

Capítulo 2

FUENTES Y EFECTOS DE LA CONTAMINACION

Hasta hace pocos años, las principales preocupaciones respecto a la contaminación del agua estaban relacionadas con la transmisión de enfermedades causadas por bacterias o sustancias tóxicas presentes en el agua, con resultados negativos en la salud pública.

En los países desarrollados y altamente industrializados, cuyas poblaciones generalmente cuentan con servicios adecuados de abastecimiento de agua y disposición de residuos, estas preocupaciones han sido ampliamente superadas. Sin embargo, la descarga de residuos industriales sin tratamiento, provenientes de las grandes industrias continúa siendo un problema.

Por otro lado, para los países en vías de desarrollo, donde los sistemas de abastecimiento de agua o disposición de residuos son limitados o inexistentes, la transmisión de enfermedades a través del uso de agua contaminada y otras rutas continúa siendo una gran preocupación.

Además de los efectos en la salud (como, por ejemplo, cuando se utilizan aguas contaminadas para el abastecimiento doméstico o irrigación de frutas y verduras), la contaminación también interferirá seriamente con otros usos, lo que puede afectar directamente al desarrollo económico de un país. Dependiendo del país o de una región específica, estos usos generalmente incluirán sectores como: industria, agricultura, recreación, pesca, protección de la fauna silvestre y navegación.

Las fuentes y la naturaleza de la contaminación, así como las características de las aguas receptoras, determinarán en gran medida los efectos de ésta y las medidas que deberán tomarse para su control.

Fuentes y Características de la Contaminación

La contaminación del agua puede tener su origen en muchas fuentes. Si bien no todas las fuentes indicadas a continuación están presentes en todas las situaciones, ellas son comunes a la mayoría de áreas o regiones.

Fuentes Municipales

Este tipo de residuo es común a todas las comunidades y centros poblacionales -- ya sean urbanos, marginales y rurales. Generalmente consiste de una combinación de residuos domésticos mezclados con cantidades variables de efluentes industriales provenientes de pequeñas industrias y comercios. En áreas altamente industrializadas, las

descargas de residuos industriales pueden constituir el principal componente.

En los centros urbanos, generalmente se recolectan los residuos y se descargan en un punto central para su tratamiento o disposición final. Muchas ciudades tienen un sistema que conduce tanto el agua de lluvia como las aguas residuales domésticas (a éste se le conoce como sistema "combinado"). En épocas de lluvia, diferentes cantidades de residuos líquidos, compuestos por una mezcla de aguas residuales sin tratar y agua de lluvia, no ingresan a la planta de tratamiento, sino que se descargan directamente a los cursos de agua, causando un incremento efectivo en los niveles de contaminación de dicha corriente durante el período de avenidas.

La Figura 2.1 presenta la disposición esquemática típica de un sistema municipal de recolección y tratamiento de aguas residuales.

Las características de las aguas residuales se dividen en físicas, químicas y biológicas, y constituyen la base para la selección del nivel de tratamiento requerido en cada situación específica.

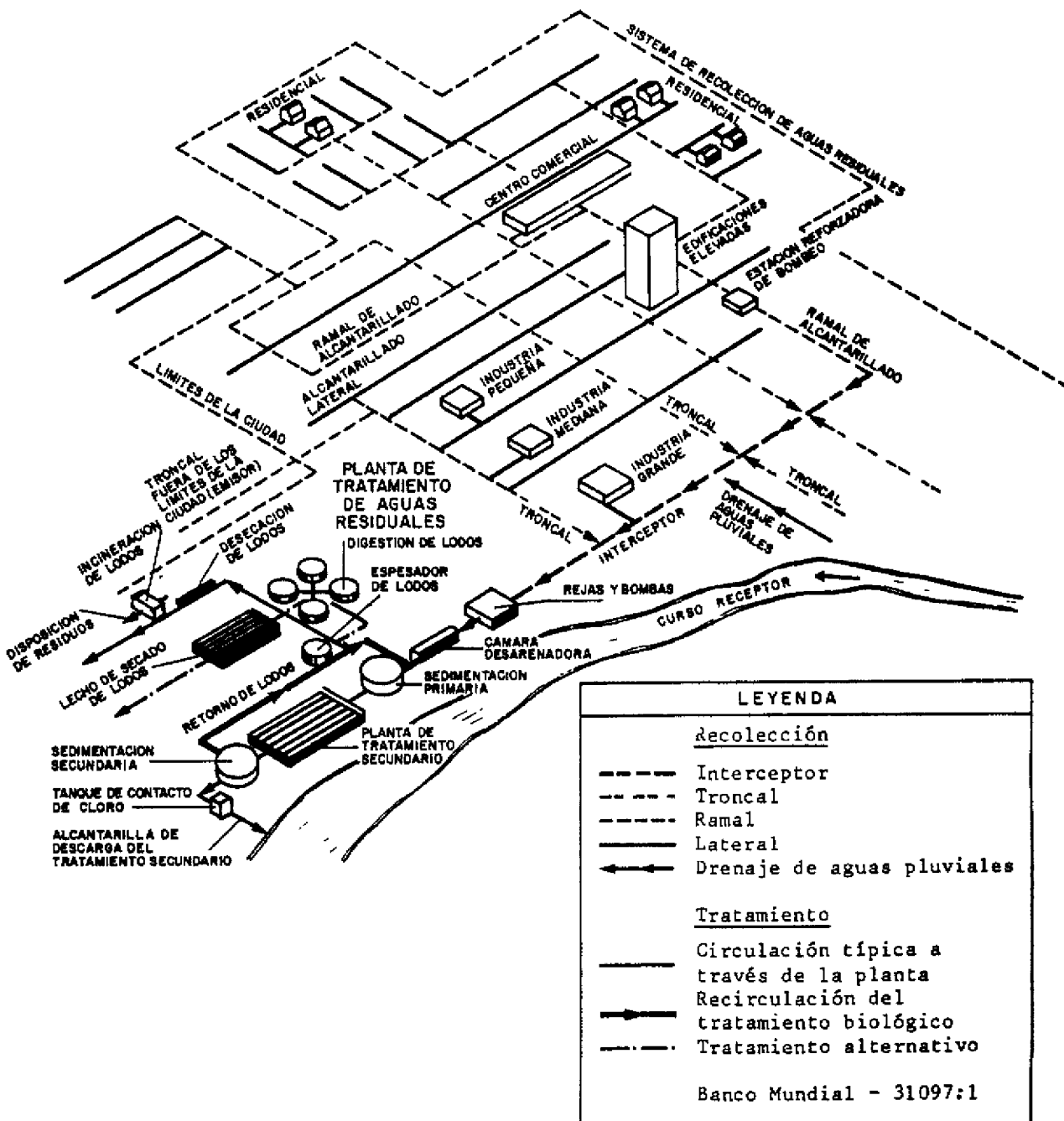
Una de las propiedades físicas más importantes de las aguas residuales es el contenido de sólidos totales, compuesto por residuos flotantes, residuos suspendidos (sólidos suspendidos), materia coloidal y residuos en solución (sólidos disueltos). Otras características físicas importantes son el olor, la turbiedad, la temperatura y el color.

La cantidad de materia orgánica encontrada en las aguas residuales constituye el principal indicador de la naturaleza química de éstas. El parámetro utilizado con mayor frecuencia para este propósito es la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). La prueba de la DBO es muy utilizada debido a que (a) mide la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente la materia orgánica una vez que éste ha llegado a las aguas receptoras; (b) determina en gran medida la capacidad y los procesos unitarios de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales; y (c) mide la eficiencia de determinados procesos de tratamiento.

La prueba de la demanda química de oxígeno (DQO) se utiliza para medir el equivalente de oxígeno necesario para oxidar químicamente la materia orgánica presente, tanto en las aguas residuales como en las aguas naturales. Esta prueba se utiliza también para medir la materia orgánica en efluentes municipales e industriales que contienen componentes tóxicos para la vida biológica. La DQO de los residuos es generalmente mayor que la DBO porque son más abundantes los compuestos que pueden oxidarse químicamente que aquéllos que pueden oxidarse biológicamente.

En muchos tipos de residuos, es posible establecer una relación entre las pruebas DQO y DBO. Una correlación de este tipo puede ser muy útil, ya que la prueba DQO puede hacerse en 3 horas, mientras que la prueba DBO toma 5 días. Una vez que se haya establecido la correlación, pueden aplicarse las mediciones de la DQO con un alto grado de

Figura 2.1 - Ejemplo de un Sistema Municipal de Recolección y Tratamiento de Aguas Residuales. Siempre debe considerarse la posibilidad de pretratamiento por cuenta de las propias industrias u otras alternativas para el tratamiento de aguas residuales (Fuente: Water Pollution Control Federation "Financing and Charges for Wastewater Systems". WPCF. Washington. 1982).



LEYENDA	
<u>Recolección</u>	
--- ---	Interceptor
--- ---	Troncal
--- ---	Ramal
--- ---	Lateral
← ←	Drenaje de aguas pluviales
<u>Tratamiento</u>	
--- ---	Circulación típica a través de la planta
--- ---	Recirculación del tratamiento biológico
--- ---	Tratamiento alternativo
Banco Mundial - 31097:1	

confiabilidad para el control y las operaciones de una planta de tratamiento.

La concentración de iones hidrógeno (pH), la alcalinidad, la presencia de cloruros, nitrógeno o fósforo, así como otros parámetros orgánicos, también miden las características químicas de las aguas residuales. En el Cuadro 2.1, se presenta la composición promedio de las aguas residuales municipales típicas de países desarrollados. En cada caso específico, se debe incluir un estudio de caracterización de las aguas residuales como parte del proceso de planificación.

El examen biológico identifica (a) los principales grupos de organismos presentes tanto en las aguas residuales como en las aguas receptoras; (b) presencia de organismos patógenos; y (c) aquellos organismos que sirven como indicadores de los niveles de contaminación. Los más importantes de estos últimos son las bacterias, las algas y los protozoarios.

Las bacterias cumplen una función básica en la descomposición y estabilización de la materia orgánica. Las bacterias coliformes, que abundan en el tracto intestinal de los seres humanos, son utilizadas como indicadores de la contaminación del agua por desechos humanos.

Cuando las condiciones son favorables, las algas se reproducen rápidamente y cubren los cuerpos de agua con grandes masas flotantes llamadas natas. Este proceso recibe el nombre de eutroficación. Los efluentes provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales pueden contener niveles elevados de carbono, nitrógeno y fósforo, los cuales sirven como fuentes principales de alimentación para estos organismos. Las natas de algas interferirán en el uso de un cuerpo de agua para fines de abastecimiento, recreación o para otros propósitos legítimos.

Los protozoarios se alimentan de bacterias y de otros organismos microscópicos. Son esenciales para los procesos de tratamiento biológico y para la purificación de los cursos de agua, pues mantienen el equilibrio natural entre los diferentes grupos de organismos.

Descarga de Alcantarillas Combinadas

Históricamente, los primeros sistemas de drenaje en zonas urbanas consistieron de zanjas abiertas, cuya única función era conducir el agua de lluvia. No existían medios para la disposición de residuos sanitarios o domésticos. Generalmente no existía control sobre los residuos que llegaban a estas zanjas y, en consecuencia, ellas recibían todo tipo de residuos -- humanos, industriales y otros. Debido a las condiciones objetables que esto provocaba, se procedió finalmente a cubrir las zanjas o a reemplazarlas por tuberías, a las que se les conoce como alcantarillas pluviales.

Cuadro 2.1 - Composición Promedio de Aguas Residuales Municipales (a) (b)

Constituyente	Concentración		
	Fuerte	Mediana	Débil
Sólidos, total:	1200	720	350
Disueltos, total	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Suspendidos, total	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	165	80
Sólidos sedimentables, ml/l	20	10	5
Demanda bioquímica de oxígeno, 5 días, 20°C (DBO ₅ , 20°C)	400	220	110
Total de carbón orgánico (TCO)	290	160	80
Demanda química de oxígeno (DQO)	1000	500	250
Nitrógeno (total como N):	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoníaco libre	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo (total como P):	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
Cloruros (c)	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO ₃) (c)	200	100	50
Grasas	150	100	50

(a) De Metcalf y Eddy, Inc. (Rev. por George Tchobanoglous).
Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse. New York:
McGraw-Hill Book Company, 1979. (Impresión con permiso).

(b) Todos los valores, excepto los de sólidos sedimentables, se expresan en mg/l.

(c) Estos valores deben incrementarse con la cantidad presente en el agua de abastecimiento.

Con el desarrollo de los sistemas de abastecimiento de agua y el uso de instalaciones sanitarias en el interior de los inmuebles, surgió la necesidad de transportar los residuos domésticos, alejándolos de su punto de origen. En la mayoría de casos, ésto se hizo mediante conexiones directas a las alcantarillas pluviales. Entonces, las alcantarillas que transportaban flujos mixtos, recibieron el nombre de alcantarillas combinadas. Durante los períodos de clima seco, estas alcantarillas transportan sólo aguas residuales domésticas (o sanitarias).

Con el advenimiento de las plantas de tratamiento, no resultaba rentable construir plantas con capacidad para tratar los caudales combinados de aguas de lluvia y aguas residuales. Tampoco resultaba una buena alternativa, en cuanto a costos, instalar en aquellas áreas que ya contaban con alcantarillas combinadas, un sistema de recolección solamente para las aguas residuales. Por lo tanto, en las épocas de lluvias, gran parte de las aguas residuales no pasan por las plantas de tratamiento y una parte de esta mezcla sin tratar (consistente de agua de lluvia y aguas residuales), se descarga directamente en los cursos receptores.

Esta descarga directa constituye una fuente significativa de contaminación de las aguas superficiales, aun cuando el volumen de agua de lluvia variará según el índice de precipitación pluvial y otras condiciones propias del área considerada.

Al instalar sistemas de alcantarillado en áreas recientemente urbanizadas, o reemplazarlos en áreas más antiguas, resultará muy ventajoso instalar sistemas separados. Esto reducirá el caudal total que ingresa a la planta de tratamiento durante períodos de lluvia, disminuirá el costo total del tratamiento, y evitará la descarga de efluentes tratados inadecuadamente debido a la sobrecarga de la planta.

Infiltración y Aguas Foráneas

Un tipo de residuo líquido al que con frecuencia no se le presta la debida atención en los sistemas de alcantarillado, es el de aguas subterráneas que ingresa a través de fisuras o roturas de los conductos. Con frecuencia, las alcantarillas son colocadas por debajo del nivel freático, lo que permite que el agua se infiltre. La infiltración es mínima en el caso de sistemas nuevos y bien construidos, pero puede llegar hasta 700 metros cúbicos por día por kilómetro en el caso de sistemas antiguos. Esta infiltración añade un volumen extra, el cual debe discurrir por las alcantarillas recolectoras, las estaciones de bombeo y sistemas de tratamiento.

Fuentes Industriales

Si bien las fuentes de contaminación industrial se concentran más frecuentemente en áreas muy pobladas, residuos de este tipo también pueden generarse en comunidades pequeñas y áreas aisladas. Debido a la gran variación que presentan la composición y el volumen de los residuos industriales (dependiendo de las materias primas, los procesos y productos finales), no es posible dar una definición general sobre la naturaleza de dichos residuos. Incluso en el efluente de una misma planta industrial pueden existir variaciones muy grandes de un día a otro.

Respecto a las fuentes, las aguas residuales industriales se originan de (a) fabricación de productos intermedios o finales para su comercialización; (b) operaciones mineras; (c) mantenimiento y cuidado en general de máquinas, edificios y otras instalaciones utilizadas en la producción; (d) contaminantes que escapan de los cúmulos de desechos industriales; y (e) otras fuentes relacionadas.

Los caudales de las aguas residuales variarán de acuerdo al tipo y tamaño de industria, prácticas de mantenimiento en cada planta, grado de reutilización del agua y al tratamiento utilizado in situ. El Departamento del Medio Ambiente del Banco Mundial, ha preparado guías sobre el medio ambiente, que abarcan una gran variedad de industrias y contaminantes (véase Bibliografía). Para cada industria específica, la guía correspondiente incluye el proceso de producción; las fuentes, volúmenes y características de los residuos (gaseosos, líquidos y sólidos); limitaciones para los efluentes, y la tecnología para el control y el tratamiento, incluyendo en muchos casos las medidas a ser tomadas al interior de las plantas.

Residuos Peligrosos

La definición del término "peligroso" ha sufrido muchos cambios a medida que nuestro conocimiento se ha incrementado. En la actualidad, un residuo peligroso se define según el grado de toxicidad hacia el ser humano, inflamabilidad, corrosividad y reactividad. Esta definición incluye ácidos, sustancias químicas tóxicas, materiales radioactivos, explosivos y otras sustancias dañinas o potencialmente dañinas. La mayor parte de estos residuos son generados por las industrias, particularmente las de productos químicos y similares. En el Cuadro 2.2 se muestran algunos residuos peligrosos típicos producidos por la industria.

Antes de que se dirigiera la atención hacia estos tipos de contaminantes, en muchos casos las industrias optaban por deshacerse de ellos vaciándolas en la misma área, generalmente dentro de algún tipo de recipiente. Se prestaba poca atención al lugar o al efecto que los contaminantes tenía en el medio ambiente. Cuando el volumen generado era relativamente pequeño, los residuos se descargaban conjuntamente con los efluentes de la planta, algunas veces previo tratamiento, pero otras veces sin tratamiento alguno.

Cuadro 2.2 - Residuos Peligrosos Típicos Producidos por la Industria (a)

Industria	Residuos Producidos						
	<u>Solventes</u>	<u>Metales</u>	<u>Gases</u>	<u>Orgá- nicos</u>	<u>Inorgá- nicos</u>	<u>Radio- activos</u>	<u>Bioló- gicos</u>
Minería		X	X		X		
Textiles		X		X			
Prod. de papel y otros			X		X		
Alcalis y Cloro					X		
Compuestos cíclicos intermedios		X	X	X	X	X	
Productos químicos orgánicos	X	X	X	X	X		
Productos químicos inorgánicos		X	X	X	X		
Plásticos	X		X	X			
Productos farmacéuticos			X	X	X	X	X
Jabones y detergentes				X			
Pinturas, etc.	X			X	X		
Productos químicos agrícolas	X			X	X		
Explosivos				X	X		
Productos del petróleo y carbón		X	X	X	X	X	
Curtido de cueros		X		X	X		
Productos de asbesto			X		X		
Altos hornos y acero		X	X	X	X		
Metales no ferrosos		X		X			
Plantas de energía (nuclear)						X	X
Hospitales				X		X	X

(a) Adaptado de: A Study of Hazardous Waste Materials, Hazardous Effects and Disposal Methods, Vol. 1, Report PB 221-465. Booz-Allen Applied Research, Inc. Disponible en el National Technical Information Service, Inc., Springfield, Virginia, EE.UU. (1973).

Ahora se reconoce que estos residuos constituyen una fuente significativa de contaminación del agua. En el caso de los "vaciaderos" (generalmente dentro de la propiedad de la planta o en las cercanías), los contenedores finalmente se corroían y permitían fugas. Estas fugas se derramaban sobre el suelo y avanzaban hasta llegar a las corrientes de agua, o se infiltraban a las aguas subterráneas. Esto tenía aún mayores posibilidades de ocurrir en áreas con precipitaciones pluviales considerables.

El agua también puede resultar contaminada por la descarga de materiales radioactivos. Las principales fuentes son los laboratorios de investigación, hospitales que usan isótopos radioactivos, lavanderías que prestan servicio a dichos laboratorios y hospitales, reactores nucleares refrigerados con agua, plantas que procesan combustibles para reactores y actividades de extracción y preparación del uranio.

Siempre deben realizarse investigaciones e inspecciones de campo para determinar la presencia, o la eventual presencia, de estos tipos de contaminantes. El Banco Mundial ha elaborado guías para la evaluación del daño potencial que podría causar la liberación accidental de materiales peligrosos (véase la Bibliografía).

Fuentes No Puntuales

Las fuentes no puntuales son aquéllas de naturaleza difusa y que descargan sustancias contaminantes sobre amplias zonas de terrenos. Las principales fuentes de este tipo son las actividades agrícolas, silvícolas, constructivas y de extracción de minerales, así como las escorrentías urbanas provenientes de áreas sin urbanizar o sin servicio de alcantarillado.

Los contaminantes provenientes de las actividades agrícolas incluyen sedimentos, nutrientes, plaguicidas, cargas orgánicas y organismos patógenos. Su transporte se realiza mediante (a) escorrentías hacia las aguas superficiales; (b) infiltración y penetración en aguas subterráneas; y (c) vientos que los trasladan hasta las aguas superficiales.

Los contaminantes provenientes de las actividades de silvicultura, como la tala de árboles, son similares a los agrícolas, siendo los principales los sedimentos. Los sedimentos tienen gran importancia, pues llevan hasta las aguas receptoras los residuos de plaguicidas y elementos nutritivos presentes en el suelo. También pueden causar problemas de encenegamiento (enlodamiento) en los cursos de agua y reservorios. En cierta medida, se puede producir una contaminación térmica como resultado de la eliminación de la copa de los árboles que protegen a los cursos de agua de la energía solar.

El contaminante más grave que producen las actividades mineras, es el líquido que drena de ellas cuando existe oxidación de los compuestos de piritita con el aire en presencia de agua. Este drenaje

consiste de una mezcla ácida de sales de hierro y de otro tipo de sales con ácido sulfúrico. El líquido que drena de las minas proviene tanto de actividades subterráneas como superficiales. Los residuos de la extracción, los materiales residuales dejados cerca al lugar de extracción luego de haberse extraído los minerales (también llamados "relaves"), constituyen otra fuente de contaminación. La lluvia que llega a estos cúmulos de residuos lixiviará parte de los contaminantes presentes y los drenará, ya sea hacia el subsuelo (pudiendo contaminar las aguas subterráneas) o hacia aguas superficiales adyacentes.

Las actividades de construcción también generan contaminación, éstas incluyen proyectos relacionados con (a) transportes y comunicaciones; (b) sistemas de energía; (c) desarrollo de recursos hídricos; y (d) obras de recreación.

Las cantidades y los tipos de contaminación generada por las actividades de construcción dependerán de (a) tipo y tiempo de duración del proyecto; (b) ubicación y tamaño del área en construcción; (c) resistencia de la superficie del terreno al deslizamiento y a la erosión por acción de la gravedad, el agua y el viento; (d) propiedades químicas o la geología del suelo bajo la superficie del terreno; y (e) número de personas y máquinas que participan en cada área de construcción.

Las escorrentías provenientes de áreas sin urbanizar o sin alcantarillado, pueden tener un papel significativo entre las denominadas fuentes no puntuales. Generalmente, en muchos de los países en vías de desarrollo, estas áreas constituyen enclaves urbanos ocupados por invasores, los que viven en lo que frecuentemente se denominan "barriadas" o "pueblos jóvenes". Estos pobladores han migrado de las áreas rurales hacia los centros urbanos y no cuentan con recursos financieros ni de otro tipo. Se crean nuevos asentamientos humanos en las barriadas ya existentes o en las áreas sin ocupar. Se construyen viviendas precarias con residuos de madera, metal u otros materiales. Estos asentamientos se crean indistintamente cerca o lejos de un río. Estas áreas rara vez cuentan con alcantarillas u otras facilidades sanitarias, por lo que los desechos y otros tipos de residuos domésticos son descargados directamente, sin tratamiento alguno, en una corriente de agua o en el suelo, de donde pueden infiltrarse hacia el subsuelo, o ser arrastrados hacia las aguas superficiales.

Residuos Sólidos

La descomposición de los materiales presentes en los residuos sólidos urbanos, puede liberar constituyentes químicos dentro del drenaje e infiltración asociada con otro tratamiento o disposición de dichos residuos. En los países en vías de desarrollo, los vaciaderos de residuos sólidos en pantanos, corrientes de agua o canteras abandonadas, es una forma común de disposición. La principal ruta de contaminación de estas sustancias químicas será por lixiviación hacia las aguas subterráneas y superficiales.

Efectos de la Contaminación

Cuando los materiales contaminantes presentes en los residuos líquidos son descargados en un cuerpo de agua, se producen una serie de cambios, los cuales pueden interferir con los usos previstos de estas aguas, corriente abajo del punto de descarga. Los efectos se miden en términos de los cambios que se producen en las características físicas, químicas y biológicas de las aguas receptoras.

Los residuos con un elevado contenido de materia orgánica degradable (como las aguas residuales domésticas o los residuos de las fábricas de conservas), consumirán rápidamente el oxígeno disuelto presente en la corriente de agua, como resultado del proceso de descomposición/estabilización. En algunos casos, los niveles de oxígeno descienden a un punto muy bajo o a cero. El oxígeno disuelto es esencial para todas las formas superiores de vida acuática. En general, se acepta que un nivel de oxígeno disuelto de 3 a 5 miligramos por litro, es el mínimo requerido para sustentar una población equilibrada de flora y fauna. Puede tolerarse un nivel más bajo en canales de drenaje, donde no viven peces, o viven muy pocos, pero debe mantenerse por encima de cero para evitar olores desagradables u otras molestias.

Los sólidos suspendidos o disueltos, también interferirán con los usos de los cursos de agua. La materia suspendida gruesa da apariencia turbia y restringe la penetración de la luz. Esta impenetrabilidad tiene a su vez un efecto nocivo sobre la vida acuática. La contaminación térmica (descarga de aguas de refrigeración u otros tipos de residuos líquidos a una temperatura lo suficientemente alta como para causar un incremento significativo en la temperatura de las aguas receptoras), tendrá el efecto de disminuir la concentración de oxígeno disuelto, acelerar el proceso de biodegradación y destruir ciertas formas de vida acuática.

Los productos residuales de descargas industriales son nocivos para los peces y para la vida acuática que les sirve de alimento. Los metales pesados, la contaminación térmica, los compuestos orgánicos sintéticos y los plaguicidas son frecuentemente responsables de la mortandad de peces. Tales materiales también pueden interferir con los procesos biológicos de tratamiento de las aguas residuales, por lo que su descarga a los sistemas públicos de alcantarillado debe ser estrictamente controlada.

Las aguas superficiales, son frecuentemente enriquecidas por los nutrientes presentes en las aguas residuales. El nitrógeno, normalmente presente en las aguas residuales tratadas, y el fósforo proveniente del uso de ciertos detergentes, contribuyen notablemente en el crecimiento de plantas acuáticas y algas (eutroficación). Estas plantas y organismos morirán, se descompondrán, producirán condiciones anaeróbicas y sépticas, tendrán efectos tóxicos en los peces e incrementarán los problemas en el tratamiento del agua de abastecimiento. Las algas microscópicas darán olor, sabor y turbiedad al agua. Las formas vegetales de mayor tamaño y las malezas pueden crecer tanto que lleguen a cubrir toda la superficie del cuerpo de agua.

La presencia de organismos coliformes denota la presencia de desechos humanos y animales, y posiblemente de organismos patógenos. Estos plantearán problemas de salud cuando las aguas se utilicen para abastecimiento doméstico, para deportes de contacto (como natación), o para mantener la fauna y flora silvestres.

En resumen, el deterioro de la calidad del agua provocada por la contaminación (incluido el caso de las aguas subterráneas) puede tener, dependiendo de la intensidad y la calidad de dicha contaminación, serios efectos sobre la salud (ingestión de agua potable), vida silvestre (peces y otros animales), deportes (pesca, navegación), agricultura (cultivos comerciales), productividad de la tierra (valor de los terrenos para uso residencial), infraestructura, producción de insumos (fuente para abastecimiento de agua doméstica o industrial), y otros usos legítimos del agua.

Bibliografía

Cointreau, Sandra J. Environmental Management of Urban Solid Wastes in Developing Countries. A Project Guide. Urban Development Technical Paper No. 5. Washington: The World Bank, June 1982.

Environment Department. Manual of Industrial Hazard Assessment Techniques. Washington: The World Bank, October 1985.

Environment Department. Environmental Guidelines. Washington: The World Bank, 1984.

Loehr, Raymond C. et al. ed. Best Management Practices for Agriculture and Silviculture. Proceedings of the 1978 Cornell Agricultural Waste Management Conference. Ann Arbor, Michigan: Ann Arbor Science Publishers, Inc., 1979.

Metcalf & Eddy, Inc. [Rev. by George Tchobanoglous]. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse. New York: McGraw-Hill Book Company, 1979.

Sanders, Thomas G. et al. Design of Networks for Monitoring Water Quality. Littleton, Colorado: Water Resources Publications, 1983.

Schiller, Eric J., & Ronald L. Droste. Water Supply and Sanitation in Developing Countries, Ann Arbor, Michigan: Ann Arbor Science Publishers, 1982.

U.S. Environmental Protection Agency. "Methods for Identifying and Evaluating the Nature and Extent of Non-Point Sources of Pollutants". Publication No. EPA-430/9-73-104. Washington, October 1973.

Vesilind, P. Aarne, & J. Jeffrey Peirce. Environmental Engineering. Woburn, Massachusetts: Butterworth Publishers, 1982.

Water Pollution Control Federation. Industrial Wastewater Control Program for Municipal Agencies. Manual of Practice OM-4. Washington: WPCF, 1982.

Water Pollution Control Federation. Joint Treatment of Industrial and Municipal Wastewaters. Washington: WPCF, 1976.

Wilshire, Peter, & Rosemary Righter. The Exploding Cities. New York: Quadrangle/The New York Times Book Company, 1975.