la biota acuática.

Sólidos.- Sólidos totales (ST) corresponden a los residuos de material que queda en la cápsula después de la evaporación de una muestra de agua. Los ST incluyen partículas de suelo insolubles, sedimento, material sólido orgánico e inorgánico que está suspendido en el agua y que en términos de masa total es la mayor fuente de contaminación acuática. Muchos ríos llevan naturalmente una carga de sedimentos originados en la erosión natural que ocurre en su respectiva hoya hidrográfica. Sin embargo en muchos ríos la carga de sedimentos ha aumentado bruscamente a causa de la erosión acelerada de campos de cultivos, deforestación, construcciones y explotaciones mineras. Los sólidos suspendidos enturbian el agua, reduce la habilidad de algunos organismos para encontrar comida, reduce fotosíntesis, interrumpe cadenas tróficas, tapa las agallas de los peces y los órganos filtradores de los bivalvos y otros organismos filtradores, transporta pesticidas, bacterias, metales tóxicos y otras sustancias dañinas. Los sedimentos originados por los sólidos suspendidos, destruyen los lugares de alimentación y reproducción de peces, obstruyen y cubren lagos, represas, ríos y bahías.

Contaminantes Químicos:

Compuestos que forman parte de ciclos biogeoquímicos. Muchos elementos, compuestos o sustancias que forman parte de los ciclos biogeoquímicos, pueden llegar a convertirse en contaminantes de ésta, dependiendo de las condiciones físicoquímicas del agua. Los ciclos biogeoquímicos más importantes son los del carbono, nitrógeno, fósforo y azufre. El estado de cada elemento dentro de su ciclo depende del medio hídrico, es decir que la actividad de elementos reductores y oxidantes está determinada por la presencia de oxígeno disuelto, del pH, del potencial redox, la temperatura y la turbidez, etc.

- Amonio. Las aguas superficiales bien aireadas no deben contener amonio. Aguas abajo de descargas de aguas servidas se encuentra amonio en concentraciones de hasta 4 mg/l. La presencia de amonio indica contaminación reciente.
- Nitrito. Los nitritos provienen de la oxidación del amonio o reducción del nitrato. La presencia de nitritos indica contaminación.
- Nitrato. El nitrato proviene principalmente del uso de fertilizantes
- Fósforo. El fósforo se puede encontrar como fósforo orgánico fósforo inorgánico (ortofosfatos) disuelto o en suspensión. El fósforo disuelto puede provenir de las rocas o del lavado del suelo en cuyo caso indica contaminación por estiércol o pozos negros. Como el fósforo es un factor limitante en el crecimiento de algas o fitoplancton, su presencia favorece la eutrofi-

zación y trae como consecuencia el aumento de materia orgánica, bacterias heterotrófas y finalmente disminución del oxígeno disuelto.

Contaminantes orgánicos. La contaminación orgánica es la más importante en magnitud y sus fuentes son de origen doméstico, industrial, agrícola y ganadero.

Hay tres índices para medir la contaminación orgánica en forma global:

- A. LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)
- B. LA DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO)
- C. CARBONO ORGÁNICO TOTAL

- A. La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno consumido por la materia existente en el agua, oxidable en condiciones determinadas (estima materia oxidable de origen orgánico y mineral).

Algunos valores de DQO.

1-5mg/L	aguas no contaminadas
250-600 mg/L	aguas residuales domésticas

En aguas residuales industriales, el DQO depende del proceso de fabricación

- B. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno mide la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica, de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios.

La relación entre DBO/DQO indica la biodegradabilidad de la materia contaminante, ej. en aguas residuales:

DBO/DQO < 0,2 vertido de tipo inorgánico
DBO/DQO (0,6 vertido de tipo orgánico

- C. CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT)

Mide el contenido total de carbón de los compuestos orgánicos (orgánicos fijo, volátiles ya sea naturales o sintéticos) Es la expresión más correcta del contenido orgánico total)

Microcontaminantes: Son sustancias que se encuentran en pequeña concentración pero que sus efectos en el medio son amplias:

- A. Microcontaminantes inorgánicos (Metales trazas como contaminantes acuáticos):

El término elemento traza se refiere a aquellos elementos que están presentes en un siste-

ma en concentraciones medibles en ppm (partes por millón) o menores (ppb: partes por billón, ppt: partes por trillón).

Algunos de estos elementos trazas son nutrientes tanto para plantas como animales. Muchos son esenciales a baja concentración pero tóxicos a concentraciones más altas.

Algunos metales pesados son contaminantes muy dañinos para organismos vivos. Ejemplo Hierro (Fe, elemento esencial), Plomo (Pb), Cadmio (Cd), y Mercurio (Hg).

Algunos metaloides (elementos que se ubican entre los metales y no metales en la Tabla periódica) son importantes contaminantes acuáticos. Ej. Arsénico (As), Selenio (Se), y Antimonio (Sb).

B. Microcontaminantes orgánicos:

Estos compuestos se caracterizan por ser: complejos, tóxicos, bioconcentración, modifican características organolépticas del agua y de difícil determinación analítica.

B.1 Pesticidas

Los pesticidas constituyen la amenaza más seria al ambiente, estos incluyen: insecticidas, moluscicidas, nematocidas, rodenticidas, herbicidas, fungicidas, bactericidas, algicidas. Los principales grupos son: organoclorados, organofosforados, carbamatos, triazinas y fenoxiácidos. Los más resistentes a la biodegradación son los organoclorados, y los más lábiles son los organofosforados. Estos últimos, sin embargo, producen al degradarse compuestos con la misma o mayor toxicidad.

Los pesticidas entran en el agua directamente por aplicación para la eliminación de mosquitos o indirectamente por escorrentía de tierras agrícolas y forestales.

B.2 Detergentes

Los detergentes aniónicos del tipo alquilbencenosulfonato (ABS) y alquilsulfonato lineales (LAS) son los más empleados. Los ABS son resistentes a la biodegradación y tóxicos para la vida acuática. Por este motivo han sido sustituidos por los LAS, los cuales son fácilmente degradados por las bacterias.

B.3. Fenoles.

Los fenoles proceden principalmente de los procesos industriales (industria química, celulosa, del carbón, petroquímica) y también de la degradación de pesticidas.

B.4. Hidrocarburos.

Proviene de derrames de petróleo, vertidos industriales. Dan sabor y olor desagradable.

B.5. Bifenilos Policlorados (PCB's)

Los bifenilos policlorados fueron detectados como contaminantes ambientales en 1966. A partir de esa fecha los PCB's han sido detectados en aguas, sedimentos, aves, y peces alrededor de todo el mundo. Los PCB's fueron usados como aisladores térmicos en transformadores e impregnación de asbestos y en algunas pinturas epóxicas. La síntesis de estos compuestos involucra la cloración de un núcleo bifenilo, la molécula resultante puede tener de 1 a 10 áto-

mos de cloro. Dependiendo de la combinación se pueden obtener más de 200 compuestos diferentes. Los PCB son muy estables y persistentes ya que no son química ni biológicamente degradables y al igual que el DDT son bioacumulados y magnificados en las cadenas tróficas.

B.6. Sustancias Húmicas.

Proviene de la lixiviación de la capa orgánica del suelo(hojas y madera).

Contaminantes Biológicos:

1. Microorganismos

Los microorganismos han causado grandes epidemias (ej. tifus, cólera, disentería). Sin embargo además de microorganismos patógenos existen microorganismos que contribuyen a la autodepuración de aguas contaminadas, especialmente a aquellas con contaminación orgánica

MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA

La recolección de las muestras depende de los procedimientos analíticos empleados y los objetivos del estudio.

El objetivo del monitoreo es obtener una parte representativa del material bajo estudio (cuerpo de agua, efluente industrial, agua residual, etc.) para la cual se analizarán las variables físico-químicas de interés.

El volumen del material captado se transporta hasta el lugar de almacenamiento (cuarto frío, refrigerador, nevera, etc.), para luego ser transferido al laboratorio para el respectivo análisis, momento en el cual la muestra debe conservar las características del material original. Para lograr el objetivo se requiere que la muestra conserve las concentraciones relativas de todos los componentes presentes en el material original y que no hayan ocurrido cambios significativos en su composición antes del análisis.

En algunos casos, el objetivo del muestreo es demostrar que se cumplen las normas especificadas por la legislación (resoluciones de las autoridades ambientales). Las muestras ingresan al laboratorio para determinaciones específicas, sin embargo, la responsabilidad de las condiciones y validez de las mismas debe ser asumida por las personas responsables del muestreo, de la conservación y el transporte de las muestras. Las técnicas de recolección y preservación de las muestras tienen una gran importancia, debido a la necesidad de verificar la precisión, exactitud y representatividad de los datos que resulten de los análisis.

TIPOS DE MUESTRAS

Muestra simple o puntual: Una muestra representa la composición del cuerpo de agua original para el lugar, tiempo y circunstancias particulares en las que se realizó su captación. Cuando la composición de una fuente es relativamente constante a través de un tiempo prolongado o a lo largo de distancias sustanciales en todas las direcciones, puede decirse que la muestra representa un intervalo de tiempo o un volumen más extensos. En tales circunstancias, un cuerpo de agua puede estar adecuadamente representado por muestras simples, como en el caso de algunas aguas de suministro, aguas superficiales, y efluentes residuales.

Cuando se sabe que un cuerpo de agua varía con el tiempo, las muestras simples tomadas a intervalos de tiempo precisados, y analizadas por separado, deben registrar la extensión, frecuencia y duración de las variaciones. Es necesario escoger los intervalos de muestreo de acuerdo con la frecuencia esperada de los cambios, que puede variar desde tiempos tan cortos como 5 minutos hasta 1 hora o más. Las variaciones estacionales en sistemas naturales pueden necesitar muestreos de varios meses. Cuando la composición de las fuentes varía en el espacio más que en el tiempo, se requiere tomar las muestras en los sitios apropiados.

- **Muestras compuestas** : En la mayoría de los casos, el término “muestra compuesta” se refiere a una combinación de muestras sencillas o puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos.

Algunas veces el término “compuesta en tiempo (time-composite)” se usa para distinguir este tipo de muestras de otras. La mayor parte de las muestras compuestas en el tiempo se emplean para observar concentraciones promedio, usadas para calcular las respectivas cargas o la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales. El uso de muestras compuestas representa un ahorro sustancial en costo y esfuerzo del laboratorio comparativamente con el análisis por separado de un gran número de muestras y su consecuente cálculo de promedios.

Para estos propósitos, se considera estándar para la mayoría de determinaciones una muestra compuesta que representa un período de 24 hs. Sin embargo, bajo otras circunstancias puede ser preferible una muestra compuesta que represente un cambio, o un menor lapso de tiempo, o un ciclo completo de una operación periódica. Para evaluar los efectos de descargas y operaciones variables o irregulares, tomar muestras compuestas que representen el período durante el cual ocurren tales descargas.

No se debe emplear muestras compuestas para la determinación de componentes o características sujetas a cambios significativos e inevitables durante el almacenamiento; sino hacer tales determinaciones en muestras individuales lo más pronto posible después de la toma y preferiblemente en el sitio de muestreo. Ejemplos de este tipo de determinaciones son: gases disueltos, cloro residual, sulfuros solubles, temperatura y pH. Los cambios en componentes como oxígeno o dióxido de carbono disueltos, pH, o temperatura, pueden producir cambios secundarios en determinados constituyentes inorgánicos tales como hierro, manganeso, alcalinidad o dureza. Las muestras compuestas en el tiempo se pueden usar para determinar solamente los componentes que permanecen sin alteraciones bajo las condiciones de toma de muestra, preservación y almacenamiento.

Tomar porciones individuales del cuerpo de agua en estudio en botellas de boca ancha cada hora (en algunos casos cada media hora o incluso cada 5 min.) y mezclarlas al final del período de muestreo, o combinarlas en una sola botella al momento de tomarlas. Si las muestras van a ser preservadas, agregar previamente las respectivas sustancias a la botella, de tal manera que todas las porciones de la composición sean preservadas tan pronto como se recolectan. Algunas veces es necesario el análisis de muestras individuales.

Es deseable, y a menudo esencial, combinar las muestras individuales en volúmenes proporcionales al caudal. Para el análisis de aguas residuales y efluentes, por lo general es suficiente un volumen final de muestra de 2 a 3 L. Para este propósito existen muestreadores automáticos, que no deben ser empleados a menos que la muestra sea preservada; limpiar tales equipos y las botellas diariamente, para eliminar el crecimiento biológico y cualquier otro depósito.

- **Muestras integradas:** Para ciertos propósitos, es mejor analizar mezclas de muestras puntuales tomadas simultáneamente en diferentes puntos, o lo más cercanas posible. Un ejemplo de la necesidad de muestreo integrado ocurre en ríos o corrientes que varían en composición a lo ancho y profundo de su cauce. Para evaluar la composición promedio o la carga total, se usa una mezcla de muestras que representan varios puntos de la sección transversal, en proporción a sus flujos relativos. La necesidad de muestras integradas también se puede presentar si se propone un tratamiento combinado para varios efluentes residuales separados, cuya interacción puede tener un efecto significativo en la tratabilidad o en la composición. La predicción matemática puede ser inexacta o imposible, mientras que la evaluación de una muestra integrada puede dar información más útil.

Los lagos naturales y artificiales muestran variaciones de composición según la localización horizontal y la profundidad; sin embargo, estas son condiciones bajo las cuales las variaciones locales son más importantes mientras que los resultados promedio y totales no son especialmente útiles. En tales casos se deben examinar las muestras separadamente antes que integrarlas.

La preparación de muestras integradas requiere generalmente de equipos diseñados para tomar muestras de una profundidad determinada sin que se contaminen con la columna de agua superior.

Generalmente se requiere conocer el volumen, movimiento, y composición de varias partes del cuerpo de agua a ser estudiado. La toma de muestras integradas es un proceso complicado y especializado que se debe describir adecuadamente en el plan de muestreo.

MÉTODOS DE MUESTREO

- **Muestreo manual:** El muestreo manual requiere de un mínimo de equipo, pero para programas de muestreo a gran escala o de rutina puede ser excesivamente costoso y de manejo dispendioso.
- **Muestreo automático:** Los equipos de muestreo automático pueden eliminar errores humanos, inherentes al muestreo manual, reducen los costos y permiten aumentar la frecuencia del muestreo. El muestreador no debe contaminar las muestras, es el caso de los recipientes plás-

tivos incompatibles para almacenar muestras que contienen compuestos orgánicos y que solubilizan los componentes plásticos. En algunos casos un muestreador manual con recipiente de vidrio puede resultar más adecuado. Programar el muestreador automático de acuerdo con las especificaciones del mismo y las necesidades del muestreo, ajustar cuidadosamente las velocidades de la bomba y los tamaños de los tubos según el tipo de muestra a tomar.

RECIPIENTES PARA LAS MUESTRAS

Los recipientes para las muestras generalmente están hechos de plástico o de vidrio, y se utilizan de acuerdo con la naturaleza de la muestra y sus componentes. Los recipientes de vidrio son inconvenientes para muestras destinadas a ser analizadas por metales traza; el vidrio libera silicio y sodio, a su vez, pueden adsorber trazas de metales contenidas en la muestra. Por otra parte los recipientes de plástico -excepto los teflonados (politetrafluoroetileno, TFE)- deben descartarse para muestras que contengan compuestos orgánicos, estos materiales liberan sustancias del plástico (por ejemplo, ésteres de ftalato del plástico) y a su vez disuelven algunos compuestos orgánicos volátiles de la muestra.

Las tapas de los envases, generalmente de plástico, también pueden ser un problema, por lo que se debe usar empaques o séptum de metal o TFE. Para situaciones críticas, es adecuada la inclusión de un blanco del recipiente para demostrar la ausencia de interferencias. Usar los de vidrio para todos los análisis de compuestos orgánicos volátiles, semivolátiles, plaguicidas, PCBs, aceites y grasas.

PRECAUCIONES GENERALES

Uno de los requerimientos básicos en el programa de muestreo es una manipulación ausente de procesos de deterioro o de contaminación antes de iniciar los análisis en el laboratorio; en el muestreo de aguas, antes de coleccionar la muestra es necesario purgar el recipiente dos o tres veces, a menos que contenga agentes preservativos. Dependiendo del tipo de determinación, el recipiente se llena completamente (esto para la mayoría de las determinaciones de compuestos orgánicos), o se deja un espacio para aireación o mezcla (por ejemplo en análisis microbiológicos); si el recipiente contiene preservativos no puede ser rebosado, lo cual ocasionaría una pérdida por dilución. Excepto cuando el muestreo tiene como objetivo el análisis de compuestos orgánicos, se debe dejar un espacio de aire equivalente a aproximadamente 1% del volumen del recipiente, para permitir la expansión térmica durante su transporte.

Cuando las muestras coleccionadas contienen compuestos orgánicos o metales traza, se requieren precauciones especiales, debido a que muchos constituyentes están presentes en concentraciones de unos pocos microgramos por litro y se puede correr el riesgo de una pérdida total o parcial, si el muestreo no se ejecuta con los procedimientos precisos para la adecuada preservación.

Las muestras representativas se pueden obtener sólo coleccionando muestras compuestas en periodos de tiempo predeterminados o en diferentes puntos de muestreo; las condiciones de recolección varían con las localidades y no existen recomendaciones específicas que puedan ser aplicables en forma general.

Algunas veces es más informativo analizar varias muestras en forma separada en lugar de obtener una muestra compuesta, ya que es posible aparentar su variabilidad, los máximos y los mínimos.

En términos generales, la muestra coleccionada debe asegurar que los resultados analíticos obtenidos representan la composición actual de la misma. Los siguientes factores afectan los resultados: presencia de material suspendido o turbidez, el método seleccionado para su remoción, los cambios físico-químicos en el almacenamiento o por aireación. Por consiguiente es necesario disponer de los procedimientos detallados (como filtración, sedimentación, etc.) a los que se van a someter las muestras antes de ser analizadas, especialmente si se trata de metales traza o compuestos orgánicos en concentraciones traza. En algunas determinaciones como los análisis para plomo, estos pueden ser invalidados por la contaminación que se puede presentar en tales procesos. Cada muestra debe ser tratada en forma individual, teniendo en cuenta las sustancias que se van a determinar, la cantidad y naturaleza de la turbidez presente, y cualquier otra condición que pueda influenciar los resultados.

La selección de la técnica para recolectar una muestra homogénea debe ser definida en el plan de muestreo. Generalmente, se separa cualquier cantidad significativa de material suspendido por decantación, centrifugación o un procedimiento de filtración adecuado. Para el análisis de metales la muestra puede ser filtrada o no, o ambas, si se requiere diferenciar el total de metales y los disueltos presentes en la matriz.

CANTIDAD DE MUESTRA

Para la mayoría de los análisis físicos y químicos es necesario tomar 2 Lts. de muestra. Para determinados análisis puede ser necesario un mayor volumen de muestra. Para pruebas químicas, bacteriológicas y microscópicas se deben tomar muestras por separado debido a que los métodos de recolección y manejo son diferentes. Coleccionar siempre un volumen de muestra suficiente en el recipiente adecuado que permita hacer las mediciones de acuerdo con los requerimientos de manejo, almacenamiento y preservación.

PRESERVACIÓN DE LA MUESTRA

Es prácticamente imposible la preservación completa e inequívoca de las muestras de aguas residuales domésticas e industriales y de aguas naturales. Independientemente de la naturaleza de la muestra, nunca puede lograrse la completa estabilidad de todos sus constituyentes, en el mejor de los casos, las técnicas de preservación solamente pueden retardar los cambios químicos y biológicos, que continúan inevitablemente después de que la muestra se retira de su fuente.

- **Naturaleza de los cambios en la muestra:** Los cambios químicos son función de las condiciones físicas y suceden en la estructura de ciertos constituyentes. Los cationes metálicos pueden precipitarse como hidróxidos, formar complejos con otros constituyentes, e incluso algunos, tales como aluminio, cadmio, cromo, cobre, hierro, plomo, manganeso, plata y zinc, se pueden adsorber en las superficies de los recipientes (vidrio, plástico, cuarzo, etc.). Bajo determinadas condiciones oxidantes o reductoras, los iones pueden cambiar de estado de valencia; otros constituyentes se pueden disolver o volatilizar con el paso del tiempo.

Los cambios biológicos que tienen lugar en una muestra pueden cambiar la valencia de un elemento o radical; los constituyentes solubles pueden convertirse en materiales orgánicamente enlazados a las estructuras celulares; o la ruptura de las células puede liberar el material celular hacia la solución. Los ciclos del nitrógeno y del fósforo son ejemplos de la in-

fluencia biológica en la composición de la muestra. La actividad microbiológica puede ser responsable de cambios en el contenido de nitrato-nitrito-amonio, disminución de la concentración de fenoles y de la DBO, o de la reducción del sulfato a sulfuro.

- Intervalo de tiempo entre la toma y el análisis de muestras:** Los resultados analíticos son más exactos en la medida que el tiempo transcurrido entre la toma de la muestra y su análisis sea menor, hecho especialmente cierto cuando las concentraciones de los analitos están en el orden de mg/L. Para evaluar ciertos constituyentes y parámetros físicos, se requiere su análisis inmediato en el campo. Para las muestras compuestas se registra el tiempo en el momento de finalizar la operación de composición.

Los cambios provocados por el crecimiento de microorganismos se retardan por almacenamiento de la muestra en la oscuridad y a baja temperatura (<4° C pero sin congelar). Registrar el tiempo transcurrido hasta el momento del análisis de la muestra, y la técnica de preservación aplicada.

- Técnicas de preservación:** Los métodos de preservación incluyen las siguientes operaciones: control del pH, adición de reactivos, uso de botellas ámbar y opacas, refrigeración, filtración y congelamiento; y obran para: (a) retardar la acción biológica, (b) retardar la hidrólisis de los compuestos o complejos químicos, (c) reducir la volatilidad de los constituyentes, y (d) reducir los efectos de absorción.

Para minimizar la volatilización o biodegradación de los constituyentes, guardar la muestra a baja temperatura sin congelación. Antes del envío al laboratorio, es preferible empacar las muestras en hielo triturado o en sustitutos comerciales del hielo; evitar el uso de hielo seco debido a que puede alterar el pH de las muestras, además de que las congela y puede causar la ruptura de los recipientes de vidrio.

Las muestras compuestas deben mantenerse a 4° C, con hielo o un sistema de refrigeración, durante el período de composición. Analizar las muestras lo más pronto posible después de su llegada al laboratorio; si esto no es posible se recomienda, para la mayoría de muestras, almacenamiento a 4° C.

La adición de preservativos químicos sólo es aplicable cuando estos no interfieren con los análisis a realizarse, y deben agregarse previamente a la botella de muestra de tal manera que todas las porciones de muestra se preserven de inmediato. En ocasiones, cuando se hacen diferentes determinaciones en una muestra es necesario tomar diferentes porciones y preservarlas por separado, debido a que el de preservación puede interferir con otra determinación. Todos los métodos de preservación pueden ser inadecuados cuando se aplican a la materia en suspensión. El formaldehído afecta la mayoría de análisis químicos y no debe usarse como preservativo.

En la Tabla 1 se detallan los métodos de preservación recomendados para varios constituyentes; la estimación del volumen de muestra requerido para su análisis; el tipo de recipiente sugerido; y el tiempo máximo de almacenamiento recomendado para muestras preservadas en condiciones óptimas.

Sin embargo, es imposible dar las reglas absolutas para prevenir todos los cambios posibles; en cada protocolo de análisis de las variables fisicoquímicas se encuentra la información correspondiente. La confiabilidad de una determinación analítica se apoya en la experiencia y buen criterio de la persona que toma la muestra.

Tabla 1. Recomendaciones para el muestreo y preservación de acuerdo con las mediciones a realizar.

Parámetros	Recipiente	Volumen	Tipo de muestra	Preservación	Almacenamiento máximo recomendado
Alcalinidad	P, V	200	s	Refrigerar	14 d
Carbono Org. Total	V	100	s, c	Análisis inmediato; o refrigerar y agregar H ₃ PO ₄ o H ₂ SO ₄ hasta pH<2	28 d
Cloro, residual	P, V	500	s	Análisis inmediato	—
Clorofila	P, V	500	s, c	30 d en la oscuridad	30 d
Cloruro	P, V	50	s, c	No requiere	28 d
Color	P, V	500	s, c	Refrigerar	48 h
Plaguicidas	V(S)	1000	s, c	Refrigerar; agregar 1000 mg ácido ascórbico/L si hay cloro residual	7 d hasta la extracción
Fenoles	P, V	500	s, c	Refrigerar; agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2	40 d después de extraer
Conductividad	P, V	500	s, c	Refrigerar	28 d
DBO	P, V	1000	s	Refrigerar	48 h
CO ₂	P, V	100	s	Análisis inmediato	—
DQO	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible, o agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2; refrigerar	28 d
Dureza	P, V	100	s, c	Agregar HNO ₃ hasta pH<2	6 meses
Fosfato	V(A)	100	s	Para fosfato disuelto filtrar inmediatamente; refrigerar	48 h
Grasa y aceite	V, boca ancha	1000	s, c	Agregar HCl hasta pH<2, refrigerar	28 d
Metales, general		500	s	Filtrar, agregar HNO ₃ hasta pH<2	6 meses
Cromo VI	P (A), V(A)	300	s	Refrigerar	24 h
Mercurio	P (A), V(A)	500	s, c	Agregar HNO ₃ hasta pH<2, 4° C, refrigerar	28 d
Amoníaco	P, V	500	s, c	Analizar lo más pronto posible, o agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2; refrigerar	28 d
Nitrato	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	48 h (28 d para muestras cloradas)
Nitrato + nitrito	P, V	200	s, c	Agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2, refrigerar	28 d
Nitrito	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	48 h
Orgánico, Kjeldahl	P, V	500	s, c	Refrigerar; agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2	28 d
Olor	V	500	s	Analizar lo más pronto posible; refrigerar	—
O.D:	botella DBO	300	s	La titulación puede aplazarse después de la acidificación	8 h
pH	P, V	50	s	Análisis inmediato	—
Sólidos	P, V	200	s, c	Refrigerar	2-7 d
Sulfato	P, V	100	s, c	Refrigerar	28 d
Sulfuro	P, V	100	s, c	Refrigerar; agregar 4 gotas de acetato de zinc 2N/100 mL; agregar NaOH hasta pH>9	7 d
Turbidez	P, V	100	s, c	Analizar el mismo día; para más de 24 h guardar en oscuridad, refrigerar	48 h

PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

Uno de los productos finales del monitoreo ambiental es una información tabulada, cartografía temática o cualquier otra forma, que permita utilizar los datos y tratarlos de la forma más adecuada, para llegar al objetivo final de clasificación del ambiente.

En general, el estudio del medio debe conducir a una expresión gráfica de los datos que permitan una visualización instantánea global, así como una percepción más profunda que facilite el análisis de la información. El disponer de una representación gráfica adecuada permite el análisis de los datos y su comparación, así como la verificación de los criterios de base y la generalización de los resultados.

Esta transcripción gráfica asegura la posibilidad de obtención de consecuencias, tales como similitudes o diferencias; sin embargo es conveniente asegurar la máxima eficacia visual de la representación, así como una organización eficiente, incluso en gráficos distintos, para facilitar las deducciones.

Una gran cantidad de los datos registrados pueden formatearse como una tabla de doble entrada, y así ser transcritos en forma de matriz. Probablemente sea esta la solución de uso más común, entre todas las que se basan en propiedades de percepción visual. Esencialmente, todas las variaciones posibles giran alrededor de las dimensiones de la tabla, determinadas no sólo por los datos, sino también por las hipótesis asumidas y los medios disponibles para reducir dichos datos, en particular métodos gráficos y matemáticos. El análisis matricial de un problema es un proceso que permite observarlo globalmente, esto es, reconstruirlo gráficamente y prever posibles elecciones y repercusiones. Un aspecto básico de este procedimiento se localiza en la homogeneidad de la representación; normalmente las componentes que se ubican sobre el eje horizontal son los objetos estadísticos, para los cuales las componentes que se localizan sobre el eje vertical son las características.

TIPOS DE GRÁFICOS

En sentido amplio, el término gráfico se usa para designar un conjunto de representaciones simbólicas, tales como círculos divididos, diagramas en estrella, gráficos de barras, diagramas de dispersión, etc., así como los llamados gráficos de línea, en los cuales una serie de puntos se ubican mediante sus coordenadas y se enlazan posteriormente con una línea. En las citadas representaciones simbólicas es corriente el empleo de elementos gráficos, tales como columnas, sectores, rayos, etc. y se les denomina con frecuencia diagramas.

Los gráficos de barras están formados por una serie de barras de longitud proporcional a la cantidad que representan. Pueden ser simples, cuando cada barra representa un valor total, o compuestos cuando cada barra se divide para mostrar sus elementos constituyentes, así como el valor total.

Los gráficos de torta muestra con especial claridad el efecto de contraste de la desigualdad en un reparto proporcional, pudiendo además incluir considerable cantidad de información. En ellos, un círculo se divide en sectores, cada uno de los cuales es proporcional al valor que representa.

Los diagramas en estrella, son un tipo de diagrama en el cual los valores a representar se dibujan como radios que parten de un punto tornado como origen. Cada rayo tiene una longitud pro-

porcional a la magnitud que representa, (también puede ser dibujado con grosor proporcional) y se extiende en la dirección correcta medida a partir de un valor cero fijado por conveniencia. Este tipo de diagramas es el empleado en la elaboración de las llamadas «rosas de los vientos».

Para analizar la dispersión de un conjunto de valores, tienen interés especial los denominados **diagramas de dispersión**. El principio básico de estos diagramas se concreta en la representación de valor por un punto, en una escala vertical. Este tipo de diagramas es frecuentemente utilizado en el análisis de la variación de las precipitaciones, representando la lluvia caída en cada mes del año para un conjunto de años.

El tipo convencional de **gráfico de línea cartesiana**, es aquél en el que se representan una serie de puntos por medio de sus coordenadas rectangulares. Las abscisas se miden sobre una escala horizontal, mientras que las ordenadas se colocan sobre otra escala vertical. Una variación de este tipo es aquella en la que se emplean coordenadas oblicuas para representar los puntos. Cuando se emplean tres coordenadas oblicuas, al gráfico resultante se le denomina triangular.

Un **gráfico de línea simple** muestra una única serie de valores enlazados por una línea. En el tipo múltiple aparecen varios conjuntos de valores conectados por líneas distintas, con el objeto de permitir alguna comparación directa. En los gráficos de línea compuestos se muestra la evolución de un valor tanto en su valor total como en los elementos constituyentes, mediante una serie de líneas en el mismo sistema de ejes.

Un grupo importante de gráficos están especializados en ilustrar la distribución y asociación espacial de una selección de diversos fenómenos geográficos. Elementos tales como caminos o carreteras, ríos, elevaciones, fronteras, asentamientos urbanos, etc., son ejemplos típicos recogidos en estos gráficos, denominados mapas, cuyo estudio es objeto de la **Cartografía**.

CARTOGRAFÍA

La cartografía es una importante rama del amplio conjunto de los gráficos, que manipula, analiza y representa, ideas, formas y relaciones que se producen tanto en el plano como en el espacio. En sentido amplio, la cartografía incluye cualquier actividad basada en la generación y uso de mapas. Abarca múltiples técnicas aplicadas a la reducción y simplificación de las características espaciales de áreas amplias (incluso toda la Tierra), con el objeto de hacerlas observables, dotándolas de la forma y características propias de un mapa. No obstante, técnicas similares pueden emplearse para representar de forma visible objetos microscópicos.

Aunque no es corriente referirse a este proceso como cartografía, a las imágenes resultantes sí se las suele llamar mapas.

La última etapa de la fase de inventario es la cartografía de cada uno de los elementos del ambiente considerados, es decir, la creación de un soporte gráfico de información adecuado a los niveles de detalle seguidos en el análisis. La representación cartográfica puede tomar las siguientes formas:

Cartografía puntual: cuando la información se refiera a puntos del territorio caracterizados por sus coordenadas geográficas y la clase del elemento analizado, la representación cartográfica

ca se realiza puntualmente. Este podría ser el caso de datos procedentes de estaciones meteorológicas, presencia de recursos culturales o valores singulares, localización de manantiales, etc. La información así obtenida necesita un tratamiento posterior para su generalización a formas superficiales: por ejemplo, la introducción del concepto de distancia, que será considerada en apartados posteriores.

Cartografía lineal. en algunos casos los datos a cartografiar requieren una representación lineal, como ocurre en el caso de cursos de agua, carreteras, tendidos eléctricos, etc. El proceso posterior es similar a la cartografía puntual, y precisa de un tratamiento que transforme la información y resulte manejable en las fases de análisis y clasificación.

Cartografía en malla: En algunas ocasiones el territorio se estructura según una malla, generalmente cuadrada, que dirige la recogida de datos a determinados vértices de la cuadrícula o el punto medio de ella. Al vértice o punto elegido como representante de cada celda se le asigna, la información temática correspondiente a dicho punto; la información temática que caracteriza a la mayoría de la superficie de la celda o cuadrícula. La clase (unidad territorial o información temática en general) asignada al punto representativo se generaliza a toda la superficie de la celda, con lo que la zona a estudiar queda totalmente cubierta y cada punto del territorio asignado a una determinada clase o unidad temática. En los estudios de paisaje, por ejemplo, la visibilidad puede ser inventariada mediante la introducción de una malla que determine el alcance y el ángulo de visión de determinadas zonas.

Cartografía de isolíneas: la información disponible se estructura según funciones de gradiente, donde cada línea representa los puntos de igual valor. Las isolíneas pueden trazarse a partir de una red de puntos y una posterior interpolación en zonas donde no existen datos. La información en este caso no necesita tratamiento posterior al encontrarse perfectamente territorializada. Las alturas del nivel freático, profundidad de suelos, precipitaciones, altitudes, etc., se cartografían fácilmente en forma de isolíneas.

Cartografía superficial: la cartografía representa, zonas que se consideran homogéneas en cuanto al elemento estudiado. Es la cartografía habitual en estudios del subsistema físico, ya que los elementos que se inventarían suelen tener una representación superficial. Este es el caso de los mapas de unidades de vegetación, hábitats faunísticos, tipos de suelo, litología, etc.

Estos cinco tipos cartográficos almacenan la información y sirven de base para cualquier etapa posterior de integración de elementos, clasificación o valoración del territorio; sin embargo, en muchos casos el volumen de datos y la superficie a estudiar son tan extensos que se hace necesaria la automatización del estudio, creando un banco de datos que permita la generación de una cartografía automática.

REFERENCIAS

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 19 ed., New York, 1995
Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, 1983.

ANEXO II

SITIOS DE INTERNET CON INFORMACIÓN SOBRE RECURSOS HÍDRICOS.

A continuación se presentan algunos de los principales sitios de la Internet donde es posible rescatar información sobre Recursos Hídricos a nivel mundial, privilegiando sitios en español, con especial énfasis en Latinoamérica y en la Argentina.

SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS

Subsecretaría de Recursos Hídricos

República Argentina

<http://www.mecon.gov.ar/hidricos/>

Política Hídrica, Características Físico-Hídricas de la Argentina, Plan Federal de Control de Inundaciones, Priorización de Proyectos, Acciones y Proyectos, Infraestructura Hídrica

AGUAS ARGENTINAS

<http://www.aguasargentinas.com.ar/home.html>

Sitio asociado a la empresa de abastecimiento y tratamiento del agua, contiene información y documentos sobre sistemas de tratamiento y disposición de aguas. Contiene gran parte de lo que se debe saber sobre el agua potable, procesos de depuración y eliminación, biblioteca específica, museo, etc.

EL INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA (INA)

Argentina

<http://www.ina.gov.ar/>

El Instituto Nacional del Agua (INA), continuador de las tareas iniciadas en el año 1973 por el Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas (INCYTH) es un organismo descentralizado dependiente de la Subsecretaría de Recursos Hídricos. Tiene por objetivo satisfacer los requerimientos de estudio, investigación, desarrollo tecnológico y prestación de servicios especializados en el campo del conocimiento, aprovechamiento, control y preservación del agua tendiente a implementar y desarrollar la política hídrica nacional.

A través de sus centros especializados y regionales y sus distintos programas, el Instituto desarrolla actividades que abarcan diversos campos de estudio tales como:

- Crecidas, inundaciones y aluviones;
- * Erosión y sedimentación;
- Hidráulica de grandes obras;
- Hidráulica fluvial, marítima e industrial;
- Hidrología, superficial, subterránea y urbana;
- Riego y drenaje;
- Sistemas de alerta hidrológico;
- Calidad de agua, contaminación;
- Calidad de cursos y cuerpos receptores;
- Tratamiento de agua y efluentes;

- Economía, legislación y administración del agua;
- Impacto hidráulico de obras de infraestructura
- Estudios de impacto ambiental;
- Bases de datos de recursos hídricos y saneamiento.

INSTITUTO ARGENTINO DE RECURSOS HÍDRICOS (IARH)

<http://www.iarh.org.ar/>

Este sitio del I.A.R.H. presenta estudios, promoción y divulgación sobre los diversos aspectos relativos al conocimiento, uso, preservación y administración de los recursos hídricos. Entre sus propósitos están: la difusión de trabajos, la realización de reuniones científicas y técnicas y la publicación de boletines, revistas y libros sobre distintos temas de la especialidad. El I.A.R.H. asimismo organiza cursos especializados en colaboración con universidades e impulsa la vinculación e intercambio entre personas e instituciones relacionadas con los recursos hídricos, tanto en el país como en el extranjero. De ese modo el I.A.R.H. fomenta la formación de recursos humanos y el debate sobre la importancia de la preservación y uso racional de los recursos hídricos, tanto en el contexto nacional, provincial, interprovincial y municipal, como en el ámbito de los recursos compartidos con otros países.

LA ENTIDAD BINACIONAL YACYRETÁ

http://www.eby.org.ar/html/proyecto_1.html

Importante proyecto de Presa situada a unos 2 km aguas abajo de los rápidos de Apipé; 70 km al oeste de Posadas (Argentina) y Encarnación (Paraguay; a 300 Km al sudeste de Asunción y a 1000 km al Norte de Buenos Aires). En el sitio se analizan en detalle los aspectos técnicos y medioambientales de este tipo de proyectos hídricos.

RED INTERAMERICANA DE RECURSOS HÍDRICOS (RIRH)

<http://www.iwrn.net/mainspanish.html>

La Red Interamericana de Recursos Hídricos (RIRH) es una red de redes que tiene el propósito de establecer y fortalecer alianzas en la esfera de los recursos hídricos entre naciones, organizaciones e individuos; promover la educación y el intercambio libre de información y experiencia técnica; y mejorar la comunicación, la colaboración y el compromiso financiero en materia de gestión integrada de recursos hídricos y de suelos en el contexto de sostenibilidad ambiental y económica en las Américas.

La RIRH está compuesta por un Consejo Asesor de más de 130 instituciones, organizaciones y representantes del sector privado. La RIRH también tiene Puntos Focales Nacionales en cada uno de los 34 países miembros de la Organización de los Estados Americanos (OEA).

PROGRAMA MUNDIAL DE EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

http://www.unesco.org/water/wwap/index_es.shtml

El Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos pretende desarrollar los instrumentos y competencias necesarios para mejorar la comprensión de los procesos fundamentales, las prácticas de gestión y las políticas que contribuirán a mejorar la calidad y suministro de agua dulce del planeta.

Los objetivos son:

- Evaluar el estado de los recursos hídricos y de los ecosistemas a ellos ligados a nivel mundial;
- Identificar las cuestiones críticas y los problemas que se plantean;
- Desarrollar indicadores y medir el progreso hacia la consecución de un uso sostenible de los recursos hídricos;
- Ayudar a los países a desarrollar su propia capacidad de evaluación;
- Documentar las lecciones aprendidas y publicar un Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (WWDR) a intervalos regulares.

El sitio presenta estudios de caso, informes, resolución de conflictos, etc.

BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO

Departamento de Desarrollo Sostenible

http://www.iadb.org/sds/ENV/site_43_s.htm#top

Análisis de instituciones, instrumentos jurídicos y mecanismos técnicos que permitan llegar a un enfoque integrado de planificación teniendo en cuenta todas las fuentes y usos del agua en determinada cuenca fluvial.

AGUAMARKET

Diccionario del Agua

<http://aguamarket.com/diccionario/>

Más de 5.700 términos y conceptos relacionados con el agua, la protección del ambiente acuático y el tratamiento de las aguas.

PORTAL AGUA.COM

<http://www.portal-agua.com/>

Portal-agua.com es una iniciativa de Ecologistas en Acción región murciana para fomentar el debate sobre el problema del agua en esa tierra.

ECOWEB LATINOAMERICA

<http://ecoweb-la.com/sitios/agu/>

En esta página web se pueden encontrar diferentes sitios que muestran tópicos relacionados con la contaminación del agua, desarrollo de cuencas hidrográficas, etc.

INFOAGUA

<http://www.infoagua.org/>

Sitio cuyo propósito es servir como punto de encuentro para los profesionales, instituciones, empresas y asociaciones dedicadas a la preservación del medioambiente acuático en la región latinoamericana. La información que se presenta en el sitio ha sido desarrollada y preparada por el editor, tomando como fuente literatura técnica, documentos, cursos, seminarios, información de fabricantes de equipos así como su propia experiencia en el diseño y operación de plantas de tratamiento y en la consultoría ambiental.

EMPRESA MUNICIPAL DE ABASTECIMIENTO Y SANEAMIENTO DE AGUAS DE SEVILLA S.A.

www.emasesa.com

Sitio asociado a la empresa de abastecimiento y tratamiento del agua, contiene información y documentos sobre sistemas de tratamiento y disposición de aguas.

AGUAS DE BARCELONA

www.agbar.es

Sitio asociado a empresa de abastecimiento y tratamiento del agua, contiene información y documentos sobre sistemas de tratamiento y disposición de aguas.

EMPRESA GENERAL VALENCIANA DEL AGUA, S.A.

www.egevasa.es

INTERTRAMP S.L.

<http://www.itp-depuracion.com/>

Depuradoras compactas de aguas residuales para pequeñas comunidades.

WATERXPERT

www.waterxpert.com

Contiene información sobre Laboratorios de Análisis Químico

AGUAS DE CARTAGENA

www.acuacar.com

Sitio asociado a la empresa de abastecimiento y tratamiento del agua, contiene información y documentos sobre sistemas de tratamiento y disposición de aguas.

AGENCIA CATALANA DEL AGUA (GENERALITAT DE CATALUNYA)

<http://www.gencat.es/aca/cas/principal.htm>

Sitio asociado a la empresa de abastecimiento y tratamiento del agua, contiene información y documentos sobre sistemas de tratamiento y disposición de aguas.

AGUANUESTRA C.A.

www.aguanuestra.com

Sitio asociado a la empresa de abastecimiento y tratamiento del agua, contiene información y documentos sobre sistemas de tratamiento y disposición de aguas.

UIE

Unión de las industrias y empresas del agua y del medio ambiente (Francia).

www.french-water.com

La UIE, es una organización profesional francesa, miembro de la federación nacional de las obras públicas (FNTP). Tiene 7 sindicatos especializados que engloban más de 200 empresas. Desarrolla también el sitio <http://www.waternunc.com/esp/guiaesp.htm#web>, donde pueden ser ubicadas las tres principales empresas francesas del sector del agua (en francés).

ADECAGUA

Asociación para la defensa de la calidad de las aguas

<http://www.adecagua.org/>

Adecagua es la asociación miembro de la WEF en España. Como tal, su labor principal es procurar formación y ayuda a los profesionales del sector del tratamiento y calidad de aguas.

HISPAGUA

Ministerio del Medio Ambiente, España

http://www.mma.es/ciclo_hidr/hispagua/index.htm

Sitio con información actualizada del agua en España. También incluye contenidos generales sobre agua, como: propiedades, informes, estudios, legislación, iniciativas, documentos, etc.

CENCA

Centro de Consulta del Agua

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

<http://cenca.imta.mx/>

El Centro de Consulta del Agua (Cenca) es un centro especializado de información relacionada con el sector agua de México y del mundo.

Proporciona productos y servicios de información tecnológica que contribuyen al desarrollo del sector, apoyando a sus usuarios en la solución de problemas técnicos, en la toma de decisiones y en su actualización profesional.

OFICINA INTERNACIONAL DEL AGUA

<http://www.oieau.fr/espagnol/oie/fpresent.htm>

La Oficina Internacional del Agua (OIA) es una Asociación Ley Francesa del 1 Julio 1901, declarada de Utilidad Pública por decreto del Consejo de Estado del 13 de Septiembre de 1991, sin finalidad lucrativa.

La OIA tiene por vocación reunir a todos los organismos públicos y privados involucrados en la gestión y protección de los recursos hídricos, en Francia, Europa y el Mundo (organizaciones de cooperación bi y multilaterales, ministerios, agencias de cuenca, colectividades territoriales, universidades, establecimientos de enseñanza superior, centros de investigación, ordenadores regionales, suministradores y profesionales del agua, industriales, federaciones profesionales, organizaciones no gubernamentales) con el fin de crear una verdadera red de socios.

Hoy en día 149 organizaciones son miembros de la Oficina.

WATER

Unesco

http://www.unesco.org/water/about_es.shtml

El Portal del Agua de la UNESCO pretende facilitar el acceso a la información relacionada con agua dulce disponible en la Red.

Este sitio web alberga los programas sobre agua dulce de la UNESCO o liderados por ésta y servirá como punto de encuentro interactivo para intercambiar ideas, compartir información y buscar sitios web de organizaciones relacionadas con el agua, tanto a nivel gubernamental como no gubernamental. Para ello, el portal incluye toda una serie de secciones tales como enlaces, eventos, módulos de formación y otros recursos en línea.

WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF)

<http://www.wef.org/>

Water Environment Federation (WEF) es una organización técnica y educativa sin fines de lucro fundada en 1928 con el objeto de conservar y realzar globalmente el ambiente del agua. Sus 42.000 socios en todo el mundo son profesionales y especialistas en calidad del agua: ingenieros,

científicos, funcionarios de gobierno, gerentes y operadores de plantas de tratamiento, profesores universitarios y estudiantes, fabricantes y distribuidores de equipos, además de especialistas en otros aspectos ambientales.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA) Chile

<http://www.dga.cl/>

Sitio de la DGA con documentos, estadísticas, etc., asociadas a las funciones de la DGA que son:

- Planificar el desarrollo del recurso hídrico en las fuentes naturales, con el fin de formular recomendaciones para su aprovechamiento.
- Constituir derechos de aprovechamiento de aguas.
- Investigar y medir el recurso.
- Mantener y operar el servicio hidrométrico nacional, proporcionar y publicar la información correspondiente.
- Propender a la coordinación de los programas de investigación que corresponda a las entidades del sector público, así como de las privadas que realicen esos trabajos con financiamiento parcial del Estado.
- Ejercer la labor de policía y vigilancia de las aguas en los cauces naturales de uso público e impedir que en éstos se construyan, modifiquen o destruyan obras sin la autorización del Servicio o autoridad a quien corresponda aprobar su construcción o autorizar su demolición o modificación.
- Supervigilar el funcionamiento de las Juntas de Vigilancia, de acuerdo con lo dispuesto en el Código de Aguas.

AGENCIA NACIONAL DE AGUAS (ANA) Brasil

<http://www.ana.gov.br/folder/index.htm>

Sitio de la entidad responsable de la ejecución de la Política Nacional de Recursos Hídricos. Es una agencia vinculada al Ministerio del Medio Ambiente. Su principal competencia es la de implementar la gestión de los recursos hídricos del país.

El sitio contiene diversa información sobre la utilización de los ríos, de forma de evitar su contaminación y garantizar agua de buena calidad para las generaciones futuras.

GLOSARIO HIDROLÓGICO INTERNACIONAL UNESCO

<http://www.cig.ensmp.fr/~hubert/glu/HINDEST.HTM>

Este glosario es una contribución del Comité Hidrológico francés al Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO. Disponible en 12 lenguas.

AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMÉRICA (USEPA).

Oficina del Agua

<http://www.epa.gov/ow/>

Sitio Oficial del gobierno de Estados Unidos para el tratamiento de temas ambientales. Entrega gran cantidad de información y documentos sobre el agua, tanto en español como en inglés. Sitio de preferencia para la búsqueda de metodologías de tratamiento o análisis de aguas, normativas, criterios, directrices, etc., aplicables a nivel nacional o estadual en USA o de aplicación internacional.

SERVICIO GEOLÓGICO DE LOS ESTADOS UNIDOS. Recursos Hídricos de los Estados Unidos

<http://water.usgs.gov/>

Sitio oficial del gobierno de Estados Unidos. Entrega información sobre el estado de los recursos hídricos en todo el país. Dispone de gran cantidad de bases de datos. Mayormente en inglés.

INFOR-AGUA

<http://www.pangea.org/org/foroagua/fa-i6.html>

Boletín periódico de temas de actualidad sobre el agua, que incluye un apartado de nueva legislación, noticias, etc. Se edita desde la página FORo DEL AGUA.

AIGUARIUM

<http://www.upf.es/occ/aiguariu/frames/arium0e.htm>

Página divulgativa con temas de edición semanal sobre el agua. Editada por el observatorio de Comunicación Científica de la Univ. Pompeu Fabra de Barcelona.

AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION

<http://www.uwin.siu.edu/~awra>

AWRA presenta extensa información acerca de los recursos y utilización del agua. La utilización del agua abarca cinco campos: la industria, la agricultura, la producción, electricidad, el uso doméstico y el consumo.

ARIZONA WATER RESOURCES RESEARCH CENTER

<http://ag.arizona.edu/AZWATER>

El Centro de Estudios de los Recursos del Agua de Arizona conduce, apoya y coordina estudios relacionados al agua y produce publicaciones para divulgar información a una amplia audiencia desde el público en general hasta los profesionales expertos en esta materia.

FORO DEL AGUA

<http://www.pangea.org/org/foroagua>

El Foro del Agua tiene como objetivo promover el conocimiento y el debate sobre el estado de los recursos hídricos en España, así como sobre las políticas al respecto. Cuenta con una publicación regular de artículos académicos ("Inforagua"), noticias legislativas, de actualidad, listado de documentación disponible, bibliotecas y direcciones de interés. Todo relacionado con la gestión del agua.

KENTUCKY WATER RESOURCES RESEARCH INSTITUTE

<http://www.uky.edu/WaterResources/>

Información acerca de las actividades de la Universidad de Kentucky relacionadas con el agua.

OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU

<http://www.oieau.fr/espagnol/index.htm#>

Asociación que ofrece información técnica sobre temas de la gestión del agua, normativa, etc. Principalmente en francés, pero contiene importantes documentos en español.

WATER WORLD

<http://www.waterworld.com>

Este sitio provee a diario información sobre manejo y operación de procesos industriales ligados al agua y aguas de desecho. Principalmente en Inglés.

WORLD WIDE WATER

<http://www.world-wide-water.com/>

World-Wide-Water (W-W-Water) es el sitio de la empresa consultora especializada en aguas, aguas servidas y particularmente en desalinización. Contiene información sobre el mundo del agua, de las aguas servidas y de la desalinización. Inglés y español.

WATER WISER

<http://www.waterwiser.org/>

Sitio con exhaustivo tratamiento en materia de conservación de agua.

EL AGUA RECURSo VITAL

<http://www.oei.org.co/fpciencia/art20.htm>

Formación continuada del profesorado de Ciencias. Una experiencia en Centroamérica y El Caribe.

FORWARDS.COM

<http://www.aqueous.com/>

Buscador específico sobre temas de agua

EL AGUA POTABLE

http://aguapotable.netfirms.com/el_agua_temas_diversos.htm

En este sitio se exponen una serie de enlaces a temas generales sobre el agua, tales como características, disponibilidad, uso y abuso, el agua y la salud, el agua en situaciones de emergencia, reglamentaciones y normas diversas, etc.

Se incluye también otra página con el sumario de artículos principalmente centrados en materias relacionadas con el tratamiento del agua, procedentes o extraídos de diversas revistas de la especialidad, publicados en inglés, español y francés, por diferentes autores.

WATER ENVIRONMENT FEDERATION

<http://www.wef.org/>

El sitio WEF entrega gran cantidad de información y materiales que describen aspectos de interés en el tema agua, incluyendo desechos peligrosos, reciclaje de biosólidos y gestión de cuencas.

AGUALANDIA.COM

<http://www.agualandia.com/>

Sitio con información general sobre características, usos y tratamientos del agua.

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

www.unizar.es

Contiene aspectos socioeconómicos e institucionales de la Gestión de las Aguas. Dispone de gran cantidad de artículos descargables sobre el tema agua.

WATER AND CONFLICT

<http://allserv.rug.ac.be/~sdconinc/waternet/>

Analiza el rol del agua en los conflictos y en la cooperación. Se centra en la problemática Palestino-Israelí. En inglés, con buen número de sitios de interés en español.

INTERNATIONAL WATER LAW PROJECT

<http://www.internationalwaterlaw.org/>

Noticias, casos legales, documentos, bibliografía, cursos, etc.

UNITED NATIONS. CCIW. GLOBAL ENVIRONMENT MONITORING SYSTEM FRESHWATER QUALITY PROGRAMME.

www.cciw.ca/gems/intro.html

Sitio del programa destinado a entender aspectos generales y tendencias internacionales (estado) del agua dulce. Principalmente en inglés, pero varios documentos en español.

RED IRIS

<http://www.rediris.es/list/info/agua-derecho.es.html>

La lista agua-derecho surge como una filial especializada de la lista agua-es, con el objetivo de informar y debatir las materias específicas del derecho del agua, especialmente en España, Portugal y Latinoamérica. La finalidad práctica es permitir que aquellos interesados exclusivamente en los aspectos jurídicos de la gestión del agua tengan su cauce de intercomunicación.

COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE, CHILE

<http://www.conama.cl/portal/1255/propertyvalue-10482.html>

Sitio oficial de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, que es la institución del Estado de Chile que tiene como misión promover la sustentabilidad ambiental del proceso de desarrollo y coordinar las acciones derivadas de las políticas y estrategias definidas por el gobierno en materia ambiental. Contiene documentos descargables y un gran volumen de información relativa al recurso agua.

CENTRO UNIVERSITARIO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN EN CIENCIAS AMBIENTALES EUROPA-LATINOAMÉRICA. Centro EULA-Chile

www.eula.cl

Este sitio contiene una gran variedad de información sobre aspectos generales del agua, varios de ellos descargables. Además, entrega vínculos con importantes organizaciones que realizan Formación, Docencia e Investigación a nivel internacional.

ANEXO III

SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DE RESIDUOS LIQUIDOS

Las tecnologías de tratamiento de residuos tienen como objetivo disminuir el impacto ambiental de dichas descargas, y generar residuos finales que cumplan con los flujos y concentraciones de contaminantes estipulados en la legislación vigente, o en las políticas de la empresa. En este anexo, se revisará en forma general los principales procesos de tratamiento de los residuos líquidos (Zaror, 1998). En primer lugar, se describe los mecanismos generales presentes en los sistemas de tratamiento de residuos y las consideraciones que se debe tener presentes en la selección de las operaciones unitarias.

1) MECANISMOS PRESENTES EN LOS TRATAMIENTOS DE RESIDUOS

En general, los tratamientos de residuos se basan en alguno(s) de los siguientes mecanismos:

Eliminación física del contaminante

A través de operaciones de separación, tales como: filtración, sedimentación, adsorción, absorción, extracción, etc..

Destrucción o transformación química/biológica del contaminante

Transformando el contaminante a una forma menos contaminante y/o eliminable de la corriente de descarga. Por ejemplo, a través de un tratamiento aeróbico, combustión del material orgánico, transformación de óxido de azufre a sulfato, etc..

Consumo del material contaminante

Ya sea recuperando y reciclando compuestos reutilizables o generando nuevos sub-productos (ej.: digestión anaeróbica (metano), fertilizantes, combustibles (sólidos), etc.).

Muchas veces los procesos de tratamiento, simplemente cambian la fase en la que se encuentra presente el contaminante, con lo que el problema ambiental puede persistir (ej.: la adsorción de fenoles en carbón activado; en este caso se traslada el problema, a uno de contaminación en fase sólida). A veces, dicho cambio de fase permite un mejor manejo del material contaminante, disminuyendo su impacto final. Tal es el caso de los tratamientos aeróbicos, donde los compuestos orgánicos disueltos en el efluente son utilizados en los procesos de metabolismo celular e incorporados a la biomasa, la cual puede ser separada y desechada con mayor facilidad. De este modo, el tratamiento sirve como una etapa de concentración de los residuos.

Criterios de Selección de Operaciones Unitarias para el Tratamiento de Residuos

Existe una amplísima gama de tecnologías que sirven para la remoción, destrucción, transformación o utilización de residuos. La tabla 1 muestra una lista de procesos disponibles para la remoción de contaminantes específicos. Casi todas estas operaciones son operaciones unitarias, que están establecidas en la industria de procesos.

La selección de las operaciones unitarias que se requiere incluir en un sistema de tratamiento depende de factores tanto técnicos como económicos. A continuación, se enumera algunos aspectos que deben ser tomados en consideración:

- Tipo de contaminante a eliminar.
- Características del medio receptor (alcantarillado público, aguas superficiales, aguas subterráneas, características de ventilación atmosférica, etc.).
- Normativa legal aplicable.
- Eficiencia de depuración requerida.
- Presencia de otros contaminantes que puedan afectar el tratamiento (ej.: efectos inhibitorios debido a compuestos tóxicos).
- Generación de residuos secundarios; por ejemplo: lodos de tratamiento primario y secundario.
- Requerimientos de tratamiento para los residuos secundarios.
- Cambio de fase de contaminantes peligrosos (ej.: adsorción de metales pesados a los lodos biológicos en el tratamiento secundario).
- Características ambientales del área de la planta (es decir, cercanía de poblaciones, dirección de los vientos predominantes, características climáticas).
- Datos sobre la cinética de los procesos: si no se cuenta con datos propios, se debe utilizar información de literatura o de otras plantas industriales similares.
- Requerimientos energéticos y aditivos químicos.
- Requerimientos de terreno para la instalación de las unidades de tratamiento.
- Complejidad y confiabilidad del sistema de tratamiento.
- Requerimientos de monitoreo y control automático.
- Cantidad y tipo de personal.
- Estabilidad operacional frente a cambios de caudal y concentración. Requerimientos de mantención periódica.
- Respuesta frente a parada de planta.
- Tiempo y recursos requeridos para la puesta en marcha (importante para el caso de los sistemas de tratamiento biológicos, donde se necesita generar una gran cantidad de biomasa activa).

La mayoría de las operaciones unitarias utilizadas en el tratamiento de residuos se encuentra ampliamente documentada en la literatura técnica especializada, y se sugiere consultar los textos de Metcalf-Eddy (1991), Ramalho (1983), Kelly (1998), Perry & Green (1998), entre otros, citados en lista de referencias recomendadas.

Generalmente, los diseños se basan en las condiciones de operación promedio, correspondientes a un día típico. Sin embargo, es importante tomar en consideración las variaciones horarias de flujo, particularmente para diseñar los sistemas de impulsión y cañerías, y las operaciones que requieren cortos tiempos de residencia. En el caso de plantas que presenten variaciones estacionales en sus características de producción, y que generen residuos con diferencias muy significativas de flujo y cargas contaminantes, se deberá evaluar la factibilidad de que los requerimientos de depuración puedan ser cubiertos por un sistema de tratamiento único o, alternativamente, incorporar unidades adicionales para cubrir aquellas condiciones de operación extremas.

Una buena base de información sobre las características de los residuos a tratar, debería incluir las proyecciones de aumento (o disminución) de flujo y carga contaminante, debido a posibles ampliaciones de la planta, o modificaciones importantes en los procesos. Cuando se trate de diseñar sistemas de tratamiento para plantas industriales que aún no están en operación, se debe contar con información histórica sobre instalaciones similares. Mientras más completa sea la información con que se cuenta para el diseño del sistema de tratamiento, más acertado será el dimensionamiento de las unidades.

Finalmente, se debe enfatizar que la segregación racional de las distintas líneas residuales facilita el diseño de sistemas de tratamiento de mayor eficiencia y menor costo. Para ello, se debe contar con una completa caracterización de cada línea.

A continuación, se entrega antecedentes generales, con vistas a apoyar el dimensionamiento preliminar de los diferentes sistemas.

2) TRATAMIENTO DE RESIDUOS LÍQUIDOS

Los sistemas de tratamiento de uso frecuente para residuos líquidos se presentan en la Tabla 2, donde se incluyen algunas características operacionales y de diseño básicas. La Figura 1 presenta esquemáticamente la secuencia de tratamientos para un sistema convencional de depuración de residuos líquidos.

2.1) TRATAMIENTO PRIMARIO

La primera etapa de un sistema de tratamiento de residuos líquidos incluye normalmente, la separación de sólidos y material no disuelto (ej.: grasas, coloides), neutralización de pH, regulación de caudal y estabilización térmica.

La variedad de sistemas disponibles comercialmente es muy amplia para una completa revisión aquí. Los sólidos más gruesos se eliminan a través de cribaje, mientras que aquellos de menor tamaño se eliminan usando mecanismos de sedimentación o flotación. Los principios básicos se revisan a continuación. Primeramente, será necesario neutralizar y estabilizar el flujo y composición del efluente.

2.1.1) NEUTRALIZACIÓN Y REGULACIÓN DE CAUDAL

Neutralización de pH

Se aplica cuando el efluente tiene un pH fuera de los límites aceptables. Normalmente, se usan ácidos (o bases) para llevar el pH a un rango cercano a 7. En aquellos casos donde existan líneas ácidas y básicas de concentraciones similares, será posible neutralizarlas mezclándolas con anterioridad al tratamiento primario.

En la actualidad, se usa sistemas automáticos de control de pH, los que permiten una buena regulación del pH frente a cambios de carga y flujo.

El diseño de los tanques de neutralización es muy sencillo, y no presenta mayores problemas de ingeniería, dado que la reacción de neutralización química es muy rápida. Normalmente, la neutralización y la estabilización de flujo se efectúan en el mismo tanque.

Estabilización de Flujo

Normalmente, el flujo y composición de los residuos líquidos presenta enormes variaciones durante la operación rutinaria de la planta, reflejando diferentes operaciones que tienen lugar durante el proceso (ej.: lavado de los reactores). Ello puede presentar serios problemas, particular-

mente para las operaciones de tratamiento secundario, que se caracterizan por ser procesos muy lentos, cuya eficiencia es muy sensible a las variaciones de flujo y concentración.

Para garantizar un flujo y carga lo más constante posibles se puede usar un tanque de almacenamiento (homogeneizador), con un tiempo de residencia lo suficientemente largo como para amortiguar las variaciones. El tiempo de residencia (normalmente, entre 4 y 24 horas) está determinado por las características de operación de la planta, la biodegradabilidad del material orgánico y el tipo de tratamiento secundario.

Un tiempo de residencia muy largo, implicará un tanque de mayor volumen (es decir, mayor costo), y puede dar lugar a crecimiento microbiano, malos olores, etc. Cuando se trate de volúmenes de líquido muy grandes (ej.: miles de m³), se puede usar lagunas de estabilización.

La segregación de las líneas residuales de mayor contenido orgánico (que requieren de tratamiento secundario) puede resultar en una substancial disminución del flujo, con la consiguiente reducción del volumen del tanque de retención.

2.1.2) ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS GRUESOS

Los sólidos gruesos flotantes (ej.: astillas, corteza), pueden ser eliminados a través de cribas o tamices. Se debe especificar la anchura del canal y de las barras de la criba, sobre la base de la velocidad requerida para evitar la sedimentación de los sólidos. Dicha velocidad de flujo a través de la criba debe exceder 0,5 m/s, lo cual requiere de una adecuada selección de la anchura del canal. Los sólidos son removidos mecánicamente (dragas), en forma continua.

Las arenas y gravas se deben eliminar para evitar la abrasión. Un desarenador bien diseñado debe remover al menos 95% de las partículas con diámetro mayor de 0,2 mm. Para evitar la eliminación de materia orgánica, que puede producir descomposición posterior, se usa una velocidad de 0,3 (m/s), que permite eliminar los sólidos inorgánicos, pero no los orgánicos.

Otros diseños incluyen desarenadores aireados, donde el aire produce corrientes suaves que impiden la sedimentación de materia orgánica, pero no de la inorgánica.

Tabla 1: Operaciones para la eliminación de contaminantes

Contaminante: Grasas y Aceites Libres y Emulsificados:
Separación por Gravedad Filtración Flotación
Contaminante: Sólidos Suspendidos:
Sedimentación Coagulación y Sedimentación Flotación Filtración
Contaminante: Materia Orgánica Disuelta:
Tratamiento Biológico Aeróbico Tratamiento Biológico Anaeróbico Adsorción Oxidación Química
Contaminante: Sólidos Inorgánicos Disueltos:
Evaporación Intercambio Iónico Osmosis Reversa Electrodialisis
Contaminante: Ácidos y Alcalis:
Neutralización
Contaminante: Gases y Material Particulado:
Incineración Absorción Ciclones Precipitación Electrostática
Contaminante: Residuos Sólidos y Lodos de Tratamientos:
Tratamiento biológico Incineración Vertederos controlados Compostado/ Fertilizante/ Forraje Utilización Termoquímica (Carbón Activado, Licuefacción, Gasificación)

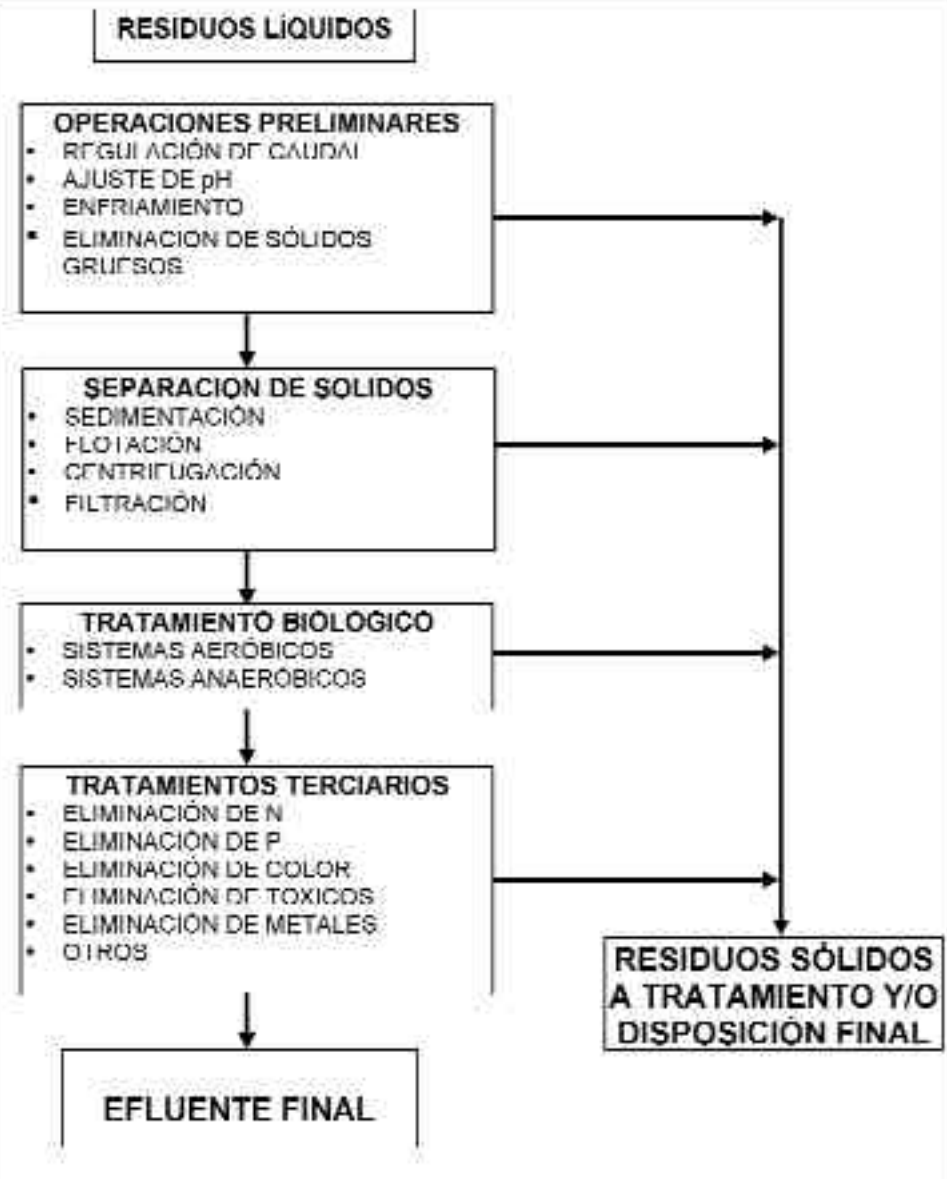


Tabla 2: Datos básicos sobre sistemas de tratamiento de residuos líquidos

SISTEMAS DE SEPARACION DE SOLIDOS			
Sedimentación:			
Tiempo de Residencia:	2-4 hrs	Remoción de Sólidos:	50-98%
		Remoción de DBO ₅ ¹ :	10-30%
Flotación:			
Tiempo de Residencia:	5-30 min.	Remoción de Sólidos:	75-98%
		Remoción de DBO ₅ :	10-30%
SISTEMAS DE TRATAMIENTO BIOLOGICO:			
Lagunas Facultativas:			
Tiempo de Residencia:	10-25 días	Remoción de DBO ₅ :	60-75%
Filtros Biológicos:			
Tiempo de Residencia:	0,4-2 días	Remoción de DBO ₅ :	60-85%
Lagunas de Aireación:			
Tiempo de Residencia:	3-7 días	Remoción de DBO ₅ :	70-97%
Lodos Activados:			
Tiempo de Residencia:	0,3-2 días	Remoción de DBO ₅ :	70-97%
Digestión Anaerobia:			
Tiempo de Residencia:	0,5-3 días	Remoción de DBO ₅ :	30-90%
OTROS DATOS:			
SISTEMAS AIREADOS:			
Requerimientos de Energía	1-3 kg O ² / kWh		
Requerimientos de Oxígeno:	1, 1-1,6 kg O ₂ / kg DBO ₅ removido		
Generación de Lodos	0,3-0,6 kg lodos / kg DBO ₅ removido		
DIGESTION ANAERÓBICA:			
Generación de Metano:	0,35 m ³ CH ₄ / kg DBO ₅ removido		
Generación de Lodos	0,05-0,15 kg lodos / kg DBO ₅ removido		

2.1.3) SEDIMENTACIÓN PRIMARIA

Se debe retirar los sólidos suspendidos (0,05-10 mm en diámetro), cuando estos están presentes en gran cantidad. No es esencial removerlos antes del tratamiento biológico, pero su separación física (primaria), puede conducir a la eliminación de un 30-40% de DBO (dependiendo de la biodegradabilidad de los sólidos).

Así, se puede reducir la carga orgánica para el tratamiento biológico, y reducir la cantidad de lodos biológicos generados. La sedimentación es, por lo tanto, el proceso de tratamiento de aguas más usado.

Tipos de tanques de sedimentación

Un tanque ideal debe tener 4 características:

- La zona de entrada debe facilitar la reducción y uniformización de la velocidad del efluente.
- Un canal de salida, para captar el líquido clarificado, con trampas para el material flotante (ej.: aceites).
- Una zona de sedimentación que representa la capacidad del tanque. En esta zona tiene lugar la sedimentación, y no debe presentar cortocircuitos o áreas estancadas.
- Una zona de almacenamiento y eliminación de los sedimentos.

Existen 3 tipos de diseños:

- Tanques de flujo horizontal: Normalmente son rectangulares (L:A=4:1). Tienen la alimentación por uno de los extremos y la salida por el extremo opuesto.
- Tanques de flujo radial: De forma circular, con alimentación en el centro, fluyendo hacia el exterior radialmente. La velocidad es más alta al centro, y disminuye hacia la periferia.
- Tanques de flujo ascendente: Ya sea de forma circular o cuadrada, con un suelo de pendiente fuerte. La alimentación se hace desde el centro del tanque, bajo la superficie, hacia abajo. Debido a la configuración del fondo, el flujo cambia de dirección bruscamente hacia arriba, y los sólidos sedimentan cerca de la periferia. Son muy eficientes.

2.1.4) FLOTACIÓN

La flotación se usa para eliminar sólidos y material no disuelto agregando burbujas de aire para lograr una densidad aparente menor que la del líquido. También se utiliza para concentrar los lodos.

Flotación con aire disuelto (FAD)

Al agregar aire bajo presión, se forman millones de microburbujas (diámetro 0,02-0,1 mm) que se meten dentro de los flóculos, o se nuclean alrededor de los sólidos suspendidos, o quedan atrapadas en los flóculos durante su formación (especialmente cuando se agregan agentes coagulantes o floculantes). La densidad aparente del conglomerado disminuye, y flota en la superficie.

En algunos diseños, el aire sólo se agrega a una parte de la alimentación; en otros casos, se recicla parte del efluente clarificado, al que se le agrega el aire comprimido.

Las principales variables de diseño son: presión, razón de reciclo, tiempo de retención, concentración de sólidos en la alimentación. Ya que la flotación depende del tipo de superficie del material particulado, los parámetros de diseño deben ser obtenidos a partir de datos de laboratorio específicos para el agua residual a tratar. En particular, el volumen de aire por unidad de masa de sólidos, debe ser determinada en base a experimentos, utilizando una celda de flotación.

Electroflotación

El equipo consiste en un tanque (que actúa como cátodo) y varios ánodos. Se aplica directamente una corriente, usando un voltaje de 10-15 volt. Los cationes formados en el cátodo neutralizan las cargas negativas de las partículas, las que coagulan y luego son flotadas por las microburbujas formadas electrolíticamente. La carga eléctrica de las sustancias coloidales y emulsificadas de origen industrial es generalmente negativa. El proceso de electroflotación neutraliza eléctricamente las cargas de las partículas, las que pueden flocular y ser llevadas a la superficie por microburbujas de oxígeno e hidrógeno que se forman por acción electrolítica.

Permite tratar aguas con concentraciones de sólidos flotantes de 9-12%, comparados con 3-5% en el caso de la FAD, sin que se requieren agentes floculantes, ni reciclo. Sin embargo, pueden existir problemas de corrosión en el ánodo.

Típicamente, el tiempo de residencia en la electroflotación está en el rango 7-12 min, con un consumo de electricidad estimado en 0.5 kWh/m³. El tamaño típico de una unidad de electroflotación permite tratar un flujo de 3000 m³/día.

2.2) TRATAMIENTO SECUNDARIO

El material orgánico solubilizado o en estado coloidal, puede ser utilizado como fuente de carbono por parte de microorganismos existentes en el medio, transformándolos en subproductos volátiles y en componentes celulares. A su vez, las células microscópicas pueden ser separadas del efluente, utilizando técnicas de separación sólido/líquido.

Estos principios son utilizados en los sistemas de tratamiento biológico de efluentes contaminados con material orgánico bioutilizable. Las diferencias entre los diferentes procesos, se manifiestan en el tipo de microorganismos utilizados, la configuración de los biorreactores, su modo de operación y el tipo de actividad biológica presente.

En estos sistemas, los contaminantes orgánicos son degradados por organismos que los transforman en compuestos más sencillos, de fácil eliminación (ej.: CO₂, CH₄) o incorporados al proceso de síntesis de material celular y, por lo tanto, concentrados en la biomasa. Esta última puede entonces ser eliminada con más facilidad por procesos de separación sólido-líquido.

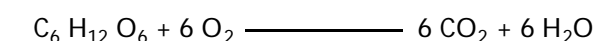
Los microorganismos juegan un papel fundamental en los sistemas de tratamiento de residuos líquidos. Algunos antecedentes básicos se presentaron en los capítulos iniciales. En términos generales, los microorganismos heterótrofos necesitan carbono, nitrógeno, fósforo y trazas de metales para llevar a cabo las reacciones metabólicas y reproducirse. Dichos microorganismos se clasifican en aeróbicos y anaerobios:

- Organismos Aeróbicos: Son aquellos que requieren oxígeno para llevar a cabo sus reacciones metabólicas. Generan CO₂ como subproducto.
- Organismos Anaeróbicos: Son aquellos que crecen en ausencia de oxígeno. Generan CO₂, CH₄ y compuestos orgánicos de bajo peso molecular como subproductos.
- Aquellos organismos aeróbicos y anaeróbicos que sólo pueden sobrevivir en su respectivo ambiente (es decir, en presencia y ausencia de oxígeno, respectivamente), se denominan organismos aeróbicos obligados y organismos anaeróbicos obligados, respectivamente.
- Los organismos que pueden sobrevivir en ambos ambientes se denominan organismos facultativos.

Antes de abordar la descripción de los sistemas de tratamiento de residuos líquidos, basados en la acción de los microorganismos, es conveniente revisar algunos conceptos básicos sobre el dimensionamiento de reactores y los métodos utilizados para determinar la concentración de material orgánico disuelto en las aguas residuales.

Determinación de Compuestos Orgánicos en Aguas Residuales

Los materiales orgánicos contenidos en las aguas residuales incluyen una amplia mezcla de compuestos, y resulta difícil su determinación individual. Desde el punto de vista del control ambiental, interesa la demanda de oxígeno que dichos compuestos imponen, ya que ello refleja el efecto que tendrán una vez que se viertan en los cuerpos de agua receptores. Los microorganismos aeróbicos consumen el oxígeno (fuente de electrones) para la producción de energía necesaria para el crecimiento. Por ejemplo, en el caso de la glucosa:



Este tipo de reacciones es usado para medir la demanda química o biológica de oxígeno. Son análisis no específicos, y los átomos de carbono pueden ser oxidados química o biológicamente para producir CO₂. A continuación, se describe brevemente algunos análisis utilizados en el control ambiental para la determinación de compuestos orgánicos disueltos en agua.

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)

El análisis de DBO usa microorganismos para oxidar los componentes orgánicos, utilizando oxígeno molecular, bajo condiciones controladas. Se mide el oxígeno consumido durante un período especificado (5 días, 7 días o 30 días). La muestra se pone en contacto con una solución saturada de oxígeno, y se incuba en un recipiente cerrado, en la oscuridad a 20°C. Generalmente, se utiliza un inóculo de microorganismos. Paralelamente, se hace un control como referencia, con agua pura y el inóculo. El test de DBO5 (5 días, 20°C) ha permanecido inalterado desde 1912. El consumo de oxígeno puede ser descrito en forma simplificada por dos reacciones: degradación (catabolismo) y síntesis (anabolismo), respectivamente.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Se refiere al potencial de oxígeno requerido para oxidar químicamente el material orgánico, bajo condiciones controladas. Usa como agente oxidante el dicromato de potasio, en presencia de H₂SO₄ y un catalizador de Ag a 150°C. El dicromato remanente se determina a partir de titulación con FeSO₄ usando Ferroína como indicador (1 mol de dicromato corresponde a 1,5 moles de oxígeno). Tiene la ventaja de que el análisis demora dos horas, por lo que puede ser utilizado en control de procesos. Generalmente, entrega valores mayores que la DBO.

Test Valor de Permanganato (VP)

La oxidación química se hace usando permanganato de potasio. Es menos riguroso que la oxidación con dicromato. Se usa H_2SO_4 diluido, y la muestra se hierve durante 30 min. El permanganato residual se titula con oxalato de amonio. Generalmente, el VP es menor que la DBO.

Demanda de Oxígeno Total (DOT)

Es un análisis rápido y automatizado, en el cual una muestra se oxida en presencia de catalizador a 900°C , en presencia de aire. La demanda de oxígeno se calcula en base al consumo de oxígeno. Este valor incluye también el consumo de oxígeno debido a la oxidación de sustancias inorgánicas y orgánicas recalcitrantes (ej.: lignina y plásticos). El valor de DOT es superior al DQO.

Los diferentes métodos de determinación de demanda de oxígeno, entregan valores diferentes, como consecuencia del poder oxidante característico de cada uno. El único de ellos que mide directamente la demanda biológica de oxígeno, es el test de DBO. Sin embargo, para que éste tenga validez, es necesario medir el consumo de oxígeno por un período mínimo de 5 días, lo cual no es adecuado como herramienta de control de procesos. Los otros tests son más rápidos, pero determinan el consumo de oxígeno asociado al efluente no sólo debido a la actividad biológica, sino que también a la oxidación química bajo diferentes condiciones de temperatura, y catalíticas. La relación entre DBO y DQO (o DOT o VP) varía dentro de márgenes relativamente pequeños para un efluente dado, y las mediciones rutinarias de oxidación química pueden ser usadas como indicadores del nivel de DBO existente.

2.2.1) SISTEMAS DE TRATAMIENTO AERÓBICO

Los procesos aeróbicos de tratamiento de efluentes están diseñados para acelerar los procesos de aireación natural y biooxidación del material orgánico. Nos referiremos aquí a las lagunas de aireación, a los sistemas de lodos activados (en sus variaciones más relevantes) y a los filtros biológicos. En cada caso, se mostrarán las características operacionales básicas y los parámetros de diseño de importancia. Ya que la aireación es de primera importancia para los procesos aeróbicos, es necesario comenzar esta sección revisando los conceptos básicos de aireación.

a.1) Aireación

Una gran parte de los costos de operación es debida al consumo energético asociado con la aireación. Por lo tanto, es importante diseñar y operar los sistemas eficientemente, para reducir el impacto económico.

La transferencia de oxígeno en los sistemas aeróbicos puede ser llevada a cabo de varias maneras, por ejemplo: mecánicamente, difusores de aire comprimido, alimentación con oxígeno puro, etc. Sin embargo, no importando cual sea el sistema, las leyes físicas que gobiernan la transferencia son comunes a todas ellas. El modelo más usado para explicar la absorción de oxígeno en un líquido supone que la velocidad de transferencia está limitada por la resistencia difusional impuesta por la película líquida estancada, presente en torno a la interfase gas - líquido (Figura 3).

Las moléculas de oxígeno son transferidas por difusión, a través de la película líquida que se forma en torno a la burbuja de aire. La fuerza motriz de dicho proceso es el gradiente de concentración de oxígeno disuelto a través de dicha película líquida. El oxígeno disuelto en el líquido

inmediatamente en contacto con el gas tendrá una concentración muy cercana a su valor de saturación ($[\text{O}_2]\text{SAT}$). Si la concentración de oxígeno disuelto en el seno del líquido, ($[\text{O}_2]$) es inferior a la concentración de saturación, se establece un flujo difusional desde la interfase hasta el seno del líquido, a través de la película estancada. El transporte de las moléculas de oxígeno desde el seno del líquido hasta las inmediaciones de los microorganismos es por convección y, posteriormente, cruzan la pared celular dentro del sistema microbiano, de acuerdo a su tasa metabólica (la que a su vez dependerá de la cantidad de nutrientes orgánicos (DBO)).

Métodos de Aireación

Existen dos técnicas generales de aireación: mecánica y por difusores.

Aireación Mecánica: La agitación en la interfase aire-líquido produce miles de gotas que entran en contacto con la atmósfera. Existen diversos diseños (ej.: sistemas superficiales, chorros de líquido, y sistemas combinados (agitación y aspersión). Los aireadores superficiales pueden ser montados verticalmente (en casi todos los casos, de turbina) u horizontalmente (sólo en el caso de zanjas de oxidación, de paletas) (Figura 4). La tasa estándar de aireación es del orden de 1 - 3 ($\text{kg O}_2/\text{kWh}$).

Aireación por Difusores: Los difusores están montados en el fondo del reactor y el aire se alimenta en burbujas. La transferencia de oxígeno tiene lugar durante el ascenso de las burbujas. Las corrientes generadas debido al burbujeo ayudan a agitar la mezcla de líquido y microorganismos. Normalmente, no todo el O_2 alimentado es transferido, y la eficiencia de utilización en los sistemas de difusores, es baja (1-15%). Se tiene una capacidad de aireación en el rango 0,5-2 ($\text{kg O}_2/\text{kWh}$). Los volúmenes de aire alimentado son del orden de 30-40 ($\text{m}^3/\text{kg DBO}$).

a.2) Configuración del Biorreactor

Tal como se mencionó en secciones anteriores, los sistemas de tratamiento biológico pueden operar en modo de operación discontinuo o continuo.

- **Modo Discontinuo** (Por lotes o batch): En este modo de operación, se presentan cuatro etapas sucesivas: alimentación, aireación, sedimentación, vaciado del sobrenadante y comienzo de un nuevo ciclo. El tiempo requerido para completar un lote comprende el tiempo de carga del reactor, el tiempo requerido para la bioreacción y el tiempo para descarga. Los tiempos de carga y descarga pueden ser muy grandes cuando el volumen de líquido a tratar es alto, por lo que el modo discontinuo se prefiere sólo para pequeña escala de operación.
- **Modo Continuo:** Se utiliza cuando la escala de operación es grande.

Reactores perfectamente agitados: Su principal ventaja radica en el hecho que el afluente es rápidamente diluido en el reactor, actuando como amortiguación contra la presencia de sustancias tóxicas que pueden estar presentes en la alimentación. La carga es uniforme en todo el reactor, con necesidad uniforme de O_2 . En la práctica, pueden existir problemas de cortocircuitos hidráulicos, debido a un mal diseño. También se presentan problemas debido a baja sedimentabilidad de los flóculos. En general, esta configuración de reactor requiere un mayor volumen que los reactores tipo flujo pistón.

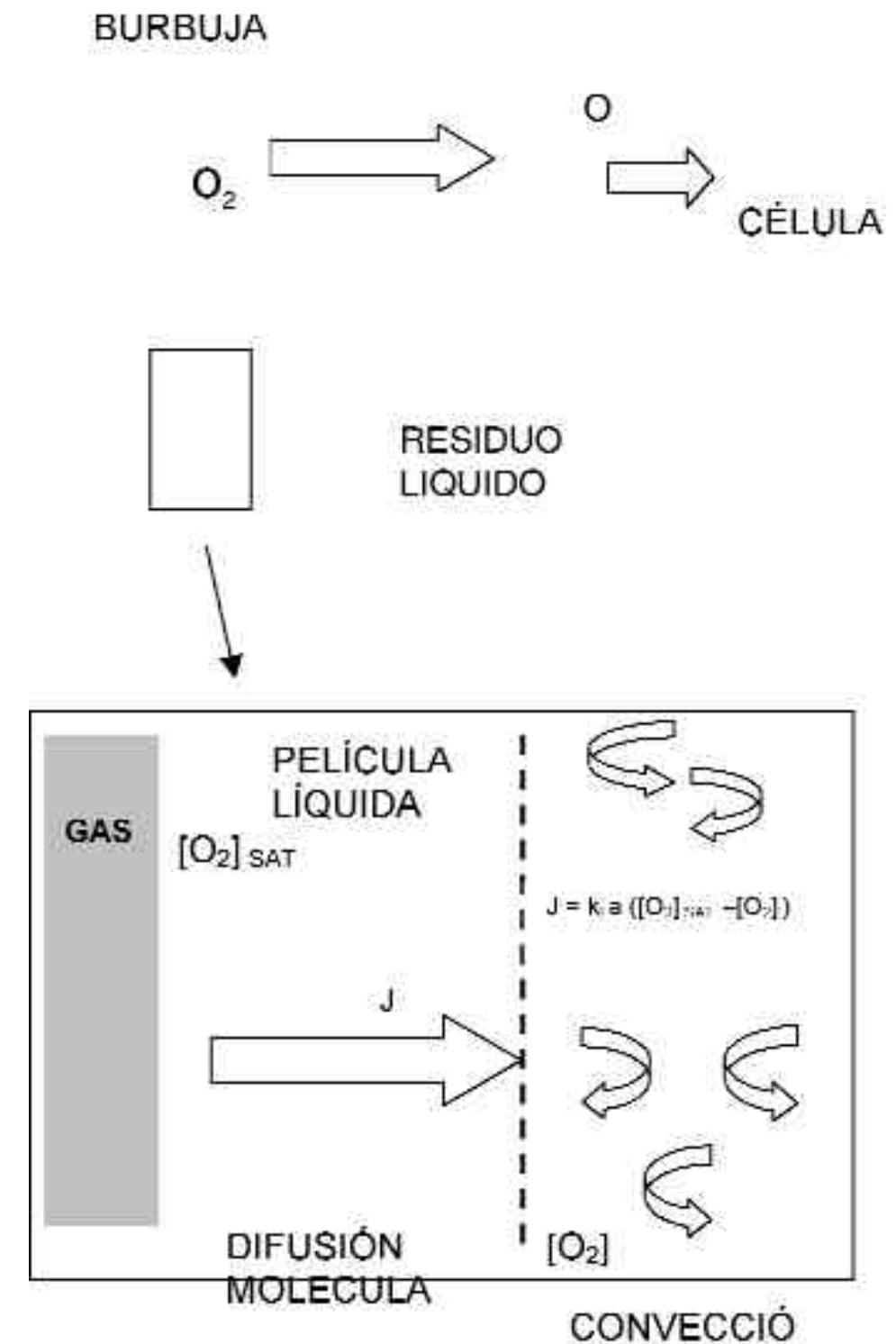
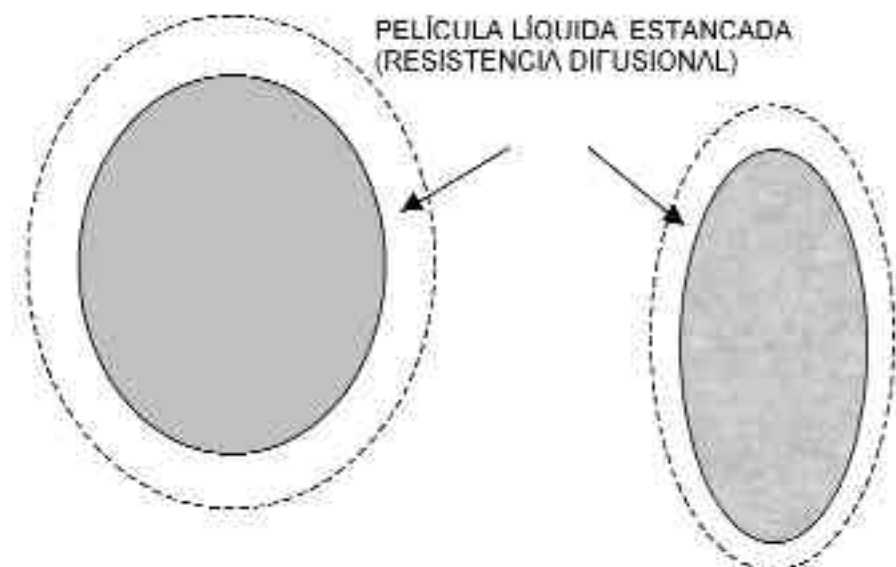
Reactores flujo pistón: Existe un gradiente axial de DBO decreciente a lo largo del reactor, creciente concentración de lodos, y decreciente concentración de O_2 disuelto. Usualmente, son zanjas largas y angostas, o se puede aproximar a partir de un gran número de reactores completamente mezclados, en serie. En la práctica, es mejor usar tanques en series, ya que cada uno de ellos puede tener su propio aireador diseñado ad-hoc. Generalmente se utiliza aireación graduada a lo largo del reactor flujo pistón, con una tasa mayor al comienzo, disminuyendo a lo largo del reactor. Los problemas de sedimentabilidad son mucho menores en los reactores de flujo pistón.

a.3) Lagunas de Aireación

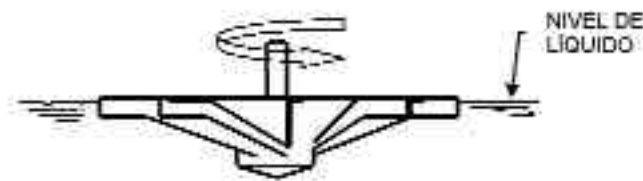
Son relativamente baratas y, aparentemente, fáciles de operar. Normalmente tienen 2-6 m de profundidad, con una gran superficie. En el caso de las lagunas de maduración, donde se tienen largos tiempos de residencia, la principal fuente de OO_2 proviene de la actividad fotosintética de las algas, llegando a niveles de oxígeno disuelto de 20-30 g/m³. En climas con menor disponibilidad de luz solar esto no es muy eficiente.

La estructura de la población microbiana en el reactor depende del tipo de afluente y de las características de aireación. Una buena aireación elimina la presencia de algas y provee una población bacteriana heterotrófica con buenas características de floculación.

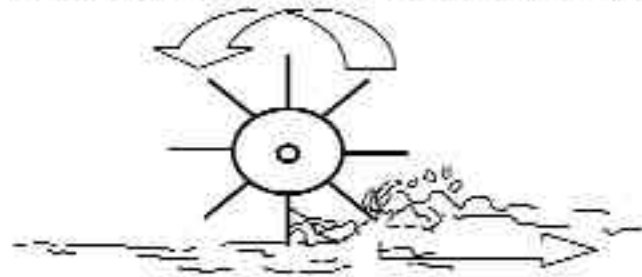
Los aireadores cumplen dos roles: oxigenación del efluente y agitación, para evitar la sedimentación de los flóculos en la laguna. Los aireadores mecánicos pueden ser flotantes o fijos. En caso de lagunas más profundas, se usa turbinas sumergidas. La potencia requerida para mezclar el contenido de la laguna, es del orden de 5-20 (W/m³). El requerimiento energético para transferencia de O_2 se puede estimar sobre la base de datos de diseño de aireadores comerciales, típicamente entre 1 y 3 (kg O_2 /kWh). Los aireadores mecánicos deben ser localizados de manera adecuada, para hacer un uso eficiente de ellos, de acuerdo a recomendaciones del fabricante. Normalmente, para aireadores de 75 kW se usa espaciamientos de 20 m o más.



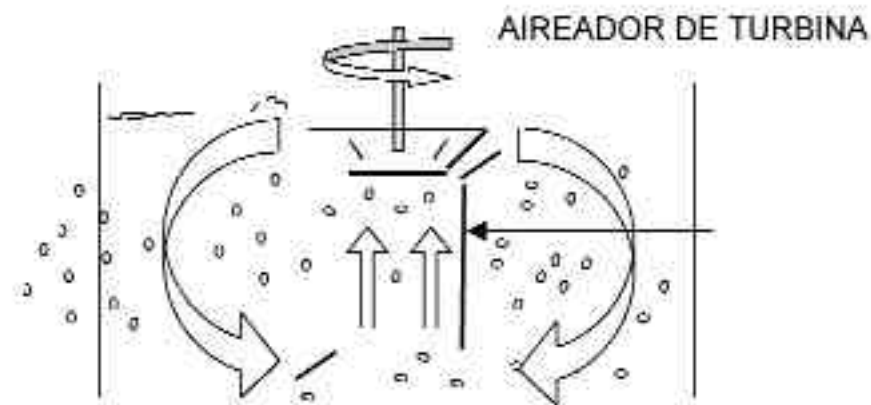
AIREADOR "SIMCAR" (SIMON-HARLEY LTD.)



AIREADOR CON CEPILLO DE KESSENER



SISTEMA DE AIRACION DE TURBINA "CONO SIMPLEX"



Los sedimentos se pueden digerir naturalmente cuando la temperatura del agua en el fondo excede los 20°C (verano, clima tropical). En climas fríos, los sedimentos se acumulan en el fondo, requiriendo una limpieza periódica.

Para estimaciones preliminares, se puede calcular el área de la laguna aireada sobre la base de un tiempo de residencia dado, por ejemplo 6 días, y una profundidad media de 5 m. También se puede utilizar una carga orgánica de diseño, con valores del orden de 400 (kg DBO alimentación ha(1día(1) con eficiencias de remoción de DBO en el rango 70-90%. En el caso de las lagunas con aireación forzada, donde existan condiciones hidrodinámicas de agitación completa, se puede utilizar las ecuaciones de diseño revisadas en secciones anteriores, en base a datos cinéticos de literatura o de experiencias con efluentes similares.

Los problemas típicos asociados a las lagunas de tratamiento son: mala distribución del líquido en la laguna, variaciones estacionales de temperatura, malos olores, generación de lodos en el efluente y baja eliminación de organismos patógenos.

Normalmente, el efluente de la laguna contiene material en suspensión correspondiente a los microorganismos que se han reproducido en la laguna, con una concentración en el rango 0,08 - 0,4 (kg/m³). Estos microorganismos deben ser eliminados del efluente antes de su descarga final, si no cumple con las normas que regulan su vertido.

Las lagunas de aireación se justifican en aquellos casos donde existe una adecuada disponibilidad de terreno a bajo costo. Sin embargo, su implementación no es recomendable en el caso de industrias que contienen contaminantes de baja biodegradabilidad, ya que pueden resultar inadecuadas para cumplir con la legislación ambiental.

Se recomienda utilizar lagunas en serie para permitir una mayor estabilidad operacional, a la vez de que dicho arreglo ayuda a "especializar" cada laguna, de acuerdo a las características del afluente que recibe. Por ejemplo, la primera laguna recibe la mayor concentración de DBO, por lo que tendrá requerimientos de aireación más altos; las lagunas de las etapas finales presentarán bajas concentraciones de DBO y una mayor proporción de N y P, lo que puede generar una mayor actividad fotosintética.

Es interesante usar plantas acuáticas (ej.: jacinto acuático) en la última laguna, ya que ello permite reducir los niveles de nitrógeno en el efluente, así como los sólidos suspendidos y iones que son adsorbidos por las raíces de las plantas. Un aspecto importante de estos sistemas radiculares es que ofrecen condiciones apropiadas para la formación de una rica cadena trófica (rizosfera), lo que facilita la remoción de diversos tipos de contaminantes. Las plantas acuáticas se usan extensivamente en aquellas zonas climáticas donde son abundantes. Su alta capacidad para captar metales pesados de los efluentes las transforma en un valioso agente depurador. Sin embargo, dichas plantas deben ser cosechadas, lo que genera un problema adicional de eliminación de sólidos.

a.4) Sistema de Lodos Activados

El sistema de lodos activados es un sistema de tratamiento biológico de mayor velocidad de degradación, debido a que se mantiene una alta concentración de biomasa en el reactor (Figura 5.5). El sistema consta de dos etapas básicas:

- Biorreactor aireado: Donde la biomasa natural (lodos activados) degrada/metaboliza los componentes orgánicos; se forman flóculos.
- Sedimentador: Donde los flóculos (lodos) son separados del líquido clarificado y parcialmente reciclados al biorreactor.

La existencia de reciclo de biomasa, implica mantener una población microbiana más alta en el reactor, alcanzando mayores tasas de conversión, para un volumen y tiempo de residencia (hidráulico) dado.

En un estudio preliminar, interesará determinar el volumen del biorreactor, su configuración básica (flujo pistón vs reactor agitado), las dimensiones del sedimentador, los requerimientos de aireación, y otros datos operacionales básicos (razón de reciclo, concentraciones, etc.).

Características Generales de los Lodos Activados

Este tipo de sistemas incluye una amplia gama de diseños, de acuerdo a su configuración, método de aireación y características operacionales. Básicamente, las aguas residuales se ponen en contacto con una población de microorganismos en un biorreactor, bajo condiciones aeróbicas. Los microorganismos consumen el material orgánico disuelto y suspendido. El efluente del reactor se alimenta a un sedimentador (u otro sistema de separación sólido-líquido), donde se obtiene el efluente final clarificado, mientras que los flóculos microbianos (lodos) son concentrados y reciclados parcialmente al biorreactor.

En el reactor, la materia orgánica disuelta se elimina rápidamente, debido a adsorción en los flóculos y aglomeración del material orgánico suspendido. La degradación metabólica del material orgánico tiene lugar más lentamente, por acción de los microorganismos presentes. En este proceso, parte del material orgánico se oxida a CO_2 (mineralización) y parte se convierte en nueva masa celular (asimilación). Parte de la masa microbiana muere y se descompone regenerando el material orgánico disuelto. Los lodos desechados representan la cantidad neta de biomasa producida por asimilación.

La naturaleza floculenta de los organismos es un factor fundamental, tanto para la adsorción de materias coloidales, iónicas y en suspensión dentro del agua residual, como para la separación rápida y efectiva de la biomasa del agua tratada.

Problemas relacionados con los Lodos

Lejos de ser un sistema homogéneo, los lodos son un complejo sistema ecológico, formado por una mezcla de diferentes clases de organismos, aglomerados, adsorbidos en sedimentos inorgánicos, floculados, etc. Además, contienen compuestos orgánicos e inorgánicos. La composición en cada sistema depende de la composición de los nutrientes, de las condiciones de operación, de las características locales, condiciones climáticas, etc.

Los flóculos microbiales de los lodos son cúmulos de varios millones de células bacterianas, junto a otros organismos y materiales, que se encuentran en un equilibrio dinámico. Los protozoos

contribuyen al proceso de floculación y su presencia en alta concentración se considera un signo de buena salud del sistema biológico. Su importancia radica en su capacidad para alimentarse de las bacterias dispersas, las que no serían separables por sedimentación. Algunos protozoos están fijos en los flóculos, mientras que otros nadan libremente. Muchos protozoos segregan una mucosidad que permite acelerar la floculación.

El Índice de Volumen de los Lodos (IVL) es uno de los indicadores más usados para determinar las características de sedimentación de los lodos, y corresponde al volumen sedimentado en 30 minutos, expresado por unidad de lodos en suspensión.

Cuando la densidad de los lodos es menor que la del agua, estos tienden a flotar (esponjamiento), lo que representa un serio problema operacional. Se cree que esto se debe a la presencia de organismos filamentosos, entre los que se encuentran principalmente algunos hongos y protozoos ciliados. Existe controversia sobre cuáles son los factores que favorecen la formación de esponjamiento. Al parecer, las condiciones ácidas, el desbalance de nutrientes, las altas temperaturas (sobre 30°C), el descenso de la concentración de O_2 bajo $1 \text{ (g/m}^3\text{)}$ y las bajas tasas de carga orgánica (bajo $0,2 \text{ [(kg DBO) (kg lodos)(1 día(1))]}$) favorecen el crecimiento de hongos filamentosos.

Otro problema operacional bastante frecuente es la desfloculación que puede ocurrir debido a bajos niveles de O_2 , bajo pH y presencia de compuestos tóxicos.

Los lodos están compuestos por organismos que se encuentran en distintas etapas de su ciclo biológico, materia orgánica biodegradable y materia inorgánica inerte. La proporción de lodos viables (organismos vivos) es baja. En el proceso convencional, los lodos viables representan entre el 2-3 % (para 4 días de retención de lodos). Mientras más largo el tiempo de residencia, mayor será el número de organismos no viables y viceversa. De ello se deduce que el requerimiento de oxígeno depende de la "edad" de los organismos.

a.5) Filtros Biológicos

Los sistemas de tratamiento biológico basados en microorganismos inmobilizados en matrices inertes se caracterizan por tener una gran concentración de biomasa y son muy simples de operar (Figura 5). Su eficiencia depende de una buena distribución del material orgánico, del estado de la masa microbiana y de la circulación de aire a través del lecho. Generalmente, el aire circula por convección, debido a las diferencias de temperatura que se generan debido a las reacciones bioquímicas exotérmicas.

Los lechos más sencillos son de roca o escoria de 3-10 cm, con filtros de hasta 3 m de profundidad. En la actualidad existen medios sintéticos más livianos, de gran área específica, lo que permite construir biorreactores de alturas de hasta 12 m.

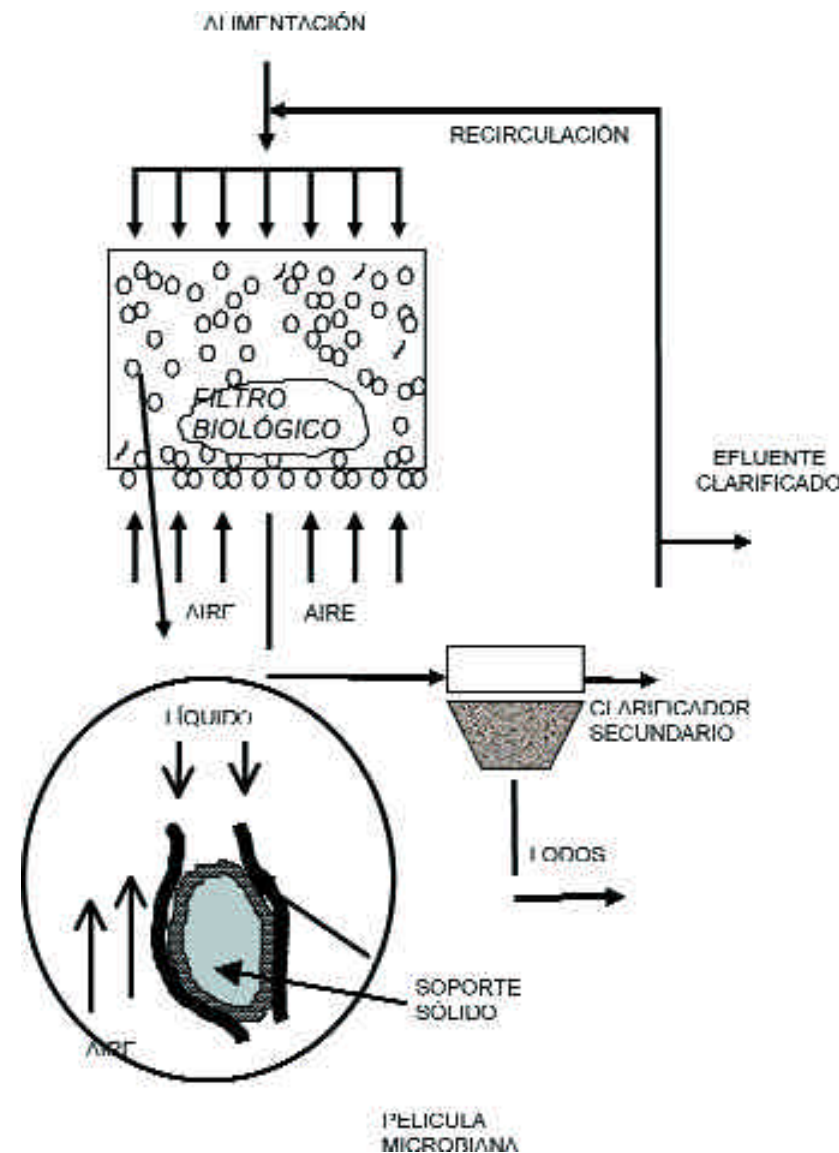
La nueva masa celular formada es arrastrada por el efluente y separada en un sedimentador secundario. En muchos casos, parte del efluente clarificado se recircula. Normalmente, el líquido se introduce mediante brazos de alimentación mecánicos.

Los modelos son difíciles de desarrollar en estos casos. Existen muchas variables: profundidad del

lecho, flujo hidráulico, tasa de carga orgánica, tasa de recirculación, tipo de lecho, transferencia de masa de material orgánico y oxígeno desde la fase líquida a la película microbiana.

Para cálculos preliminares, se usan criterios de diseño puramente empíricos:

- La carga de DBO no debe exceder 1,2 (kg DBO m³ día⁻¹)
- La carga hidráulica (incluyendo la recirculación) debe ser menor de 30 (m³m² día⁻¹)
- La recirculación debería ser tal que la DBO que entra (incluyendo la recirculación) no sea más de 3 veces que la DBO alimentada.



El volumen del filtro se determina dividiendo el total de DBO diario por 1,2 (kg DBO m³ día⁻¹) o menos. El área puede ser calculada dividiendo el flujo volumétrico de efluente a tratar, por la carga hidráulica de diseño.

a.6) Diseño de Clarificadores Secundarios

Todos los procesos de tratamiento biológico de efluentes generan biomasa, a una tasa de alrededor de 0,5 (kg biomasa/kg DBO removido). Los microorganismos representan la carga orgánica de la corriente original, metabolizada en formas orgánicas más concentradas y de mayor peso molecular. Las bacterias y protozoos floculantes deben ser separados del efluente antes de que éste sea emitido a los medios receptores. Dicha separación normalmente se logra usando sedimentadores (clarificadores) u otras operaciones para la separación sólido-líquido.

El diseño de dichos clarificadores no es sencillo, dado que es una sedimentación Tipo 3. Para lograr una separación satisfactoria es necesario usar procedimientos de diseño basados en datos experimentales sobre las características de sedimentación de los lodos biológicos. Generalmente, los sedimentadores secundarios requieren tiempos de residencia del orden de 4 horas. Se debe evitar que los microorganismos permanezcan mucho tiempo en el clarificador y puedan generar una gran actividad metabólica, ya que ello dificulta su sedimentación.

2.2.2) PROCESOS ANAERÓBICOS

Aún cuando los procesos aeróbicos han monopolizado el tratamiento secundario de las descargas industriales, en la actualidad existe un enorme impulso para aprovechar los avances experimentados en el procesamiento anaeróbico. El proceso anaeróbico se usa masivamente en el tratamiento de los lodos producidos por los procesos aeróbicos; de esta manera se reduce el volumen final de los lodos, se estabilizan biológicamente (eliminación de patógenos) y se aprovecha parte del potencial energético.

Entre las ventajas de los procesos anaeróbicos se puede citar:

- Integración energética (produce CH₄, 0,35 (m³ std/kg DBO removido)).
- Menor producción de biomasa (1/3-1/5 de lo que genera un proceso aeróbico).
- Menores requerimientos de nutrientes inorgánicos.
- No se requiere aeración; menores costos energéticos.
- Se pueden dejar sin uso por largos períodos (1-25 años) y se reactivan rápidamente (1-3 días).
- Resistente a choques orgánicos.

Entre sus principales limitaciones, se pueden mencionar:

- Menor tasa de eliminación de DBO por unidad de biomasa.
- La puesta en marcha inicial puede demorar meses (1-6 meses).
- La retención de biosólidos es crítica, debido a la baja tasa de producción de lodos (0,04-0,08 kg/kg DBO).
- Debido a las condiciones reductoras, se producen también muchos otros compuestos (H₂S, mercaptanos, ácidos orgánicos y aldehídos) produciendo corrosión y malos olores.
- Sensible a ciertos inhibidores y compuestos tóxicos (ej.: O₂, H₂O₂, Cl₂, H₂S, HCN, SO₃).

Muchos de los problemas experimentados en el pasado (que le generaron una mala reputación) se debieron a la ignorancia sobre los aspectos fundamentales del proceso. Enormes esfuerzos en los 70 y 80 derivaron en nuevos esquemas que presentan atractivo potencial y existen centenares de plantas anaeróbicas operando en gran escala en diferentes rubros industriales en todo el mundo.

La degradación anaeróbica es un proceso de biodegradación en múltiples etapas, que incluye un amplio rango de bacterias, las cuales se pueden agrupar en 3 categorías:

Los compuestos de alto peso molecular (ej.: proteínas) sufren primero hidrólisis y son transformados en moléculas simples (azúcares, glicerol, etc), las que luego son convertidas en ácidos orgánicos, H_2 y CO_2 por las bacterias acidificantes.

Los ácidos mayores son entonces convertidos a ácido acético e H_2 por las bacterias acetogénicas.

La etapa final (metanogénesis) incluye a tres tipos de bacterias que metabolizan CO_2 , H_2 , metanol, ácido fórmico y ácido acético a metano.

Cuando se encuentra presente S inorgánico, la bacteria reductora Desulfovibrio usa el sulfato o sulfito como receptor de electrones, produciendo H_2S y CO_2 . La presencia de SO_4 y SO_3 limita la eficiencia del sistema, ya que las bacterias reductoras de S y las metanogénicas compiten por el mismo tipo de fuente energética (ácido acético). La producción de metano se puede reducir en $0,7 m^3$ por cada kg de S reducido.

En la mayoría de los casos, el tratamiento anaeróbico se aplica a líneas de residuo segregadas, con alta concentración de DBO. En muchos casos, se ha usado como una primera etapa de tratamiento, antes de un procesamiento final aeróbico. La temperatura es muy importante: los organismos anaeróbicos más eficientes son mesofílicos o termofílicos. El rango 32-36°C es el más común industrialmente. Las necesidades energéticas se pueden suplir con parte del CH_4 generado.

Los requerimientos de N y P son mucho menores que en el proceso aeróbico (en algunos casos, los efluentes no contienen suficiente N y P y se necesita agregarlos). El pH óptimo para maximizar el CH_4 es 7-7,5. Bajo pH 6 y sobre 8,5 la producción de CH_4 cesa.

b.1) Configuraciones del Sistema

En la práctica existen 5 configuraciones anaeróbicas en uso: lagunas anaeróbicas, sistemas de contacto, sistema anaeróbico de flujo ascendente y manto de lodos (UASB), biofiltro anaeróbico y lecho fluidizado. Estos sistemas se revisan brevemente a continuación.

Lagunas Anaeróbicas: Son el sistema anaeróbico más antiguo en uso (desde los años 40). La laguna está cubierta con material plástico para mantener condiciones anóxicas, recolectar el CH_4 y controlar los malos olores. Las bacterias anaeróbicas se desarrollan y permanecen suspendidas gracias a la convección producida por los gases generados. Se puede mejorar la agitación con agitadores de baja velocidad y reciclo de sólidos. Es importante permitir cierto grado de sedimentación para facilitar la hidrólisis y degradación de los sólidos suspendidos. El CH_4 se colecta en varios puntos; se mantiene una presión negativa dentro de la cubierta para mantenerla en

contacto con la superficie del agua. Las lagunas anaeróbicas son ideales para tratar efluentes con alta concentración de sólidos suspendidos (como podría ser el caso en muchas plantas celulósicas de pulpa mecánica y semiquímica), ya que los sedimentos pueden permanecer por largos períodos en el reactor, permitiendo su degradación. Las lagunas anaeróbicas permiten tratar los lodos residuales de tratamientos aeróbicos a muy bajo costo. Permite también estabilizar el flujo de los efluentes debido a su gran volumen. Desgraciadamente, las lagunas requieren grandes extensiones de terreno, debido a la baja velocidad de las reacciones anaeróbicas (7-10 días de retención), y se pierde calor debido a la gran superficie externa.

Proceso Anaeróbico de Contacto: Es similar a un proceso de Lodos Activados pero en condiciones anaeróbicas. La reacción tiene lugar en un reactor agitado, donde se incluyen los nutrientes requeridos, con control de T° y pH. El efluente pasa a un tanque desgasificador donde se permite flocular a la biomasa antes de entrar a un sedimentador, que permite reciclar parte de la biomasa para mantener una alta concentración de biomasa en el reactor. Una ventaja adicional es que los sólidos adsorbidos en los lodos biológicos tienen largos tiempos de residencia permitiendo su hidrólisis. Se ha medido cargas orgánicas de 1-2 (kg DBO removido m^3 día⁻¹), a un 90% eliminación y 35°C.

Sistemas de Flujo Ascendente (UASB): Desarrollado en Wageningen (Países Bajos) en los años 70. Es uno de los avances más espectaculares en sistemas anaeróbicos de alta tasa. Las bacterias forman gránulos densos que tienden a sedimentar y se mantienen como un manto en el fondo del reactor. La alimentación entra por la parte inferior del reactor. Sobre el lecho existe una zona de manto más floculado (3-10 kg lodos/ m^3). En el tope del reactor hay un separador de fases, para separar el biogas de los sólidos atrapados en las burbujas ascendentes. Algunas variantes incluyen reciclo. Las principales ventajas del UASB son:

- Tiene una puesta en marcha rápida, cuando se usa un inóculo obtenido de una planta existente.
- Existe una alta retención de sólidos, lo que permite tratar aguas con contenido orgánico bajo $0,4$ (kg DBO/ m^3).
- Se puede utilizar una carga orgánica de 3,5-5 (kg DBO removido m^3 día⁻¹), a 35°C.

Filtros Anaeróbicos: Los filtros anaeróbicos no han encontrado gran acogida en la industria, debido al alto costo del empaque sintético, a pesar de que hay casos exitosos en el sector de bebidas alcohólicas (ej.: Bacardi, Puerto Rico, ha operado continuamente un filtro de $9200 m^3$, desde 1981). El concepto es similar al de un filtro aeróbico. Puede operar con cargas orgánicas en el rango 4-15 (kg DBO m^3 día⁻¹).

Lechos Fluidizados: Las bacterias están adheridas a la superficie de partículas de arena, y son mantenidas en suspensión. Es el proceso anaeróbico de alta tasa con mayor carga volumétrica: 17-40 (kg DBO m^3 día⁻¹) y 80-90% eliminación de DBO.

Eliminación de S: El S inorgánico es uno de los principales problemas en la implementación de sistemas anaeróbicos en la industria de celulosa y otros sectores que producen efluentes con contenidos de azufre. Esto se puede mitigar, ya sea reduciendo su presencia en las aguas antes del tratamiento anaeróbico, o usando sistemas en dos etapas. En la primera etapa se produce principalmente H_2S el cual puede entrar en un ciclo de oxidación posterior a SO_2 , mientras que en la segunda etapa se produce la metanación.

- **Degradación Anaeróbica de los Lodos de Aireación:** Hasta ahora, el principal uso de los sistemas anaeróbicos es el tratamiento de los lodos generados en los procesos aeróbicos. Esto reduce el impacto ambiental de las descargas de lodos de aireación (ej.: lodos activados), ya que los estabiliza biológicamente, elimina los patógenos y reduce su volumen final. La digestión anaeróbica de los lodos se hace en el rango mesofílico (35oC). Las características de este proceso son:

Material volátil alimentado: 1-2 (kg material volátil m(3 día(1)
Sólidos suspendidos alimentados: 1,5-2,1 (kg sólidos suspendidos m(3 día(1)
Destrucción de sólidos: 30-35% del inicial
Producción de gas: 0,9-1,2 (m³/kg material volátil destruido)
Poder calorífico del gas: 22.400 (kJ/m³ gas)

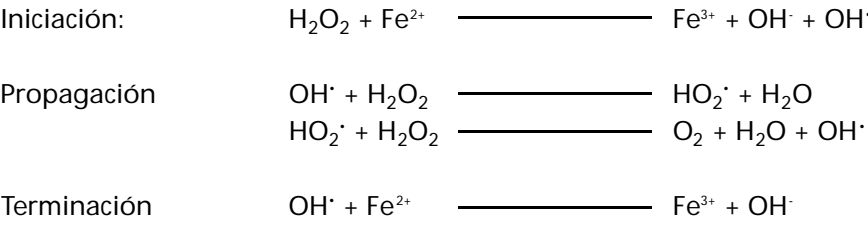
Si el diseño es adecuado, se puede lograr que el metano provea la energía no sólo para el control de temperatura en la digestión, sino que también para la aeración en los sistemas aeróbicos presentes en la planta (turbinas de gas), u otros requerimientos energéticos. Finalmente, los sistemas anaeróbicos ofrecen una serie de ventajas, sobre todo si son usados en combinación con los tratamientos aeróbicos. Existe un gran esfuerzo de investigación para estudiar la acción sobre efluentes recalcitrantes, organoclorados, etc. La utilización de sistemas segregados permite visualizar la implementación de sistemas biológicos adaptados a las características del material orgánico a eliminar.

2.3) TRATAMIENTO TERCIARIO

En esta categoría se incluye sistemas para eliminar otros contaminantes, tales como: metales, nitrógeno, fósforo, compuestos coloreados, y compuestos no biodegradables. Algunos de estos se describe brevemente a continuación.

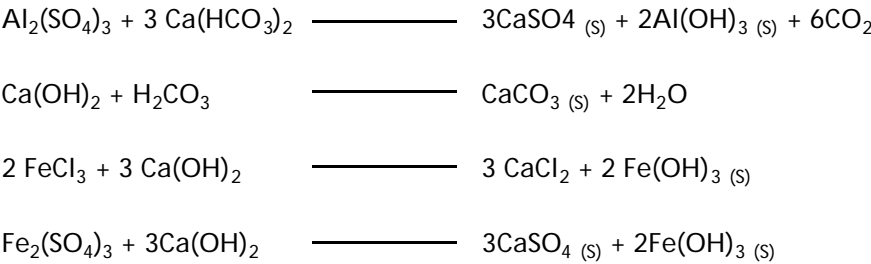
Sistemas biológicos para la eliminación de nitrógeno:
El amonio puede ser transformado en nitrato, utilizando bacterias nitrificantes en medio aeróbico; el nitrato puede ser eliminado en una etapa posterior, bajo condiciones anaeróbicas, donde bacterias denitrificantes lo transforman en N₂. Los procesos de nitrificación y denitrificación se describen en el Capítulo 2).

Oxidación avanzada:
Permite eliminar compuestos orgánicos tóxicos, compuestos cromóforos u otros compuestos orgánicos no biodegradables: Se pueden utilizar agentes oxidantes tales como ozono o peróxido de hidrógeno, que generan radicales libres OH(altamente reactivos. En la actualidad se han implementado estos agentes oxidantes en presencia de radiación UV o de un catalizar de TiO₂. Un sistema interesante para generar radicales libres se basa en la reacción de Fenton:



Carbón activado
La adsorción en carbón activado se utiliza para eliminar metales, compuestos orgánicos, y cromóforos. El contaminante se adsorbe en la superficie del carbón; sin embargo, ello resulta en un residuo sólido que debe ser tratado. Los carbones activados comerciales presentan un área específica del orden de 1000 m²/g, con capacidades de adsorción en el rango 10-400 (g contaminante / kg de carbón). El carbón se puede reactivar desorbiendo el contaminante utilizando vapor o gases a alta temperatura.

Precipitación química:
La precipitación química en el tratamiento de aguas residuales implica la adición de compuestos químicos para alterar el estado físico de compuestos disueltos y de sólidos suspendidos, y facilitar la separación sólido/líquido. Los agentes químicos precipitantes de mayor uso en tratamiento de efluentes son:



La formación del precipitado permite adsorber moléculas orgánicas y metales disueltos, y eliminar coloides.

Los coloides (“sols”) son partículas suspendidas en agua de pequeño tamaño (inferior a 0,5 (m) que forman dispersiones estables. Los coloides hidrofóbicos son dispersiones de compuestos insolubles, mientras que los hidrofílicos son soluciones de moléculas con dimensiones coloidales (polímeros, macro-moléculas) que presentan grupos funcionales ionizables (-COO⁻H⁺, -SiO⁻H⁺, -NH₄⁺). Para separar los coloides de una solución acuosa es necesario, por lo tanto, desestabilizar las partículas coloidales e inducir la agregación. Para ello, se requiere neutralizar o superar las cargas superficiales, mediante la adición de cargas iónicas para neutralizar, ajuste de pH, o adición de polielectrolitos que se quemisorben y actúan como puentes entre partículas

Precipitación de óxidos metálicos hidratados
Los iones metálicos (M^{z+}) (ej. Ni, Cu, Pb, Al, Zn) en solución acuosa están asociados a las moléculas de agua en diferentes grados de hidratación: La precipitación de los óxidos metálicos hidratados ocurre a través de una secuencia de etapas, a medida que el pH o la actividad del metal aumenta. El precipitado se forma cuando se supera el producto de solubilidad.

Además, las especies metálicas iónicas pueden ser adsorbidas sobre el hidróxido precipitado. Esta adsorción ocurre incluso contra las fuerzas de repulsión electrostáticas, en un rango de pH crítico donde la hidrólisis comienza. Por ejemplo, el Zn, Cu y Cd son fuertemente adsorbidos por Fe(OH)₃ precipitado a pH 8-9. A un pH dado, el grado de adsorción depende del tipo de anión, de las concentraciones de las especies y del tipo de metal

Hidrólisis ácida y alcalina:

La degradación hidrolítica de compuestos tóxicos o persistentes puede efectuarse en condiciones ácidas y alcalinas, dependiendo de la naturaleza de tales compuestos. Por ejemplo:

- Hidrólisis de cianato ($\text{HOCN} + \text{H}^+ \longrightarrow \text{NH}_4^+ + \text{CO}_2$)
- Descomposición de pesticidas por hidrólisis ácida y alcalina
- Descomposición de residuos de nylon mediante hidrólisis alcalina
- Hidrólisis de residuos fluoroboratos, por hidrólisis ácida, seguida de hidrólisis alcalina

BIBLIOGRAFÍA

Davis M., Cornwell D., 1991. "Introduction to Environmental Engineering". 2ªed. McGraw Hill International Editions, Singapore.

Eilbeck W.J., Mattock G., 1987. "Chemical Processes in Waste Water Treatment". Ellis Horwood. New York.

Kelly G., 1998. "Environmental Engineering". McGraw Hill International Editions., Singapore.

LaGrega M.D., Buckingham P.L., Evans J.C., 1994. "Hazardous Waste Management", McGraw-Hill International Editions, New York.

Metcalf & Eddie, 1991. "Waste water Engineering: Treatment, Disposal and Reuse". 3ªed., McGraw Hill Inc., New York.

Perry R.H., Green D., 1998. "Perry's Chemical Engineer's Handbook", 7ªed., McGraw Hill, New York.

Ramahlo R.S., 1991. "Tratamiento de Aguas Residuales", Editorial Reverté SA, Barcelona.

Zaror, C., 1998. Introducción a la Ingeniería Ambiental. Capítulo 6: Tratamiento de residuos. Universidad de Concepción.

Agradecemos el aporte del Sistema Educativo a través de las escuelas que participaron en las jornadas de trabajo.

PARA MAYOR INFORMACIÓN DIRIGIRSE A:

- **INET – Instituto Nacional de Educación Tecnológica / Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología**
www.inet.edu.ar
Área de Salud y Ambiente
Coordinadora: Lic. Victoria Barreda – barreda@inet.edu.ar
Av. Independencia 2625, 2º piso – C1225AAI Capital Federal
Tel: 0054-11-4129-2037
- **GTZ - Agencia Alemana de Cooperación Técnica S.R.L.**
Agencia Buenos Aires
Av. Santa Fe 1461, 7º piso – 1060 Capital Federal
Tel: 0054-11-4815-1420/2050 // Fax: 0054-11-4815-2967
gtz-argentina@gtz.org.ar
- **Proyecto INET-GTZ**
Av. Independencia 2625, 3º piso – C1225AAI Capital Federal
Tel/Fax: 0054-11-4129-2054 / 4942-7094
- **Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile, Universidad de Concepción**
Victor Lamas 1290, Casilla 160-C, Correo 3, Concepción, Chile
Tel: 0056-41-204002, 204080, 204000 // Fax: 0056-41-207076
eula@udec.cl - www.eula.cl
- **Universidad de Concepción**
Victor Lamas 1290, Casilla 160-C, Correo 3, Concepción, Chile
Tel: 0056-41-204246
www.udec.cl
- **GTZ-PAN**
San Martín 451, 3º Piso, Of. 321 - 1004 Capital Federal
Tel.: 0054-11-4348 8321 // Fax: 0054-11-4348 8265
ccdgtzargentina@datamarkets.com.ar
- **Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable**
San Martín 451 - 1004 Capital Federal
Tel.: 0054-11-4348 8200 // Fax: 0054-11-4348 8300
www.medioambiente.gov.ar
- **PAI / CIPRA-GTZ**
Jean Jaures 315, 1º piso - 1215 Capital Federal
Tel/ Fax: 0054-11-4867-0666/ 4866-4385/ 4867-3344
cipragtz@inea.com.ar - www.proteccion-ambiental.org



INSTITUTO NACIONAL
DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA



Deutsche Gesellschaft für
Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH

Agencia Alemana
de Cooperación Técnica

PAN Programa de Acción
Nacional de Lucha
contra la Desertificación
Convenio SAgDS - INTA - GTZ



Secretaría de Ambiente
y Desarrollo Sustentable



CAMARA DE INDUSTRIAS
DE PROCESOS DE LA
REPUBLICA ARGENTINA



CENTRO DE CIENCIAS
AMBIENTALES EULA, CHILE



UNIVERSIDAD
DE CONCEPCION, CHILE

Av. Independencia 2625, 3° Piso - C1225 AAI Ciudad de Buenos Aires, Argentina
Tel/Fax: (00 54 11) 4129-2054 / 4942-7094 - E-mail: transfotep@inet.edu.ar