

CAPÍTULO XI PROBLEMÁTICA ACTUAL DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS CONTINENTALES

1. *Planteamiento del tema y definición de conceptos*

La relación del hombre con la naturaleza se ha llevado a cabo considerando a los recursos naturales como inagotables, que permanecerán eternamente. Más aún con el desarrollo de la tecnología pensada únicamente en los beneficios que ésta nos proporcionaría, se nos han olvidado sus efectos negativos sobre la naturaleza. Nos hemos creído dueños de ésta sin darnos cuenta de los daños que estamos causando en los diferentes recursos y de la importancia de todos y cada uno de ellos para nuestra supervivencia.

El agua es el elemento más importante de nuestro planeta, que como lo señala Martín Mateo,²⁷³ ha permitido la aparición, y sobre todo el mantenimiento de la vida.

El agua, además de componer la mayor parte de los organismos vivos,²⁷⁴ se utiliza en casi todas las actividades humanas, siendo así, vital para la agricultura, los procesos industriales, la generación de energía eléctrica, la asimilación de desechos, la recreación, la navegación, etcétera.²⁷⁵

La doctrina ha hecho hincapié en que, aun cuando en principio, el agua es un recurso renovable, puede llegar a estar tan contaminada por las actividades humanas que acabe siendo inútil para muchos propósitos e incluso nociva. La contaminación del agua es un problema tanto a nivel local, como regional e incluso mundial, y va ligada a la contaminación del aire y al modo en que usamos el recurso de la tierra.²⁷⁶

273 Cfr. Martín Mateo. Ramón, *Tratado de derecho ambiental*, Madrid, Trivium, 1992, p. 1.

274 Los seres humanos estamos constituidos entre un 70 y 85% de agua y en la medida en que envejecemos la vamos perdiendo. Cfr. Enkerlin Hoeflich, Ernesto C. y Mier y Reyes, Rosa del Carmen, "Suelo y agua", *Ciencia ambiental y desarrollo sostenible...*, México. International Thomson Editores, 1997, p. 246.

275 Sobre este tema véase Vogel Martínez, Enrique y Rivas Rodríguez, Erick, "Contaminación del agua", *Ciencia ambiental y desarrollo sostenible...*, p. 401.

276 Ballesteros, Jesús y Pérez Adán, José, *Sociedad y medio ambiente*, Madrid, Trotta, 1997.

Al respecto, Loperena Rota²⁷⁷ observa que el agua ha sido tratada por el hombre, hasta la aparición de la moderna conciencia ambiental, como un elemento fundamental en la conservación de la salubridad pública (desecación de zonas pantanosas, lavaderos); en el desarrollo económico (regadíos, fuente de energía); y en el recreo o esparcimiento (fuentes, baños). Sin embargo, esta situación ha cambiado en forma radical como consecuencia de la actuación tan agresiva que ha habido durante décadas, sobre este recurso. “La industrialización, por un lado, la densidad del hábitat y el uso creciente del agua que el progreso civilizador impone, por otro, convierten hoy el abastecimiento de agua en problema permanente”.²⁷⁸

Se entiende por “aguas continentales”, el agua dulce que está sobre nuestro planeta y que constituye una pequeña parte de la gran cantidad de agua de la que está constituido todo el planeta. Los ríos, lagos,²⁷⁹ arroyos, manantiales y los acuíferos subterráneos²⁸⁰ es lo que se considera como agua dulce y de los cuales depende toda la vida vegetal, animal y humana.²⁸¹ Se ha observado que el agua dulce que puede ser aprovechada en la naturaleza resulta muy poca para toda la humanidad.²⁸²

277 Loperena Rota, Demetrio, *El derecho al medio ambiente adecuado*, Madrid, Civitas, 1996, p. 105.

278 Martín Mateo, Ramón, *Tratado...*, p. 3.

279 En el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, la fracción XIV del artículo 2 nos define lago o laguna como: “El vaso de propiedad federal de formación, natural que es alimentado por corriente superficial o aguas subterráneas o pluviales, independientemente que dé o no origine a otra corriente, así como el vaso de formación artificial que se origina por la construcción de una presa.

280 Un acuífero es una “roca porosa o suelo saturado de agua”. *Ciencia ambiental y desarrollo sostenible...*, p. 657. La Ley de Aguas Nacionales la define en su artículo 3: II. “Acuífero: cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas subterráneas que puedan ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento.” En nuestro país la contaminación de aguas subterráneas se debe principalmente a los desechos humanos. Éstos filtran a través del suelo hasta los acuíferos y los contaminan, causando graves problemas de salud en la población. En la península de Yucatán esto es muy común, debido a las características de sus suelos permeables, en donde no existen sistemas de alcantarillado debido a que el suelo es roca caliza y por lo tanto hace muy costoso que se instale la tubería. Otra de las fuentes de contaminación de los mantos acuíferos son los desechos sólidos que por las lluvias se genera su disolución y se filtran hasta los mantos acuíferos. Sobre este punto véase Vizcaino Murray, Francisco, *La contaminación en México*, 3a.reimp., México, FCE, 1992, pp. 98-100.

281 Cfr. Alcáin Martínez, Esperanza, *op. cit.*, pp. 205-221. También véase Vizcaino Murray, Francisco, *op. cit.*, p. 77.

A pesar de que aproximadamente el 71% de la superficie de nuestro planeta está cubierto por mares y océanos, la cantidad de agua que puede utilizarse para usos industriales, agrícolas y domésticos es muy limitada porque el agua dulce realmente disponible es únicamente el 0.003%.

Sobre este punto véase Enkerlin Hoefflich, Ernesto C. y Micr y Reyes, Rosa del Carmen, *op. cit.*, p. 247.

282 Véase Vizcaino Murray, Francisco, *op. cit.*, p. 77.

Existe una gran preocupación por el deterioro de este recurso, que además de que cada vez se vuelve más escaso por el uso indiscriminado del mismo, ha sido receptor de grandes descargas de vertidos que se canalizan a los acuíferos subterráneos y que traen como consecuencia grandes daños a la salud humana y a la flora y fauna. “No basta con constatar que haya agua suficiente, es preciso que ésta sea idónea para los usos a que va destinada. Aquí aparece el gran problema del deterioro de las aguas como consecuencia de vertidos excesivos e insensatos”.²⁸³

De esta forma, expone Loperena Rota,²⁸⁴ la industrialización se ha desarrollado tomando este recurso con desprecio absoluto, derivando ríos, estableciendo pantanos y, sobre todo, realizando vertidos. Esto tiene las siguientes consecuencias:

- 1) La inutilización posterior del caudal, para cualquier finalidad.
- 2) La incorporación al ciclo biológico de sustancias que antes no estaban y de cuyos efectos todavía no se tienen datos definitivos.
- 3) La desaparición de la capacidad autodepurativa de los ríos, cuando se trata de compuestos que no pueden asimilarse.
- 4) La grave afectación a la flora y a la fauna piscícola.

La doctrina,²⁸⁵ ha señalado como problemas genéricos de la protección del agua los siguientes:

- 1) La cantidad de agua que a su vez tiene que ver con:
 - a) El mantenimiento de las condiciones naturales que permitan que se lleve a cabo el proceso de renovación de las mismas, el cual consiste en el ciclo de evaporación, precipitación, depósito y flujo del agua,²⁸⁶ y

283 Martín Mateo, Ramón. *Tratado...* p. 5.

284 Loperena Rota, Demetrio. *op. cit.*, p. 105.

285 Brañes, Raúl. *op. cit.*, pp. 318 y 319. En este mismo sentido, Martín-Retortillo, Sebastián. *Derecho de aguas*. Madrid, Civitas, 1997, pp. 27-56, y Alcaín Martínez, Esperanza. *op. cit.*, p. 188.

286 El ciclo del agua es el proceso que sigue el agua, desde que cae en forma de lluvia, hasta que regresa a la atmósfera. A una gota en forma de lluvia le pueden suceder distintas cosas al caer: 1) puede evaporarse en el trayecto; 2) infiltrarse en el suelo, lo cual significa que si se infiltra hasta una profundidad superficial, las plantas o los microorganismos del suelo pueden absorberla y si en cambio, se infiltra de manera más profunda, recarga los mantos freáticos y/o los acuíferos; 3) escurrir formando arroyos o ríos y llegar a lagos y mares. La importancia de esto es que en la formación de nubes se necesita la presencia de núcleos de condensación, partículas (generalmente granos de polvo muy pequeños) y si la atmósfera está contaminada, ocurren reacciones químicas que pueden causar

- b) El uso racional del recurso ya que hay una sobreexplotación de los acuíferos debido a las grandes concentraciones de población que provocan una demanda mayor de agua, y por el despilfarro en su uso.
- 2) La calidad del agua necesita ser controlada ya que las aguas residuales requieren tratamientos especiales para evitar la contaminación de las aguas receptoras de las mismas y reducir lo más posible las enfermedades de los seres humanos y la muerte de especies completas de flora y fauna.

Dentro del derecho de aguas, el tema de su calidad significa impedir su contaminación, con el fin de que el agua mantenga un determinado nivel. Por lo que la calidad de los recursos es un valor objetivo que es independiente de las causas y de las circunstancias concretas que puedan dar lugar a su deterioro.

La calidad del agua significa que el agua debe mantener sus aptitudes necesarias para satisfacer las distintas necesidades tales como el consumo humano y de los animales, el riego, el uso industrial, el uso recreativo, etcétera. Los requisitos y parámetros de la calidad del agua varían según el uso al que vaya a destinarse. Hay autores²⁸⁷ que consideran que la calidad del agua no depende únicamente de la cantidad de desechos que penetran en la misma sino que también depende de las medidas que se tomen para descontaminar el agua. Sin embargo no estamos de acuerdo por que si bien las medidas para la descontaminación son importantes, hay daños irreversibles que aunque se tomen todas las medidas de descontaminación, no logran restaurar el recurso afectado.

Demetrio Loperena Rota²⁸⁸ señala que la gestión integral del agua está basada en que ésta sea percibida como una parte del ecosistema, un recurso natural y un bien económico, cuya cantidad y cualidad determina la naturaleza de su utilización. Para ello, las aguas deben protegerse tomando en cuenta el funcionamiento de los ciclos hidráulicos de carácter per-

lluvia ácida posteriormente. Véase C. Enkerlin Hoeflich, Ernesto y Mier y Reyes, Rosa del Carmen, *op. cit.*, p. 248. En el mismo sentido, véase Wagner, Travis, *Contaminación, causas y efectos*. México, Gernika, 1996, pp. 34 y 35.

²⁸⁷ Cfr. Tolba, Mostafa K., *Salvemos el planeta: problemas y esperanzas*, Chapman & Hall, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, pp. 48-50.

²⁸⁸ Loperena Rota, Demetrio, *op. cit.*, p. 106.

manente y tratando de conciliar las necesidades humanas con los recursos hidráulicos disponibles. Será prioritario en este sentido el uso del agua para satisfacer las necesidades humanas básicas y el mantenimiento de los ecosistemas.

Mazari Hiriart²⁸⁹ señala que el agua subterránea²⁹⁰ es uno de los recursos naturales más importantes, ya que representa a nivel mundial una gran proporción del agua que se utiliza. Se ha considerado de manera errónea que los acuíferos se encuentran protegidos de manera natural de las diversas fuentes de contaminación, sin embargo, se ha encontrado la presencia de muchos contaminantes tanto de origen industrial como municipal y agrícola. Las fuentes principales de contaminación de los sistemas de agua subterránea se han clasificado como “fuentes puntuales”, que son las fábricas, refinerías, tintorerías, gasolineras, aeropuertos, tiraderos de basura, tanques enterrados; y las “fuentes no puntuales” entre las cuales se encuentran, la aplicación de plaguicidas, los canales de drenaje, los sistemas de tuberías para el transporte de hidrocarburos, etcétera. Generalmente los contaminantes se encuentran en estado líquido e interactúan con las partículas del suelo. Los compuestos volátiles migran en forma de vapor, lo cual es también grave. Hay desechos en estado sólido, que se descomponen e infiltran el agua de lluvia, produciendo lixiviados.²⁹¹ En México, específicamente en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), casi tres cuartas partes del área dependen del acuífero para el abastecimiento del agua potable, por lo que la protección de la calidad del agua subterránea es sumamente importante. Los desechos originados por la actividad doméstica, industrial y comercial contienen diversos gérmenes patógenos y contaminantes tóxicos que pueden representar un gran peligro. Se ha señalado que la posibilidad de que esos con-

289 Seguiremos de cerca a Mazari Hiriart, Marisa, “El potencial de contaminación del agua subterránea”, *Gaceta Ecológica*, México, Instituto Nacional de Ecología, nueva época, núm. 36, septiembre de 1995, p. 54.

290 Las aguas subterráneas son aquellas contenidas en acuíferos constituidos por conjuntos de materiales inertes que tienen espacios los cuales pueden ser saturados, almacenando y transmitiendo el agua al permitir su captación a partir del nivel freático. La mayoría de los acuíferos que son utilizados o que son utilizables forman parte del ciclo de agua, ya que la lluvia penetra en el suelo y posteriormente es captada en las porosidades de las rocas desde donde fluye a los manantiales, ríos y finalmente, si no se aprovecha, al mar. La carga de los acuíferos puede producirse también desde las aguas superficiales, y posteriormente descargarse en otros cursos de nivel inferior. El flujo del agua funciona por gravedad. Véase Martín Mateo, Ramón, *Tratado...*, 2, pp. 147 y 148.

291 Lixiviación significa el “movimiento de sustancias químicas, a través de poros, fisuras o fallas del terreno hacia el subsuelo, a partir de depósitos superficiales o subterráneos de residuos.” *Cfr. Ciencia ambiental y desarrollo sostenible...*, p. 663.

taminantes se filtren al agua subterránea depende de muchos factores, entre ellos, la composición de los suelos, el nivel freático,²⁹² la tasa de recarga y otros factores ambientales que influyen en la movilidad o degradación de los contaminantes.²⁹³

En México, uno de los principales problemas es que no hay un tratamiento adecuado de las aguas residuales, y que existe la práctica de utilizar canales no revestidos para el transporte de los desechos sin tratar.

El sistema combinado de drenaje transporta aguas residuales y agua de lluvia a través de una red primaria de 1,212 kilómetros de largo y una red secundaria de 12,326 kilómetros de longitud. En la época de lluvias, las aguas residuales se filtran al subsuelo a través de los túneles profundos ocasionando problemas en sitios que se encuentran en la zona lacustre²⁹⁴ y en donde la protección de la capa de arcilla ya es insuficiente. Además, existe un riesgo adicional de contaminación del agua subterránea provocado por los canales no revestidos.

Asimismo, existen pozos abandonados que muchas veces se encuentran abiertos y cerca de la superficie y otros no están bien sellados. Muchos están cerca de drenaje no revestidos que contienen aguas residuales domésticas e industriales y por lo tanto, los pozos abandonados pueden representar una ruta alterna y más directa de contaminación hacia el acuífero.

En la ZMVM se encuentra la zona industrial más importante del país, aproximadamente el 45 % de la producción industrial de la nación se en-

292 Se conoce como nivel o manto freático al "nivel superior de las aguas libres del subsuelo. Su importancia radica en ser un reservorio vital de agua potable, así como en proporcionar firmeza y estabilidad al suelo." *Ciencia ambiental y desarrollo sostenible...*, p. 663.

293 En la Zona Metropolitana del Valle de México, estos elementos varían en cada una de las tres principales zonas hidrológicas: la zona lacustre, la zona de transición de la región piedemonte y la zona de montaña. La zona de transición tiene características especiales ya que existe una permeabilidad natural, rapidez del crecimiento urbano y un incremento en el número de pozos de abastecimiento por lo que esto contribuye a que haya diversos problemas en el uso del suelo, tales como: 1) asentamientos que no cuentan con recolección de aguas negras; 2) canales de drenaje que no están revestidos y que llevan aguas residuales sin tratar; 3) aguas negras de origen doméstico; 4) basureros mal confinados y 5) un mal manejo del almacenamiento y desecho de materiales peligrosos. En la zona de montaña, aun cuando la urbanización es menor que en las zonas más bajas, los asentamientos humanos irregulares están dispersos en la ladera de las montañas por lo que aumenta la posibilidad de contaminación. Recientemente se creía que las arcillas lacustres que se encuentran en gran parte del área urbana formaban una capa impermeable que evitaba que los contaminantes penetraran subterráneamente. Sin embargo, se han aplicado diversos modelos que muestran que los contaminantes han migrado a mayor distancia en las arcillas por lo que esto confirma la hipótesis de que los contaminantes se mueven a través de las fracturas. Véase Internet, *Calidad del agua y problemas de salud*. Internet .../ www/la/Mexico/water/ch5esp.html.

294 *Idem*.

cuentra en esta zona. Esto significa que la cantidad de desechos peligrosos que se generan en esta zona es muy alta. De estos desechos, una gran parte son efluentes²⁹⁵ procesados o tratados que se arrojan al sistema municipal de drenaje y otra parte son desechos sólidos que generalmente son llevados a los basureros municipales o basureros ilegales.

Otra preocupación sobre la calidad del agua es el riesgo de la aplicación de pesticidas en tierras agrícolas. En México no existe información muy precisa sobre el grado de contaminación del agua que ha sido causada por los pesticidas, pero la Organización Panamericana de la Salud ha identificado algunas cuencas de ríos en donde el uso de pesticida pudiera ser un problema, entre las cuales está la cuenca del río Lerma, que abastece parte del agua potable de la ciudad de México. Una prueba de ello es que se han encontrado pesticidas en tejido adiposo humano en muestras tomadas de la población de la ciudad de México, en virtud de que los pesticidas se filtran al agua subterránea a través de la subsuperficie, contaminando ésta.²⁹⁶

2. Causas principales de contaminación

Múgica Álvarez define contaminación del agua como “la adición de cualquier sustancia al agua, en cantidad suficiente que cause efectos mensurables en los seres humanos, en los animales, en la vegetación o en los materiales y que se presente en cantidades que sobrepasen los niveles normales en los que se encuentra en la naturaleza, de manera que resulte inapropiada para usos benéficos”.²⁹⁷

La contaminación puede ser por causas naturales o por actividades del hombre.

Se considera que el principal tipo de contaminación de las aguas es la causada por la descarga en ríos y lagos de descargas residuales y desechos que no han sido tratados o que han sido inadecuadamente tratados, provenientes principalmente de la industria, en virtud de que además de que éstas descargan aguas que contienen sustancias consideradas como altamente contaminantes, se producen en grandes cantidades. Como su-

²⁹⁵ Entendiendo por efluentes, “cualquier flujo de salida de un proceso”, *Ciencia ambiental y desarrollo sostenible...*, p. 660.

²⁹⁶ Véase Internet, *Calidad del agua y problemas de salud*, Internet .../ www/la/Mexico/water/ch5esp.html.

²⁹⁷ Múgica Álvarez, Violeta y Figueroa Lara, Jesús, *Contaminación ambiental, causas y control*, México, Universidad Autónoma Metropolitana, 1996, p. 24.

braya Saval Bohórquez,²⁹⁸ tanto la LAN como su reglamento, consideran que el factor más importante de la contaminación del subsuelo y acuíferos, es el vertimiento de aguas residuales.

Martín-Retortillo²⁹⁹ advierte la importancia de la responsabilidad por los daños debidos al deterioro de la calidad de las aguas como consecuencia de los vertidos, en virtud de que el origen principal que puede dar lugar al deterioro de la calidad de las aguas está en los vertidos³⁰⁰ directos o indirectos, que se realizan en los cursos de agua, superficiales o subterráneos. La legislación de aguas española define los vertidos como “los que se realicen directa o indirectamente en los cauces, cualesquiera que sea la naturaleza de éstos, así como los que se lleven a cabo en el subsuelo o sobre el terreno, balsas o excavaciones, mediante evacuación, inyección o depósito”.³⁰¹

La LAN define agua residual en su artículo 2: “... II. Aguas residuales: Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarios, domésticos y en general de cualquier otro uso;”

Como lo señala la propia ley, hay distintos tipos de agua residual, según su origen, que puede ser industrial, doméstico, municipal, agrícola o pecuario. Es importante tomar en cuenta que cuando el agua residual se mezcla con agua de lluvia o potable, se considera que es agua residual.

En relación con la contaminación del agua proveniente de la industria, Tolba³⁰² señala que los desechos industriales pueden contener metales pesados y otras sustancias químicas tóxicas, que no se degradan fácilmente en condiciones naturales ni en las instalaciones convencionales de tratamiento de aguas residuales.

Otro problema de la calidad de agua que se ha mencionado, es el de la creciente eutrofización³⁰³ de los ríos y lagos, debida fundamentalmente a

298 Saval Bohórquez, Susana, *op. cit.*, p. 231.

299 Véase Martín-Retortillo, Sebastián, *op. cit.*, pp. 339, 361-364.

300 En este mismo sentido, Alcáin Martínez, Esperanza, quien señala que los vertidos constituyen el principal agente contaminador de las aguas, *op. cit.*, p. 215.

301 Artículo 92 de la Ley de aguas española.

302 K. Tolba, Mostafa, *op. cit.*, p. 49.

303 En los lagos se da un aumento de los nutrientes en forma natural, mismo que es provocado por la erosión del viento y de las distancias recorridas por los ríos. Cuando los lagos están en su período de formación, presentan un adecuado suministro de agua y nutrientes escasos, en virtud de lo cual, muy pocos organismos desarrollados viven en él. Posteriormente, los lagos se van enriqueciendo de forma natural con los nutrientes inorgánicos, proceso denominado como eutrofización. Las descargas industriales, de desechos humanos y la agricultura aunada a la lluvia y los vientos, provocan

la escorrentía de fertilizantes de tierras agrícolas ya que los desechos pueden ser arrastrados a lagos y corrientes indirectamente, cuando el agua se filtra a través de suelos contaminados y transporta los contaminantes a lagos o ríos.³⁰⁴

Hay distintos criterios³⁰⁵ para clasificar la contaminación del agua: según el tipo de escurrimiento, se distingue en puntual o localizada; por el contaminante químico, en orgánica e inorgánica; si es físico o biológico y por el impacto al medio ambiente, en tóxico y no tóxico.

- a) Contaminación puntual o localizada. Este tipo de contaminación es aquella que se produce de tal forma que se conoce el punto exacto en que el contaminante se introdujo al cuerpo receptor y es generada principalmente por emisiones de industrias, plantas tratadoras de aguas residuales, descargas municipales, etcétera.
- b) Contaminación no localizada o de escurrimientos. Esta contaminación se da cuando los contaminantes son emitidos en determinadas zonas y posteriormente son arrastrados con el agua de lluvia o mediante erosión del suelo, hacia los cuerpos receptores.

Cuando hay un acuífero debajo de una superficie de suelo que se encuentra contaminada, las lluvias o corrientes de agua transportan los contaminantes hacia las zonas donde prevalece el acuífero. Los contaminantes pueden estar presentes de manera natural, como los depósitos de minerales solubles que muchas veces son atravesados por los mantos

una acumulación rápida de sustancias inorgánicas, que provocan el aceleramiento del proceso de eutrofización. Vogel Martínez, Enrique y Rivas Rodríguez, Erick, *op. cit.*, p. 405.

“En la contaminación de ríos y lagos hemos de observar el fenómeno de la eutrofización: las corrientes fluviales, debido a su constante movimiento, se recuperan con mayor facilidad de algunas formas de contaminación que las aguas estancadas, especialmente del exceso de calor y de los desechos degradables que requieren oxígeno. No obstante, la regeneración se produce sólo mientras no estén sobrecargadas con contaminantes y su flujo no se vea reducido por la sequía, el embalsamiento o el desvío para usos agrarios, urbanos o industriales.” Ballesteros, Jesús y Pérez Adán, José, *op. cit.*, p. 68.

El *Diccionario Rioduero de Ecología*, define “Eutrofización” como el aumento de materias nutritivas, especialmente de compuestos de fósforo y nitrógeno en las aguas, que puede tener su origen en aguas residuales, en materiales residuales que contengan álcalis, en el lavado de sustancias alimenticias y en la erosión del suelo. Con la acumulación de materias alimenticias se eleva la producción de organismos, hasta el punto en que, en casos extremos, ya no puede utilizarse ni degradarse tal cantidad. La consecuencia es la formación de lodo pútrido. *Diccionarios Rioduero*, Madrid, Ediciones Rioduero, 1975.

304 *Cfr.* Tolba, Mostafa K., *op. cit.*, p. 49.

305 *Cfr.* Vogel Martínez, Enrique y Rivas Rodríguez, Erick, *op. cit.*, pp. 401-411.

acuíferos, de tal forma que dichos minerales son arrastrados y provocan la contaminación de éstos.

Sin embargo, la forma más común de contaminación de mantos acuíferos es a través de la filtración en el suelo de sustancias que provienen de los drenajes sanitarios. También cuando existen confinamientos de residuos que generan lixiviados con alto contenido de sustancias contaminantes, son arrastrados hacia los mantos acuíferos naturalmente o por la lluvia. Este tipo de contaminación se debe muchas veces a una mala construcción de lagunas de evaporación o de aireación, confinamientos de residuos, o por la ineficiencia o deficiencia en los sistemas de alcantarillado, entre otros.

A. Tipos de contaminantes

Es importante hacer una distinción entre los diferentes tipos de contaminantes porque la alteración en el agua varía y se van a producir efectos o daños distintos, y por lo tanto de eso depende cuáles serán los requisitos o parámetros con los que tenga que cumplir una industria determinada, así como las medidas aplicables para restaurar el recurso afectado.

Los contaminantes del agua pueden clasificarse³⁰⁶ según su estructura, en:

1) *Contaminantes orgánicos*: son aquellos con alto contenido de carbono entre los que se encuentran los hidrocarburos, los compuestos derivados del benceno, las grasas y aceites, los bifenilos policlorados, la materia proveniente de la descomposición de plantas y animales, etcétera. Son compuestos formados principalmente de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno.

La materia orgánica es utilizada por los microorganismos para sintetizar nuevos organismos, proceso en el cual los microorganismos utilizan el oxígeno que se encuentra disuelto en el cuerpo de agua. Cuando hay una descarga con alto contenido de materia orgánica, se da un cambio brusco en la concentración de oxígeno disuelto en el agua y al mismo tiempo ocurre un aumento de la DBO.³⁰⁷ Además, por lo general llevan una cantidad de materia suspendida que impide el paso de la luz solar en

306 Sobre este punto véase Múgica Álvarez, Violeta y Figueroa Lara, Jesús, *op. cit.*, pp. 24-29. y a Martín Mateo, Ramón, *Tratado...*, pp. 12-14.

307 Son las siglas para referirse a la demanda bioquímica de oxígeno, la cual es la "medida de la cantidad de oxígeno necesario para descomponer los materiales orgánicos de un volumen específico de agua. El aumento en los desechos orgánicos en el agua requiere una alta demanda de oxígeno." *Ciencia ambiental y desarrollo sostenible...*, p. 660.

el punto de la descarga, impidiendo así la fotosíntesis de las plantas.³⁰⁸ Las materias orgánicas, apunta Martín Mateo,³⁰⁹ pueden ser descompuestas microbiológicamente siempre y cuando exista oxígeno disuelto en cantidad suficiente; de lo contrario, la digestión aerobia se dificulta o resulta imposible por lo que las aguas se estancan en su proceso depurativo o no se regeneran adecuadamente.

Este tipo de contaminación se genera principalmente por los drenajes sanitarios, así como las industrias alimenticias y de celulosa.

Aun cuando los desechos orgánicos son biodegradables, se afirma que no por ello dejan de ser contaminantes y perjudiciales. Los efectos principales de estos son grandes enfermedades como el cólera, fiebres tifoideas y disentería, entre otras.

Mazari Hiriart³¹⁰ advierte que los compuestos químicos orgánicos que se encuentran en agua subterránea, son los compuestos que más riesgo representan para el ambiente y la salud humana. Los que más comúnmente se encuentran en agua subterránea son los disolventes industriales y los hidrocarburos aromáticos. El origen de la contaminación en este caso, es generalmente por fugas, derrames y disposición de líquidos orgánicos en la superficie del agua, etcétera.

2) *Contaminantes inorgánicos*: son contaminantes de sales solubles o insolubles, entre los cuales se encuentran los cloruros, sulfatos, sulfitos, nitratos, nitritos, carbonatos, fluoruros, entre otros.

Se ha hecho una distinción de las materias inorgánicas, en materias inorgánicas en suspensión y materias inorgánicas disueltas. Las primeras, tienden a depositarse obstruyendo los cursos y perjudicando la flora y la fauna; las segundas, son sustancias que químicamente tienen los caracteres de ácidos o sales de metales pesados que pueden ser altamente tóxicos destruyendo la vida acuática y perjudicando a todos los organismos que utilizan estas aguas.³¹¹

Los nutrientes también tienen efectos ecológicos, tal es el caso de los nitratos y los fosfatos cuyo efecto principal es estimular el crecimiento de las plantas acuáticas, como es el caso del lirio acuático, que a su vez tiene influencia en el proceso biológico por el oxígeno utilizado para la descomposición de sus tejidos muertos. Estas plantas se multiplican por la

308 Véase Vogel Martínez, Enrique y Rivas Rodríguez, Erick, *op. cit.*, p. 403.

309 Cfr. Martín Mateo, Ramón, *Tratado...*, p. 12.

310 Así lo expone Mazari Hiriart, Marisa, *op. cit.*, p. 54.

311 Véase Martín Mateo, Ramón, *Tratado...* pp. 12 y 13.

hiperfertilización de las aguas y la gran cantidad de éstas provoca daños al ecosistema, además de ocasionar grandes pérdidas de agua. El efecto principal que tiene esto es el fenómeno de eutrofización o eutrofización de estas masas líquidas en los lagos.³¹²

Las principales fuentes de este tipo de contaminación de nutrientes son los detergentes con alto contenido de fósforo, fertilizantes artificiales que se utilizan en la agricultura, combustibles fósiles que provocan un aumento en el contenido de nitrógeno de la lluvia, y la tala inmoderada de árboles que provoca la erosión por los vientos.

En el caso de los detergentes no biodegradables y de los pesticidas, éstos tienen estructuras moleculares que no son alteradas por los mecanismos de degradación normal, lo cual las hace persistentes en los cursos de las aguas y se transmiten a la cadena alimenticia hasta llegar a los animales que como el hombre están al final de la cadena. Esas estructuras se adicionan a los tejidos del hombre progresivamente.

Los hidrocarburos y las grasas industriales presentan problemas para el tratamiento adecuado de las aguas, perjudican sus usos y alteran los ciclos biológicos.

El agua no únicamente se contamina por la introducción directa de sustancias contaminantes, sino también a través del suelo contaminado. Como lo expone Saval Bohórquez,³¹³ el suelo tiene diversas funciones, entre las cuales está la de servir de filtro amortiguador al limpiar el agua de lluvia que recarga los acuíferos. Expuesto esto, si el suelo es el que ha sido contaminado, el agua de lluvia que se filtra a través de éste, sirve como medio para acarrear los contaminantes a los acuíferos.

B. Fuentes de contaminación

Las causas de la contaminación del agua han sido clasificadas, según su fuente, en las siguientes:³¹⁴

a) Contaminación por aguas residuales municipales, las cuales provienen de los hogares y edificios públicos, principalmente de baños y cocinas.

Un tercio del total de la contaminación del agua se le atribuye a los hogares, al verter los residuos domésticos a través de las redes de alcanta-

312 En México, tal es el caso del lago de Chapala, Presa Endó, Valsequillo y del lago de Pátzcuaro. Véase Vizcaino Murray, Francisco, *op. cit.*, pp. 85 y 96.

313 Saval Bohórquez, Susana, *op. cit.*, p. 212.

314 Cfr. Múgica Álvarez, Violeta y Figueroa Lara, Jesús, *op. cit.*, pp. 32-44.

rillado. Los contaminantes que contienen son más fáciles de tratar cualitativamente, sin embargo, cuantitativamente producen un gran volumen de sustancias orgánicas, que una vez separadas significan un problema para su eliminación definitiva.³¹⁵ Los principales contaminantes que contienen estas aguas son de desperdicios humanos, los cuales contienen materia orgánica, nutrientes, sólidos suspendidos y sedimentos, así como gérmenes patógenos y “aguas grises”, que provienen principalmente de duchas, tarjas, y otras fuentes. También contienen sustancias tóxicas que suelen utilizarse en los hogares como lo son los productos de limpieza, detergentes, pintura, pesticidas, que finalmente se eliminan en el sistema de alcantarillado.³¹⁶

b) Contaminación por aguas residuales industriales: esta contaminación varía según el tipo de industria y que pueden ser tanto compuestos orgánicos, como lo es en el caso de la industria del papel y la alimenticia, como compuestos inorgánicos en las industrias de productos químicos, de pinturas, etcétera. Además, mientras algunas industrias producen materia en suspensión en grandes cantidades (azucarera, textil y minera), otras no tanto. También varían los compuestos químicos según el tipo de industria por lo que en algunas habrán cantidad de grasas, en otros ácidos y bases, hidrocarburos, sales inorgánicas, etcétera.

El mayor porcentaje de contaminación transmitido a los cursos de agua, se le atribuye a las industrias, en virtud de que no sólo aportan un volumen abrumador de sustancias contaminantes, sino que desde el punto de vista cualitativo, determinan la incorporación a las aguas de las sustancias más tóxicas y de los componentes más difíciles de extraer *a posteriori*. La contaminación industrial de las aguas se lleva a cabo principalmente por vertidos de aguas residuales ordinarios, pero también por vertidos ocasionales, por arrastres de material de escombreras y por elevación del nivel térmico a través de procesos de refrigeración.³¹⁷

c) Contaminación por detergentes: los detergentes sirven para limpiar y eliminar la suciedad en las aguas duras ya que permite que el agua y la grasa, que generalmente no se mezclan, queden suspendidas en él. Los detergentes además de que provocan mucha espuma y ocasionan problemas de olor y sabor, permanecen mucho tiempo. Los fosfatos empezaron a emplearse en la fabricación de detergentes, y se considera que son una

315 Cfr. Martín Mateo, Ramón, *Tratado...* pp. 11 y 12.

316 Véase a Wagner, Travis, *op. cit.*, p. 43.

317 Sobre este tema véase Martín Mateo, Ramón, *Tratado...*, p. 11.

de las causas principales de la eutroficación de los lagos. También hay detergentes que contienen sustitutos de fosfatos, sin embargo suelen ser alcalinos y pueden ocasionar otros efectos en la flora y fauna acuáticas, así como en el suelo y los cultivos por la toxicidad de sus componentes.

d) Contaminación por metales: las aguas que provienen de industrias mineras o fundidoras, llevan muchos metales que pueden ser tóxicos como el plomo, zinc, mercurio, plata, níquel, cadmio y arsénico.

e) Contaminación por escurrimientos de ácidos: también proviene de minas, principalmente de cobre, estaño, uranio y carbón. Este último se expone al agua y al aire y forma ácido sulfúrico que llega a las corrientes superficiales o a las aguas subterráneas por escurrimiento o a través del suelo. Los efectos pueden ser muy dañinos en la vida acuática sobre todo.

f) Contaminación por plaguicidas: los plaguicidas que se derraman en los suelos agrícolas para combatir plagas llegan a ríos, lagos e inclusive a las aguas subterráneas, al escurrir el agua por los suelos afectados. La principal preocupación sobre los plaguicidas que penetran en las aguas subterráneas es su impacto en el agua para beber.³¹⁸ Aunque también tienen efectos en los productos agrícolas que son regados con plaguicidas y que luego se destinan al consumo humano. Por ello es que se considera que la agricultura es responsable también de ciertas modalidades de contaminación por los fertilizantes que utilizan para mejorar sus cultivos.

g) Contaminación por desechos de animales: cuando los desechos animales se acumulan en grandes cantidades llegan a los cuerpos de agua por arrastre o lixiviación y por el hecho de estar constituidos por materia orgánica, fósforo y nitrógeno provocan que haya una demanda alta en oxígeno y ocasiona la muerte de la flora y fauna del lugar, además de provocar enfermedades cuando contienen parásitos.

h) Contaminación por aceite y petróleo: se provoca generalmente por descuidos o por accidentes de derrames y son muy dañinos. El control de este tipo de contaminación es de los más difíciles y peligrosos.

Saval Bohórquez³¹⁹ advierte que el impacto ocasionado por la industria petrolera comprende los efectos de cada una de las fases que están involucradas en el proceso y que son las etapas de exploración, explotación, transformación, distribución y comercialización. En este sentido, las acti-

318 Internet, *Pesticides in Ground Water*, National Water Quality Assessment Pesticide National Synthesis Project, Internet, http://water.wr.usgs.gov/pnsp/gw/gw_10.html.

319 Saval Bohórquez, Susana, *op. cit.*, p. 214.

vidades que se desarrollan en cada una de estas etapas³²⁰ afectan los recursos naturales, principalmente al agua, aire, suelo y biota.³²¹

i) Contaminación térmica: es la descarga de desechos calientes en cuerpos de agua como consecuencia de centrales eléctricas, principalmente las de energía nuclear pero también industrias como las siderúrgicas, las textiles y las azucareras. Este tipo de contaminación provoca un desequilibrio en el ecosistema debido al cambio en la densidad del agua y por lo tanto en su concentración de oxígeno. Se genera una gran demanda de oxígeno y consecuentemente deterioro de la vida animal y vegetal acuifera. Además, se producen cambios de temperatura muy bruscos lo cual también afecta alterando el metabolismo de organismos.

Este tipo de contaminación se genera principalmente por descargas de agua de enfriamiento que utilizan las plantas generadoras de energía eléctrica.

3. Efectos ocasionados por la contaminación del agua

Son muchos los efectos producidos por la contaminación de las aguas, sobretodo los relacionados con la salud como consecuencia de la ingestión de aguas contaminadas por alteraciones biológicas de las aguas negras municipales ya que la presencia de microorganismos provoca mu-

320 Susana Saval Bohórquez señala las actividades de las distintas fases de la industria petrolera que pueden tener algún efecto en el agua: 1) En la etapa de explotación terrestre se dan cambios en la dinámica del flujo de las aguas superficiales como consecuencia de los asentamientos irregulares que se instalan a las orillas de las vías de acceso, en virtud de que se generan aguas negras que también tienen impacto sobre los ecosistemas. Hay una mayor acumulación de desechos industriales y las posibilidades de derrame de crudo son mayores. 2) Para la instalación de tanques de almacenamiento, la industria de refinación necesita contar con grandes espacios ya que separan los productos del petróleo en diferentes fracciones de acuerdo con sus características químicas y usos. Estas actividades de proceso requieren de líneas de distribución para fluidos, vapores y gases y por lo tanto requieren de un alto consumo de agua de enfriamiento y hay vertimiento de aguas residuales que contienen compuestos tóxicos, sin contar con que las posibilidades de que haya fugas, derrames y explosiones, aumentan. 3) Al ser la industria petroquímica una industria de transformación, produce sustancias complejas muy diversas tales como: anhídrido carbónico, amoníaco, metanol, etileno, dicloroetano, polietileno, acetalehído, cloruro de vinilo, benceno, etcétera. Dentro de las instalaciones existen muchos riesgos de fugas, derrames y explosiones, así como la descarga de aguas residuales muy contaminadas. Los compuestos que se manejan en el proceso de transformación son más tóxicos que los que se utilizan en la refinación, son considerados generalmente como residuos peligrosos y casi ninguno de ellos puede someterse a algún tratamiento. 4) Tanto la distribución de los productos, que se lleva a cabo a través de ductos y pipas, como el almacenamiento en tanques, constituye un riesgo alto en virtud de que existen posibilidades de fugas y derrames que pueden afectar al suelo y a los cuerpos de agua que se encuentren cercanos al sitio de trabajo. *Ibidem*, pp. 214-216.

321 Biota significa "la totalidad de las formas vivientes de una determinada región o todos los organismos del planeta Tierra." Véase *Ciencia ambiental y desarrollo sostenible...* p. 658.

chas enfermedades distintas, tanto epidémicas como endémicas,³²² e inclusive es una de las principales causas de mortalidad y morbilidad en los países en desarrollo. También las aguas residuales pueden ser muy peligrosas ya que contienen muchos contaminantes y al ser descargadas en cuerpos de agua, afectan tanto a la vida acuática de los mismos como al ser humano ya que llegan a éste a través de la cadena alimenticia.

Las aguas residuales que contienen mucha materia orgánica y flotante, al ser vertidas en cuerpos de agua, alteran la vida acuática por los cambios del flujo de las corrientes naturales, lo cual trae como consecuencia una alteración de los ecosistemas y por otro lado, la materia orgánica provoca que el oxígeno disuelto disminuya y esto a su vez, ocasiona la muerte de la flora y fauna acuáticas.

Los principales efectos que se producen por la contaminación del agua son los siguientes:

- 1) Agotamiento de recurso.
- 2) Creciente invasión de aguas salinas en los acuíferos.
- 3) Anegamientos y salinización,³²³ acelerando la degradación de la tierra, como consecuencia del exceso de riego.
- 4) Enfermedades graves en la salud humana.
- 5) Eutrofización provocada por el alto contenido de nutrientes en ríos y lagos, lo cual hace que aumenten los problemas y los costos de las instalaciones de tratamiento de agua que suministran agua potable.
- 6) Acidificación de los lagos de agua dulce que afecta a la vida acuática, viéndose muy afectada la acuicultura y la pesca.
- 7) Daños a la pesca cuando las aguas residuales municipales contaminadas se vierten directamente en cuerpos de agua ya que las sustancias arrojadas hacen que el oxígeno disuelto disminuya para consumirse en la oxidación química o bioquímica de las mismas.

322 “En medicina, este término se aplica a la enfermedad que prevalece habitualmente en una comarca. En ecología, una especie endémica es aquella que sólo se localiza en un determinado y delimitado territorio.” *Ibidem*, p. 660.

323 En la mayoría de los casos, la salinización de un suelo se debe a la acumulación en él de las sales contenidas en el agua que se utiliza para el riego del mismo. Sin embargo, también es necesario tomar en cuenta la tolerancia que las plantas que han de cultivarse tienen a la salinidad, así como las condiciones especiales del suelo en que se cultivan. “Agua, suelo y cultivos vienen a constituir así los elementos fundamentales del sistema en el que se produce el complejo fenómeno de la salinidad en la agricultura...”. Sobre este tema véase Pérez Pérez, Emilio, *Estudios jurídicos sobre propiedad, aprovechamiento y gestión del agua*, Madrid, Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 1993, pp. 115-127.

- 8) Daños a la salud tanto de las personas como de los animales cuando las aguas residuales industriales que contienen sustancias tóxicas y que son utilizadas para beber o para riego.

Los ácidos por ejemplo, tienen un efecto corrosivo sobre tuberías y partes metálicas y perjudican el cemento. Otras sustancias derivadas del benceno, son potencialmente cancerígenas y las sales de metales pesados impiden el proceso de los microorganismos de depuración además de ser muy tóxicas para los animales y plantas acuáticas.

Tanto en la ZMVM como en el resto del país, el principal problema de salud son las enfermedades infecciosas gastrointestinales, principalmente en los niños a quienes les provocan diarrea aguda y en muchos casos, la muerte por deshidratación.³²⁴

La contaminación del agua por químicos tóxicos tiene efectos muy graves en la salud. Los químicos más preocupantes son los nitratos, los metales tóxicos y otros contaminantes inorgánicos, solventes orgánicos volátiles y semivolátiles, pesticidas agrícolas, herbicidas y radioquímicos. Algunos de estos químicos pueden ocasionar una toxicidad aguda o crónica, otros pueden ser genotóxicos y tener efectos carcinogénicos, mutagénicos o teratogénicos.³²⁵

4. *El tratamiento de aguas contaminadas*

Uno de los mecanismos más importantes de control de la contaminación del agua es el del tratamiento de las aguas residuales. La finalidad del tratamiento de aguas contaminadas va a depender del momento en que éste se lleve a cabo, ya que si es previamente a su descarga en los cuerpos receptores, evitará la mayor parte de los daños. Cuando no se le

³²⁴ Los parásitos protozoarios, como la *giardia* y la *entamoeba histolítica*, son agentes que causan la diarrea. La disentería amibiana, se transmite bajo forma de quistes, generalmente a través de beber agua contaminada por heces. El nivel normal de cloro casi no tiene efecto en la amiba enquistada. Hay otras especies patógenas que se cree se adquieren por la nariz al nadar, como lo son *naegleria fowleri* y *acantamoeba*, que pueden provocar desórdenes en el sistema nervioso central e incluso la muerte, especialmente en niños. Asimismo, hay virus entéricos que generalmente se ingieren en el agua no potable, que pueden provocar enfermedades respiratorias, gastrointestinales y del sistema nervioso central, así como la hepatitis infecciosa. Hay otras enfermedades causantes de diarrea como la bacteria del cólera, la *salmonella*, etcétera. La criptosporidiosis es una de las enfermedades más graves, ya que puede causar infección en bajas concentraciones y es muy resistente a la desinfección que se utiliza en el agua potable. *Calidad del agua y problemas de salud*. Internet .../www.lanic.utexas.edu/la/Mexico/water/ch5esp.html.

³²⁵ *Idem*.

da un tratamiento adecuado a las aguas contaminadas y éstas son descargadas posteriormente a los cuerpos de agua receptores,³²⁶ las consecuencias pueden ser irreversibles. Es decir, “para lograr una buena calidad de agua es necesario mantener un adecuado control de las descargas hacia los cuerpos de agua receptores.”³²⁷ Las técnicas para eliminar total o parcialmente la cantidad de contaminantes varían, según las características químicas y físicas del contaminante que hay que remover o minimizar.

Así, la doctrina³²⁸ expone las distintas modalidades de tratamiento de aguas:

1) Pretratamiento: Es una fase previa al tratamiento ya que retira aguas pluviales no contaminadas, arenas, aceites y objetos grandes y pequeños que podrían perturbar el proceso.

Su importancia se debe no sólo a la separación de sólidos sino que protege los equipos de la planta de tratamiento facilitando su funcionamiento.

Las principales operaciones para llevar a cabo este tipo de tratamiento son: el cribado, desarenado, trituración y separación de aceites.

2) Tratamiento primario: Es la separación por medios físicos de las materias flotantes o en suspensión, mediante procedimientos específicos como la sedimentación, flotación, coagulación, floculación, o neutralización.

Su finalidad principal es remover los sólidos suspendidos y sedimentables que no fueron removidos en el pretratamiento.

3) Tratamiento secundario: se lleva a cabo la depuración de las aguas por medio de un proceso bioquímico, en el que se utilizan bacterias que actúan sobre las partículas orgánicas coloidales o disueltas, absorbiéndolas, digiriéndolas u oxidándolas. Mediante este tratamiento se consigue hasta un 90% de pureza.

Con este tratamiento se logra eliminar materia orgánica, no eliminan metales pesados ni grasas, ni componentes químicos no degradables.

Las técnicas utilizadas pueden ser de tipo aerobio, con presencia de oxígeno, o anaerobio, en ausencia de oxígeno.

4) Tratamiento terciario: se utilizan técnicas especiales muy avanzadas que consiguen hasta un 99% de purificación, sin embargo, ha sido muy

326 Un cuerpo de agua receptor es “toda masa de agua contenida en un volumen la cual es capaz de recibir alguna corriente externa.” *Ciencia ambiental y desarrollo sostenible...*, p. 659.

327 Vogel Martínez, Enrique y Rivas Rodríguez, Erick, *op. cit.*, p. 406.

328 Sobre este punto véase Martín Mateo, Ramón, *Tratado...* p. 69. Para más ahondamiento, se recomienda véase Múgica Álvarez, Violeta, Figueroa Lara, Jesús, *op. cit.*, pp. 67-109.

difícil implementar este tipo de tratamiento en virtud de que es altamente costosa la tecnología que se necesita.

Se caracterizan por no utilizar microorganismos durante el proceso de tratamiento, sino únicamente componentes químicos.