

Unidad Temática N° 2

CONTAMINACIÓN

Contaminación Ambiental

Podemos considerar que la contaminación ambiental es la produce alteraciones al medio ambiente dañándolo de manera leve o grave, o destruyéndolo por completo. También debemos tener en cuenta el factor tiempo, ya que el daño puede ser temporal o continuo.

Tenemos entonces todas las combinaciones posibles desde un daño leve y temporal hasta la destrucción continuada en el tiempo que impide la natural recuperación del medio ambiente.

Habíamos visto en el primer capítulo que las contaminaciones que impactan en el medio ambiente pueden ser de origen natural o por la actividad antrópica.

En el primer caso estamos hablando de catástrofes o eventos que se producen en la naturaleza como ser vulcanismo, terremotos, inundaciones, incendios de bosques, etc. las que no podemos prevenir, salvo algunas inundaciones, sino solo ser espectadores en muchos casos y luego tratar de remediar el daño producido.

En cambio en las contaminaciones de origen antrópico en donde debemos y tenemos que intervenir, para eliminarlas de ser posibles o en todo caso poder minimizarlas hasta hacerlas compatibles con la capacidad de carga del medio ambiente.

Todo medio ambiente tiene una capacidad de autodepuración o biodegradación de los contaminantes que se vuelcan en el.

Esta capacidad de autodepuración es diversa y característica de cada tipo y condición del medio ambiente. No es lo mismo la capacidad de autodepuración de un arroyo que el de un río, ni tampoco puede considerarse similar a la de un lago o laguna ya que sus mecánicas biológicas son distintas.

Por estas razones es que hablamos de capacidad de carga del medio ambiente.

Llamamos capacidad de carga a la cantidad de contaminante que puede ser volcado al medio por unidad de tiempo y que dicho medio puede aceptar sin sufrir cambios apreciables en el transcurrir del tiempo.

Determinar cual es la capacidad de carga para un contaminante es bastante difícil por la cantidad de ensayos que deben realizarse. Debido a esto se toman los contaminantes considerados peligrosos y se determina la capacidad de carga del medio ambiente.

También se suelen tomar como parámetros de comparación lo que se ha estudiado en casos similares, sin que por ello no debamos hacer en cuanto podamos los necesarios análisis para determinar la capacidad de carga.

Tenemos que recordar siempre que cuando hablamos de la capacidad de carga a determinado contaminante, es la máxima que soporta el medio, por lo que si tenemos varios emisores, la suma de las emisiones no debe superar la carga tolerada por el medio ambiente.

Contaminación de Suelos, Agua y Atmósfera

La contaminación al afectar el medio ambiente lo hace de manera compleja y de distinta manera a sus componentes principales: suelo, agua y atmósfera, pero podemos estudiar la contaminación específica de cada elemento del medio ambiente y como puede transmitirlas a los otros elementos que componen el medio ambiente.

Entonces debido a la complejidad de las interacciones de las contaminaciones, es correcto enfocar el estudio en el elemento mas perjudicado y luego investigar su interrelación con los otros.

En una industria que tenga emisiones gaseosas, efluentes y residuos sólidos, puede contaminar los tres elementos del medio ambiente. Es evidente que las emisiones gaseosas contaminan primero la atmósfera, pero durante el transporte, generalmente termina cayendo sobre el suelo o el agua, llegando así el contaminante a los otros elementos.

Hay que tener en cuenta que los contaminantes originales interaccionan con el medio que los transporta, por lo que al suelo y al agua suelen llegar otros contaminantes. Con esto quiero destacar que cuando estemos estudiando un contaminante específico en un elemento (en este caso atmósfera), debemos tener muy en cuenta las posibles transformaciones para poder tener un listado de probables contaminantes que debemos buscar en el suelo o agua.

Continuando con la industria, tomemos los efluentes que emite. Estos contaminan directamente el agua, pero dependiendo de los contaminantes que contiene el efluente, parte de estos se pueden volatilizar y pasar a la atmósfera y parte puede sedimentarse en el lecho del curso de agua y contaminar el suelo.

Si continuamos con los residuos sólidos, estos suelen ser depositados en lugares específicos dentro de la misma industria o transportados a lugares de tratamiento o disposición final. En ambos casos, el principal elemento contaminando en el suelo, pero por acción del viento y el calor, parte de estos residuos se esparcen en la atmósfera en forma de vapores o material particulado.

Asimismo por acción de la lluvia, si los residuos están depositados a cielo abierto, se lavan los residuos generando contaminantes que a través de la escorrentía del agua de lluvia o por los desagües llegan a los cursos de agua contaminándolos.

Otra de las formas de contaminar es que por acción de la lluvia o por el lixiviado de los líquidos propios los contaminantes pueden pasar al suelo y por intermedio de estos a las aguas subterráneas.

Veremos con detalle los temas de contaminación de suelos y aires en los capítulos correspondientes. A continuación veremos la contaminación correspondiente al agua.

Contaminación de aguas superficiales y subterráneas

Antes de ver la contaminación de aguas tenemos que tener en cuenta cuales son las fuentes de agua y como se relacionan entre sí, esa relación se denomina ciclo hidrológico que vemos en la figura 2-1

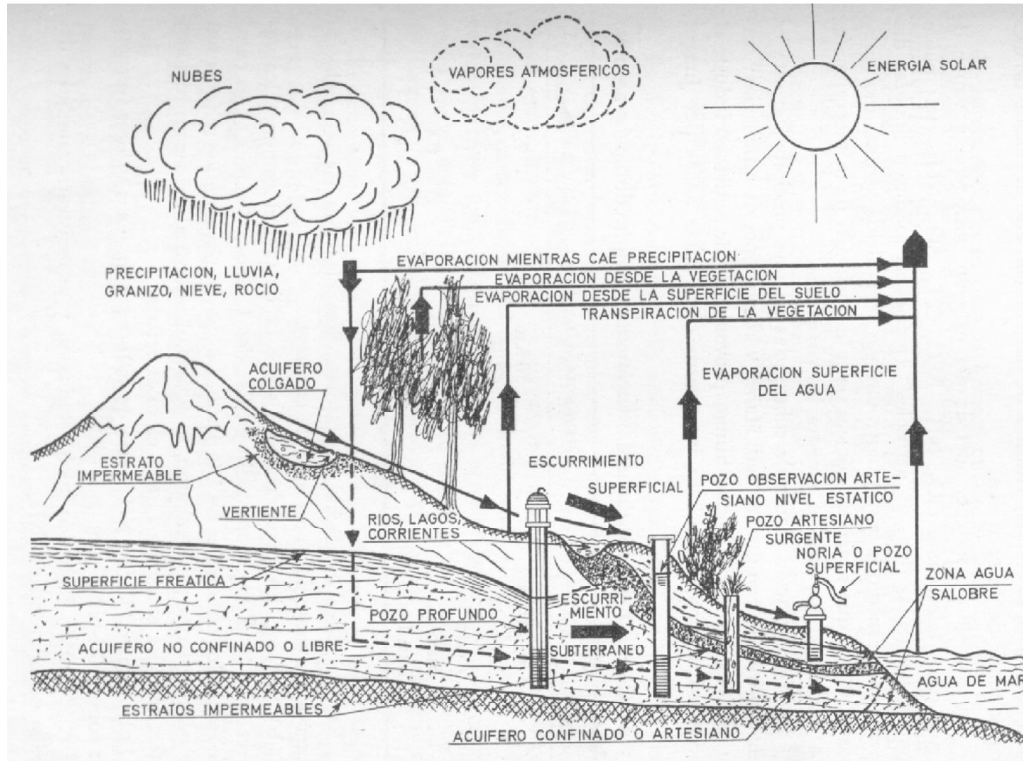


Figura 2-1 Ciclo Hidrológico

Agua atmosférica

El agua atmosférica puede estar en forma de vapor de agua, como líquido suspendido en las nubes, cayendo en forma de lluvia, nieve o granizo.

El agua que se precipita es casi pura, pero a medida que se desplaza por la atmósfera, absorbe gases presente en la misma, generalmente oxígeno y anhídrido carbónico, también arrastra partículas de polvo, humo, bacterias, esporas y otros contaminantes en suspensión atmosférica.

Es por eso que en los lugares en donde la contaminación atmosférica es muy grande, la precipitación de una lluvia, limpia la atmósfera, pero contamina el agua de lluvia y a través de los desagües a las aguas superficiales. Recordemos que las aguas de lluvia también caen sobre el suelo y lo contaminan.

Un caso muy conocido es el caso de la lluvia ácida que se produce cuando las precipitaciones pluviales arrastran los contaminantes en suspensión en especial los azufres que producen ácidos que acompañan a la precipitación.

Agua superficial

Recordemos que las aguas de lluvia, nieve o granizo por escorrentía y derretimiento, terminan su recorrido parte en aguas subterráneas y una gran mayoría en las aguas superficiales.

Las aguas superficiales, son las comprendidas por los arroyos, ríos, lagos, lagunas, mares y océanos.

Estas son las aguas que mas uso tienen por parte de los hombres y animales, por lo que son las más fáciles de contaminar. Esta agua se contaminan fundamentalmente por las acciones antrópicas, ya sean industriales, agrícola ganaderas o residenciales.

Los volcados de efluentes de las industrias y los desagües cloacales a las aguas superficiales, pueden derivar en que las mismas sean contaminadas de tal manera que las vuelvan inapropiadas para ser reutilizadas y en algunos casos totalmente nocivas, como por ejemplo el Riachuelo en la Provincia de Buenos Aires.

También a esta contaminación contribuye la actividad agrícola, ya que el uso de fertilizantes industriales y agroquímicos o pesticidas, que se depositan en el suelo, estos pueden ser arrastrados por la lluvia a las aguas superficiales. Además hay que tener en cuenta que no solo por las actividades del hombre se contaminan las aguas superficiales, sino también aportan las lluvias los componentes inorgánicos que componen los suelos, por lo que las características de las aguas,

varía de acuerdo a la composición de los suelos que la rodean, están presentes entonces: calcio, magnesio, sulfatos, nitratos, sodio y potasio como los elementos mas comunes.

Un problema adicional en la contaminación de las aguas superficiales es que la mayoría se desplazan en general por cuencas que terminan en mares u océanos, por lo que la influencia del transporte de contaminantes se extiende a veces por decenas de kilómetros.

Tengamos en cuenta que las aguas superficiales son nuestro mayor recurso para proveer de agua potable a las poblaciones y por su fragilidad, debemos tener mucho cuidado en su conservación como recurso renovable.

Casos particulares son los lagos o lagunas que generalmente reciben variados aportes, lluvia, escorrentía y corrientes de agua, pero su gran superficie y su punto de descarga o salida, que generalmente es un río o arroyo, hace que el agua tenga una disminución de su velocidad de escurrimiento, lo cual implica que la mayoría de los contaminantes se sedimenten y/o volatilicen, y salvo que cerca del punto de descarga del lago, tengamos algún volcamiento de contaminantes en general no dispersa contaminantes, salvo que esté ya muy contaminado y/o en proceso de eutroficación que veremos mas adelante

Aguas subterránea

El agua de las precipitaciones, nieve y granizo, como también la de cursos (ríos) y masas acumuladas (lagos, embalses) penetran a través del suelo conformando las aguas subterráneas. La distribución de las aguas subterráneas la vemos en la figura 2-2.

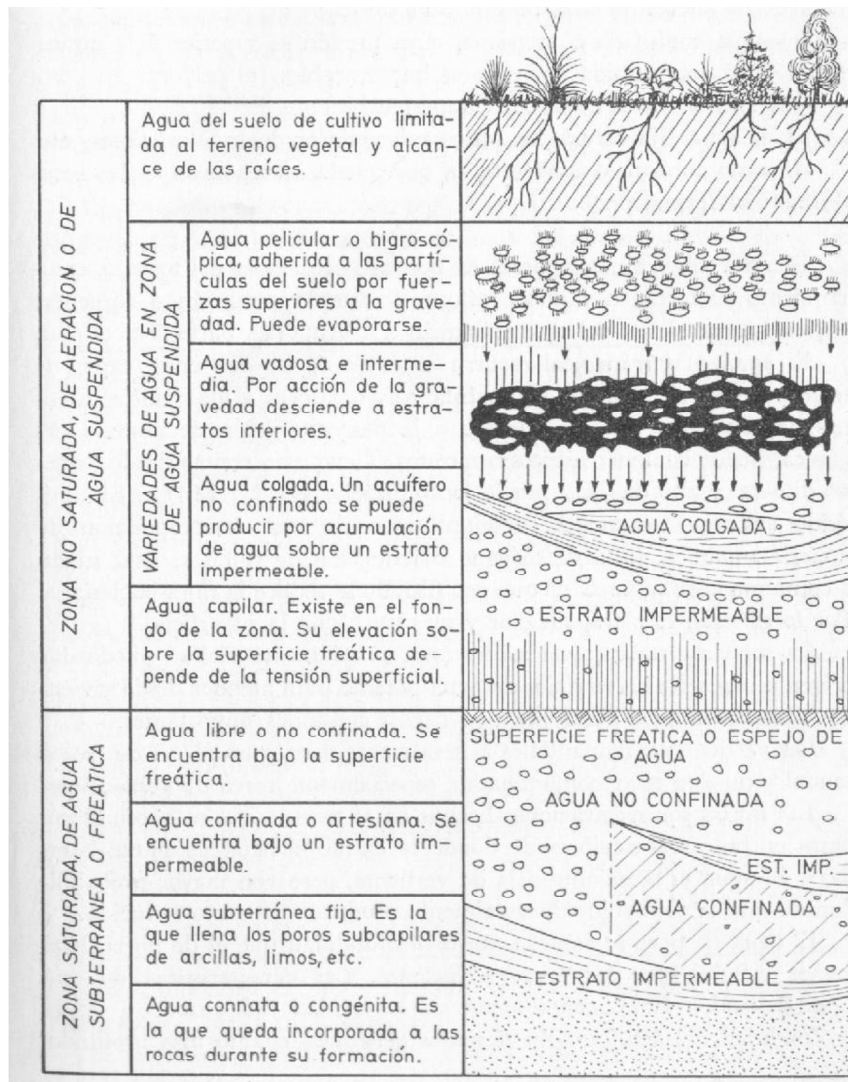


Figura 2-2 Aguas Subterráneas

Vemos que se dividen en aguas subterráneas no saturadas y saturadas.

Entre las primeras se encuentra el agua del suelo de cultivo, agua pelicular o higroscópica adherida a las partículas del suelo, agua vadosa o intermedia que circula por el suelo sin saturarlo, aguas colgadas por aparición de un estrato impermeable parcial.

En las aguas saturadas o freáticas están las napas de agua libre no confinada a presión atmosférica, el agua confinada o artésiana a mayor presión que la atmósfera, es decir está comprimida entre estratos impermeables, aguas fijas de poros capilares y agua connata que queda incorporada a las rocas durante su formación.

El agua subterránea se desplaza por las porosidades del terreno y por gravedad va descendiendo hasta encontrar estratos impermeables y a partir de allí si estos estratos tienen pendiente se desplazan también en ese sentido.

Esta es también la ruta seguida por los contaminantes que se encuentran en el suelo o sedimentados en los cursos o masas de agua. Los contaminantes pueden ser tanto orgánicos (sustancias y bacterias) como inorgánicos y siempre las aguas más afectadas son las que están más cerca de la superficie dado que el elemento que transporta los contaminantes es el agua y esta no pasa por los estratos impermeables.

Esto parece proteger y preservar los acuíferos confinados, y en realidad es así siempre y cuando no existan perforaciones para extraer esa agua confinada, ya que es en estos puntos por donde puede ingresar la contaminación a un acuífero confinado. Es por esto que debemos tener mucho cuidado al explotar un acuífero realizando la perforación con las técnicas apropiadas.

Agua de mar

El agua de mar es el receptor final de todo el ciclo hidrológico y por lo tanto el receptor final de las aguas contaminadas. Debido a la extensión de los mares u océanos los grados de contaminación varían de una zona a otra siendo las más graves las que se encuentran alrededor de las desembocaduras de los cursos de agua que desaguan en el mar.

Rodeando a esa zona comienza la dilución de los contaminantes en la masa de agua de mar, dependiendo la velocidad y grado de dilución, a la existencia de corrientes marinas, el viento y la temperatura del agua.

El peligro de estar contaminando los mares es que estamos destruyendo la biodiversidad marina, y de esa manera afectando los recursos ictícolas como también el uso del agua como deporte y recreación.

También hay que tener en cuenta que los mares son la mayor fuente de agua dulce a través de la evaporación, por lo que los mares son contaminados, parte de ella, puede ser arrastrada con la evaporación e introducida al ciclo hidrológico.

Contaminación de aguas receptoras

Recordemos que el agua se contamina cuando se descargan residuos que perjudican el equilibrio ecológico natural. Los contaminantes pueden ser organismos patógenos, materia orgánica, sustancias inorgánicas, disueltas o en partículas sólidas, nutrientes, sustancias tóxicas, color, calor y materiales radiactivos

Patógenos: surgen cuando se descargan los desagües cloacales domiciliarios.

Materia orgánica (DBO): cuando mayor es la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) mayor es la cantidad de materia orgánica que puede ser biodegradada por las bacterias, que necesitan oxígeno para realizar ese trabajo. Esta situación hace descender el OD (oxígeno disuelto) del agua y puede llevarlo a valores tan críticos que provoque la mortandad de peces. Si el OD sigue bajando, se pueden producir olores por la actividad bacteriológica anaeróbica.

Sólidos: las partículas de materia orgánica e inorgánica pueden ser sólidos sedimentables, flotantes y en suspensión capaz de formar depósitos de variadas características pero generalmente con olor y color desagradable, mientras que el particulado en suspensión reduce la penetración de la luz solar en el agua, afectando procesos biológicos que dependen de ella.

Nutrientes: los nitratos y fosfatos que proceden de aguas cloacales son nutrientes inorgánicos que favorecen el crecimiento de plantas y algas. Además de su efecto antiestético por su color y aspecto, las algas pueden ser tóxicas, perjudicar el sabor del agua, obstruir los filtros y aumentar las necesidades químicas en el tratamiento del agua.

Sustancias tóxicas y peligrosas: pequeñas concentraciones de ácidos, cianuros, arsénicos, metales pesados y numerosas sustancias químicas son tóxicas para los organismos incluyendo a los humanos, y por supuesto a la población bacteriana que se utiliza en el tratamiento de líquidos residuales. Los materiales radiactivos son dañinos para la vida biológica y son bioacumulativos, pero como estos materiales son empleados con muchas normas de seguridad, es muy raro encontrarlos en el agua.

Otros contaminantes: el color y el calor son algunos ejemplos de otros contaminantes que causan problemas. El color (tinturas que se usan en la industria textil) no solo es objetable por razones estéticas, sino que limita la penetración de la luz solar. Las descargas térmicas (calor) causan un mayor requerimiento de oxígeno por el aumento de la masa biológica que se ve favorecida en su crecimiento por una mayor temperatura del agua.

Descargas de desagües cloacales y residuales

Veremos ahora la influencia y aportes a la contaminación de las aguas por parte de los desagües cloacales y residuales industriales.

Alrededor de las descargas de desagües cloacales y los residuales industriales, se forman cuatro zonas de contaminación o influencia del desagüe, cuyas formas geométricas varían según sean las características de las aguas receptoras. Por ejemplo si fuera un lago en donde no existen prácticamente corrientes de agua, las zonas son concéntricas con centro en el desagüe, mientras si la descarga se realiza en un curso de agua, la forma geométrica toma el sentido de la corriente de agua con forma parecida a un cono con su vértice en el desagüe, y la velocidad de dispersión depende de la velocidad del caudal del curso receptor.

Es importante tener en cuenta que las zonas que vamos a describir se refieren a los volcados sin tratar.

Zona de degradación: esta zona se encuentra normalmente alrededor del punto de descarga. En esta zona, las cualidades físicas y químicas del agua son deterioradas rápidamente, y las formas de vida microbianas reemplazan a las otras formas de vida más complejas. El límite de esta zona corresponde aproximadamente cuando la cantidad de oxígeno disuelto cae hasta llegar al 45 % con respecto a la saturación. En esta zona de degradación aumenta la flora bacteriana, se producen depósitos de lodo de alto contenido de materia orgánica, decrece muy rápidamente el oxígeno disuelto y se incrementa el anhídrido carbónico. En cuanto a la descomposición, los hongos acuáticos reemplazan a las plantas verdes y microorganismos superiores.

Zona de activa descomposición: esta zona se caracteriza por la ausencia de oxígeno disuelto y condiciones sépticas, marcado color gris oscuro, con olor característico a descomposición, depósito de lodo negro viscoso y desprendimiento de burbuja de gas. Al establecerse la descomposición anaeróbica, se incrementa el anhídrido carbónico, el amoníaco y las bacterias anaeróbicas reemplazan a las aerobias, descomposición que permanecen hasta que la DBO es menor que la tasa de aeración.

Zona de recuperación: en esta zona, las características son opuestas a la zona de degradación. Hay una gradual clarificación del agua, el oxígeno disuelto se incrementa hasta el punto de saturación, disminuye el anhídrido carbónico mientras que los nitritos y nitratos aumentan. No hay burbujas. El recuento bacteriano disminuye a medida que baja el alimento del agua y se desarrollan los protozoarios rotíferos y crustáceos.

Zona de aguas claras: esta zona se caracteriza por una similitud con las aguas naturales. Es atractiva en apariencia y tiene vida animal y vegetal, hay bacterias aerobias junto con otros microorganismos y comienzan a estar presentes los peces.

En general las aguas de los desagües cloacales también llamadas aguas negras, son una mezcla muy compleja que contiene una gran cantidad de agua, en general un 99 %, mezclada con los contaminantes orgánicos e inorgánicos, tanto en suspensión como disueltos. Veremos cuales son los elementos que lo componen:

Microorganismos: donde existen alimentos adecuados, suficiente humedad y temperatura idónea, los microorganismos prosperan. En las aguas de desagües cloacales existen una gran colección de microorganismos, pero sobre todo de bacterias, mas algunos virus y protozoarios. También pueden contener diversos patógenos excretados por las personas enfermas a la red cloacal.

Sólidos: Los sólidos totales (orgánicos e inorgánicos) son por definición los residuos que quedan una vez evaporada toda el agua y se ha secado en hornos específicos. Los sólidos totales se componen de sólidos disueltos, sólidos en suspensión y sólidos volátiles en suspensión.

Componentes inorgánicos: los componentes más comunes presentes en los desagües cloacales son:

Cloruros y sulfatos: presentes normalmente en el agua y en residuos generados por humanos

Nitrógeno y fósforo: en sus diversas formas (orgánicas e inorgánicas) proceden de los humanos, adicionándose el fósforo de los detergentes.

Carbonatos y bicarbonatos: normalmente presente en el agua

Sustancias tóxicas: arsénico, cianuro y metales pesados pueden estar presentes por las descargas clandestinas de industrias en los desagües cloacales o por industrias no registradas.

Materia orgánica: las proteínas y carbohidratos constituyen el 90 % de la materia orgánica presente en los desagües cloacales y son proporcionados por las excretas humanas.

Las aguas residuales de las industrias varían de acuerdo al tipo de industria o comercio y en general tienen residuos de los procesos que estos realizan, como así también las aguas de los procesos de enfriamiento y calentamiento si existieran. Las más preocupantes son las que provienen con residuos de los procesos ya que suelen no ser muy abundantes de agua y por ello con una alta concentración de contaminantes y nutrientes. Este contraste con las aguas cloacales domiciliarias, implica que deban hacerse variados estudios para realizar los procesos de tratamiento de las mismas. Pero hay una manera de compararlas con las aguas domiciliarias y es el llamado equivalente de población en base por ejemplo a la DBO. Es decir se compara el DBO de las aguas domiciliarias con la DBO del efluente industrial y eso me da el equivalente de población que debería vivir en una ciudad para producir la misma contaminación que la industria que estamos comparando.

Los desagües de la precipitación lluvias, fusión de nieve, lavado de calles y veredas, está mucho menos contaminada que las dos anteriores, salvo casos muy excepcionales. Hay que tener en cuenta que tienen un gran volumen y poca contaminación, por lo que contribuyen a diluir los mismos y al volcarse en algunos casos junto con los desagües domiciliarios, lo diluyen de similar forma. Esto es válido cuando volcamos directamente a un curso de agua, pero si los desagües son tratados en plantas específicas, este gran volumen causa grandes perturbaciones en la eficiencia de la misma, llegando a la imposibilidad de tratar los desagües cloacales, por lo que si existen planta de tratamiento, no pueden desagüarse en conjunto los pluviales y cloacales.

Veremos en la tabla 2-3 las características de aguas residuales. Es importante aclarar que en la tabla las cantidades se refieren mg/l.

TABLA 2-3 Características de Aguas Residuales

Parámetros	Desagües cloacales	Ind. Alimenticia	Ind. Cárnica	Recubrim. de metales	Textil
DBO	240	1.200	640	0	0
DQO	400	0	0	0	0
COT	170	0	0	0	0
Sólidos en susp.	300	700	300	0	100
Sólidos disueltos	600	0	200	0	1.900

N total	30	0	3	0	0
P total	8	0	0	0	0
PH	7.0	0	7.0	4 a 10	10
Cobre	0.17	0.29	0.09	6	0.31
Cadmio	0.010	0.006	0.011	1	0.03
Cromo	0.08	0.15	0.15	11	0.82
Níquel	0.06	0.11	0.07	12	0.25
Plomo	0.1	0	0	0	0
Zinc	0.29	1.08	0.43	9	0.47

Procesos de autodepuración

Las fuerzas naturales de autodepuración, físicas, químicas y biológicas, son múltiples y variables, y se encuentran relacionadas entre sí y mutuamente dependientes.

Cuando se vierte una carga importante de materia orgánica biodegradable en una corriente limpia, la luz solar no puede llegar a las profundidades y mueren las plantas verdes y algas, que mediante la fotosíntesis proporcionan oxígeno que se disuelve en el agua formando con la mezcla del agua con el aire por la acción del viento y la presión atmosférica en el Oxígeno Disuelto (OD).

Los organismos que se alimentan de los nutrientes aumentan su actividad y esa actividad se refleja en la magnitud de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Se utiliza para satisfacer esa DBO el OD existente en el agua.

Tenemos que tener en cuenta que el las descarga pueden existir sustancias inorgánicas que se oxidan, produciendo una Demanda Química de Oxígeno (DQO), que también se satisface del OD existente.

Con el transcurso del tiempo los microorganismos van consumiendo los nutrientes y el agua se aclara con lo que vuelven a aparecer las plantas verdes y algas, reiniciando la incorporación del oxígeno en el agua, es decir aumenta el OD y disminuye el requerimiento de la DBO.

Este proceso es llamado Proceso de Autodepuración y es variable en el tiempo, ya que depende de varios factores, como por ejemplo la biodiversidad del agua receptora, el caudal de la misma, la velocidad de escurrimiento, etc.

Todo lo anterior se refiere a las aguas superficiales dado que en las aguas subterráneas, el proceso de autopurificación, prácticamente no existe ya que al estar las aguas subterráneas confinadas en el suelo y a veces a grandes profundidades, la existencia de bacterias que se encargan de la autopurificación prácticamente no existen y tampoco algas, ya que estas proliferan con la luz solar que les permite realizar la fotosíntesis.

Sin embargo tenemos que contar con una pequeña purificación física debido a la natural filtración dentro del suelo. De todas maneras esta filtración no elimina los contaminantes disueltos en el agua, por ejemplo.

Es por estas razones que la recuperación de aguas subterráneas contaminadas es prácticamente imposible.

Aquí se nota con mas fuerza el precepto de prevenir antes que remediar la contaminación

Parámetros de la contaminación

El grado de contaminación y por consiguiente el de purificación natural se puede medir física, química y biológicamente, pero ninguna medida única de referencia puede hacerlo. Según sea la naturaleza de las sustancias contaminantes y de los usos asignados al agua receptora (provisión a poblaciones, pesca, natación, etc.) se pueden hacer mediciones de turbidez, color, olor, nitrógeno, fósforo, DBO, DQO, materia orgánica, OD, sustancias minerales variadas, bacterias y microorganismos.

Por ejemplo si el agua receptora tienen como uso el abastecimiento de agua potable o natación, lo que se debe medir son los grupos de bacterias coliformes, ya que las mismas producen rápidamente infecciones en las personas.

Cuando se desea medir el impacto de contaminación de las aguas receptoras, cualquiera sea su uso, se recurre a la DBO y OD, tomados en conjunto para establecer el perfil de la contaminación y purificación natural de las aguas, ya que la DBO identifica de manera completa la carga degradable que recibió el agua y el OD identifica la capacidad de la misma para asimilar la contaminación. En cambio podemos usar la DQO que es el parámetro cuando los contaminantes ácidos destruyen a los seres vivos microscópicos.

En la figura 2-4 vemos como evolucionan los parámetros de DBO, OD, organismos bentales (se encuentran en los sedimentos del fondo), bacterias y organismos coliformes. Las zonas sombreadas representan los valores de los parámetros arriba citados. Se hace notar que los afluentes (tributarios) de la izquierda transportan aguas contaminadas, mientras que el de la derecha aporta agua de mejor calidad que el cauce principal. Se observa como los parámetros se alteran ante una contaminación puntual e intensa y como se van recuperando por el proceso de autodepuración o purificación natural.

Autopurificación y curvas de oxígeno disuelto

Para formular la ecuaciones de autodepuración de un curso receptor, es necesario conocer las constantes de la ecuación que determina el déficit de OD (oxígeno disuelto), en un punto cualquiera del agua receptora y para un tiempo determinado, en función de la carga orgánica y el tiempo de escurrimiento de acuerdo a la siguiente ecuación:

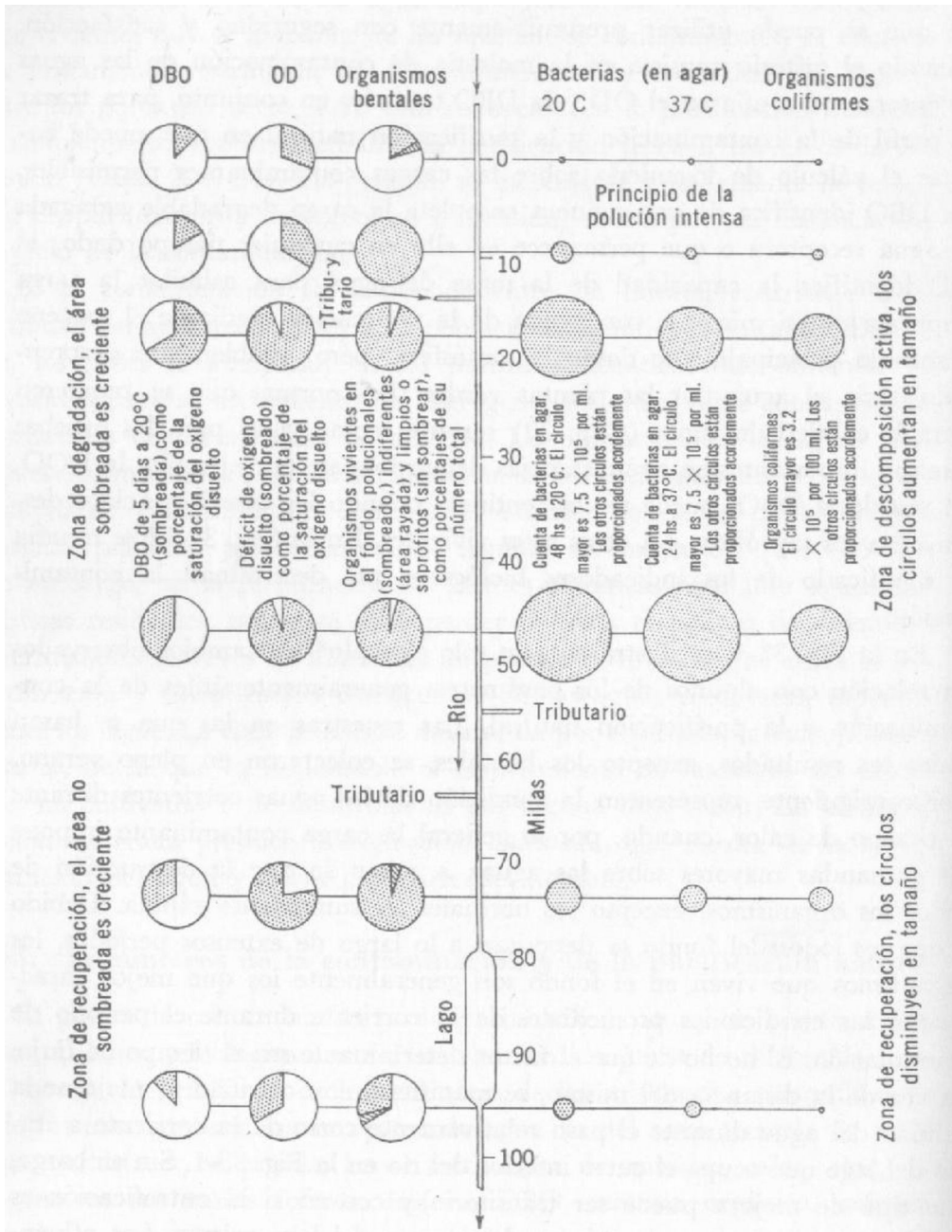


Figura 2-4 Evolución de Contaminación y Autodepuración

$$D_t = \frac{k_1 L_a}{k_2 - k_1} (10^{-k_1 t} - 10^{-k_2 t}) + D_a 10^{-k_2 t}$$

Donde:

D₂ = déficit de OD en el punto de contaminación o de referencia en p.p.m.

D₁ = déficit de OD en el punto distante en un tiempo *t* del punto de referencia en p.p.m

L_a = valor último de la DBO de la primer etapa del agua del punto de referencia en p.p.m. (mide la carga orgánica)

k₁ = constante de velocidad de reacción de desoxigenación para *t* en días

k₂ = constante de velocidad de reacción de oxigenación o aeración para *t* en días

La constante k₁ y el término L_a corresponden a la mezcla del agua receptora con la descarga contaminante y pueden ser calculados en base a la determinación de laboratorio de la DBO.

La constante k₂ del tramo del río considerado se calcula en base al valor del DBO y OD que el agua tienen al comenzar y al final del sector considerado, con un número apropiado de muestras se logra una razonable y suficiente aproximación.

Una vez conocidos los valores se determinará el valor de la carga máxima permitida con (D_a = 0) y el límite inferior (D_a = déficit crítico de oxígeno compatible con la vida) y el tiempo correspondiente para que se produzca el déficit crítico de OD.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es la cantidad de OD consumido. En el laboratorio se acostumbra a determinar la DBO en p.p.m. para un período de incubación de 5 días a 20 °C y la tabla 2-5 permite calcular la DBO para cualquier temperatura y tiempo de incubación desde 1 a 23 días.

Si la contaminación ha sufrido una parcial descomposición o tiene agentes reductores químicos habrá una demanda inmediata que no forma parte de la DBO normal, en cambio si el líquido contaminante ha sufrido un tratamiento biológico su DBO, se verá reducida por el mismo. Mientras la descomposición corresponda a la primera etapa la DBO, se registrará de acuerdo con las fórmulas, pero si empezó la nitrificación o segunda etapa, la DBO no se registrará por las formulas aludidas.

Tiempo en días	Temperatura en °C						
	5	10	15	20	15	30	35
1	0.11	0.16	0.22	0.30	0.41	0.54	0.70
2	0.21	0.30	0.40	0.54	0.71	0.91	1.14
3	0.31	0.41	0.56	0.73	0.93	1.17	1.42
4	0.38	0.52	0.68	0.88	1.11	1.35	1.60
5	0.45	0.60	0.79	1.00	1.23	1.47	1.71
6	0.51	0.68	0.88	1.10	1.31	1.56	1.78
7	0.57	0.75	0.95	1.17	1.40	1.62	1.82
8	0.62	0.80	1.01	1.23	1.45	1.66	1.85
9	0.66	0.85	1.06	1.28	1.49	1.69	1.87
10	0.70	0.90	1.10	1.32	1.52	1.71	1.88
12	0.77	0.97	1.17	1.37	1.56	1.73	1.89
14	0.82	1.02	1.21	1.40	1.58	1.74	1.90
16	0.85	1.06	1.24	1.43	1.59	1.75	----
18	0.90	1.08	1.27	1.44	1.60	1.76	----
20	0.92	1.10	1.28	1.45	1.61	----	----
25	0.97	1.14	1.30	1.46	----	----	----
Primera Etapa	1.02	1.17	1.32	1.46	1.61	1.76	1.90

La reducción física de la materia orgánica (precipitación química, sedimentación, etc) es relativamente baja y en cambio si se usó tratamiento biológico, la reducción de DBO es mayor porque parte de la misma se ha satisfecho en el proceso de tratamiento.

Para la primera etapa de la DBO se rige por la siguiente formula:

$$\frac{d(y)}{dt} = k_1 (L_a - y)$$

Realizando la integral de la ecuación anterior nos queda lo siguiente para *base e* y *base 10*:

$$(= L_a (1 - e^{-k_1 t})$$

$$(= L_a (1 - 10^{-K_1 t})$$

En donde:

(: DBO satisfecha en el tiempo t

L_a : valor ultimo de la DBO en la primera etapa

k_1 : constante de velocidad de reacción de desoxigenación usando *base e*

K_1 : constante de velocidad de reacción de desoxigenación usando *base 10* o lo que es lo mismo ($K_1 = 0.4343 k_1$)

Para evaluar las constantes L_a y k_1 se usan los procesos de determinación experimental de la DBO

Durante la segunda etapa de la DBO o etapa de nitrificación, la curva de DBO crece y luego alcanza un valor casi constante alrededor de los 15 a 22 días desde la contaminación. La curva de consumo de oxígeno está sujeta un elevado margen de error por lo que no se ha podido establecer una ecuación satisfactoria. Las características químicas de las aguas tales como los fosfatos, los cloruros, etc. tienen un efecto muy pronunciado durante la segunda etapa del DBO.

El oxígeno necesario para mantener las condición biológica aerobia del agua receptora deriva de la atmósfera con la cual está en contacto. Para contar en las fórmulas con el oxígeno liberado por fotosíntesis solo se puede utilizar en los siguientes casos:

- Aguas que no están lo suficientemente contaminadas como para evitar el desarrollo de plantas y algas
- Aguas que ya se han purificado lo suficiente como para permitir el crecimiento de las mismas
- Durante las horas del sol y estaciones calurosas del año

Vamos a emplear para las formulas que siguen la siguiente notación

c_s : concentración de saturación de oxígeno disuelto en aguas contaminadas en ppm

$c = W / V$: es la concentración de oxígeno en el agua al tiempo t

W : peso del oxígeno disuelto (OD) en un volumen V y al tiempo t

$c_s - c$: déficit de concentración de oxígeno a la saturación en función de la temperatura en ppm

k_2 : constante de velocidad de reacción de oxigenación con la base *e* en días

K_2 : constante de velocidad de reacción de oxigenación con la base *10* en días

D_t : déficit de OD en ppm en el punto distante un tiempo t del punto de referencia

D_a : déficit de OD en el punto de contaminación

$$\frac{dc}{dt} = k_1 (c_s - c)$$

$$\frac{dDt}{dt} = k_2 Dt$$

$$Dt = D_a e^{-k_2 t}$$

$$Dt = D_a 10^{-K_2 t}$$

La constante k_2 a cualquier temperatura es dada por la expresión:

$$k_2(T \text{ } ^\circ\text{C}) = k_2(20 \text{ } ^\circ\text{C})^{2(T-20)}$$

$$1.0159 \leq 2 \leq 1.020$$

La superposición de los fenómenos de desoxigenación de aguas (DBO) y su oxigenación genera curvas características del OD a través del tiempo según la figura 2-6

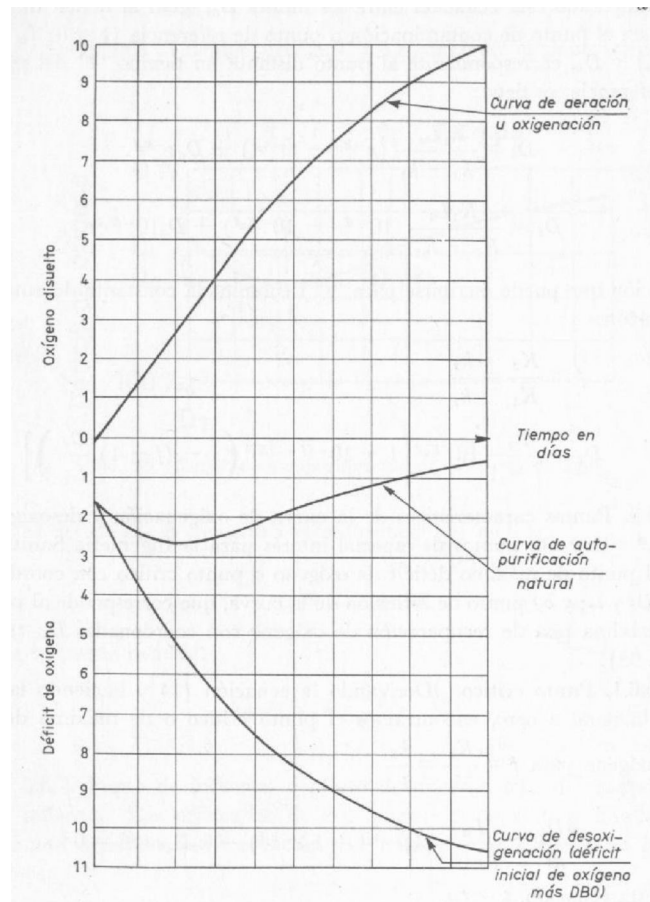


Figura 2-6 Efecto combinado de oxigenación y desoxigenación en el proceso de autpurificación del agua

La ecuación diferencial que identifica la acción combinada de desoxigenación y oxigenación establece que el cambio en el déficit del OD, es igual a la suma algebraica de la utilización del oxígeno por la DBO en ausencia de oxigenación.

$$\frac{d(\quad)}{dt} = k_1 (L_a - (\quad))$$

y la tasa de absorción de oxígeno en ausencia de DBO:

$$\frac{dD_t}{dt} = k_2 D_t$$

por lo que la caída del OD es:

$$\frac{dD_t}{dt} = k_1 (L_a - D_t) - k_2 D_t$$

Integrando la ecuación resulta que

$$D_t = \frac{k_1 L_a}{k_2 - k_1} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) + D_a e^{-k_2 t} \quad (1)$$

o en base 10:

$$D_t = \frac{k_1 L_a}{k_2 - k_1} (10^{-k_1 t} - 10^{-k_2 t}) + D_a 10^{-k_2 t} \quad (2)$$

Si denominamos a la constante de autopurificación como f y tiene el valor siguiente:

$$f = \frac{k_2}{k_1}$$

y que:

$$D_t = \frac{L_a}{f - 1} 10^{-k_1 t} [1 - 10^{-(f-1)k_1 t} (1 - (f-1) \frac{D_a}{L_a})] \quad (3)$$

Vamos a determinar los puntos más característicos de la curva de autopurificación o de OD, ellos son:

- El punto de máximo déficit de OD
- El punto de inflexión de la curva que indica el punto de máxima recuperación del OD.

Para el punto a), hacemos que la derivada de la ecuación (1) y haciéndola igual a cero y operando la misma y cambiando por base 10 obtenemos:

$$\frac{1}{f} = 10^{-(f-1)k_1 t} [1 - (f-1) \frac{D_a}{L_a}] \quad (4)$$

Sustituyendo (4) en (3) queda de la siguiente manera:

$$D_t = \frac{f + 1}{f^2} L_a 10^{-k_1 t}$$

que se puede expresar en forma logarítmica con la siguiente ecuación

$$\log D_t = \log \frac{L_a}{f} - k_1 t \quad (6)$$

Para el caso b) es decir el punto de inflexión tenemos que hacer la segunda derivada de la ecuación (1) e igualarla a cero y luego ordenando los términos tenemos:

$$K_1 t = \frac{1}{f - 1} \log \left\{ f^2 \left[1 - (f - 1) \frac{D_a}{L_a} \right] \right\} \quad (7)$$

Por lo que el déficit de OD es dado por la siguiente expresión:

$$D_t = \frac{f + 1}{f^2} L_a 10^{-k_2 t}$$

En la figura 2-7 podemos observar una curva de OD con los puntos característicos que calculamos recientemente.

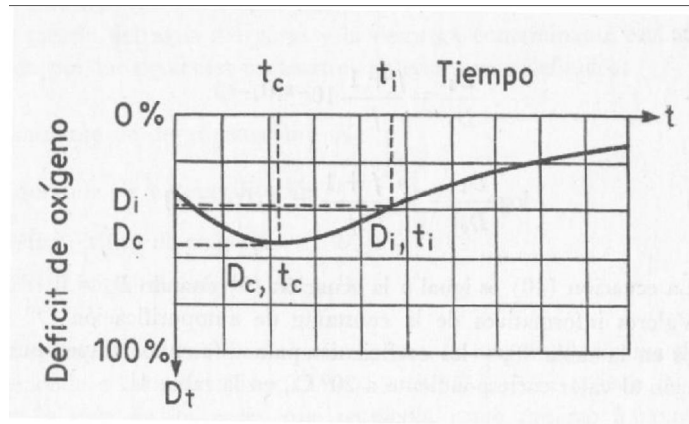


Figura 2-7 Curva de autodepuración del agua

Para facilitar un poco las cosas vemos en la tabla 2-8 valores de la constante de autopurificación para una temperatura de 20 °C y para diversas aguas receptoras.

Aguas Receptoras	<i>f</i> a T = 20 °C
1. Lagunas y aguas estacionarias provenientes de ríos	0.5 a 1.0
2. Cursos muy lentos y lagos o grandes almacenamientos	1.0 a 1.5
3. Cursos muy grandes de baja velocidad	1.5 a 2.0
4. Cursos grandes de velocidad normal	2.0 a 3.0
5. Cursos de alta velocidad	3.0 a 5.0
6. Cursos muy rápidos o caídas de agua	mas de 5.0

Tengamos presente que no siempre podemos considerar un temperatura ideal de 20 °C por lo que se generó un factor de corrección que se muestra en la tabla 2-9 para temperaturas distintas de 20 °C

Temperatura en °C	5	10	15	20	25	30
Valor relativo de <i>f</i>	1.58	1.35	1.16	1	0.859	0.737

De manera parecida a las ecuaciones anteriores se puede determinar la carga máxima permitida usando como parámetro de control el déficit máximo de OD. A partir de allí, se puede calcular la carga máxima de contaminación.

De similar manera debemos corregir la curva del OD debido a factores de composición original del agua y las características del lecho.

En la figura 2-10 vemos un conjunto de curvas de DBO para distintas temperaturas y con la parte de nitrificación incluida

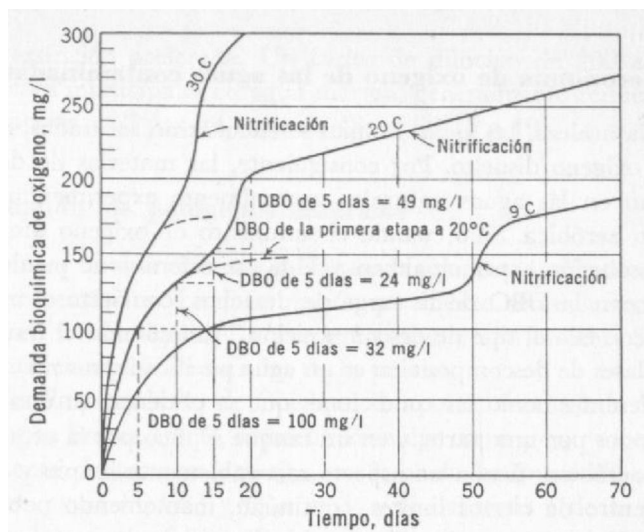


Figura 2-10 Curvas de DBO bajo la influencia de la temperatura

En la figura 2-11 observamos otra forma de representación de las curvas de desoxigenación, oxigenación y de déficit de oxígeno. Debemos notar que las curvas no parten de cero ya que se toma en cuenta el déficit inicial del cuerpo de agua en consideración.

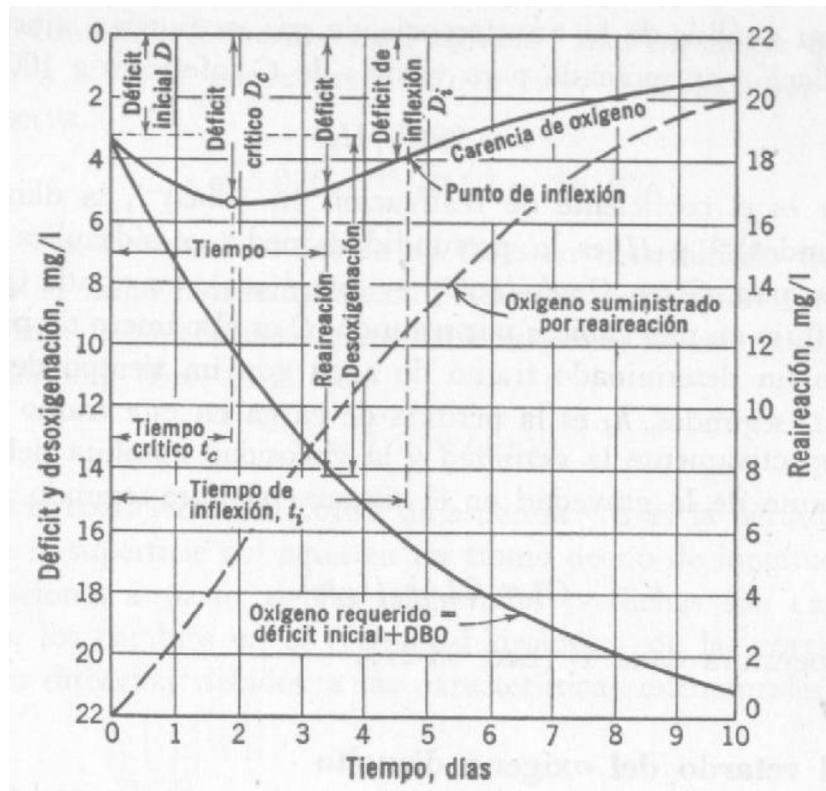


Figura 2-11 Curvas de DBO, oxigenación y déficit de oxígeno

Índice de contaminación

Los índices de contaminación de los cuerpos de agua son variados y podemos clasificarlos en industriales y biológicos. Estudiaremos primero los industriales y a continuación los biológicos.

Polutantes industriales mas comunes

Si bien es posible controlar las enfermedades de origen biológico que transmite el agua, mediante tratamientos en la potabilización del agua y con el tratamiento de los líquidos cloacales y efluentes industriales, no sucede así con las enfermedades no infecciosas (cáncer, afecciones del corazón, mutaciones, etc) producidas por las contaminaciones con sustancias orgánicas e inorgánicas producidas por la industria y otras actividades antrópicas.

Aunque es difícil probarlo, por la complejidad de las variables existen casos documentados de contaminación del agua con sustancias químicas que contribuyen a la aparición de enfermedades no infecciosas. El envenenamiento por mercurio de la bahía de Minamata en Japón en la década del 50 constituye un terrible recordatorio de la contaminación. Los compuestos de metilmercurio de los efluentes industriales vertidos en la bahía se concentraron en los peces, que fueron consumidos por los residentes, y entre 1953 y 1960, se registraron 111 muertes de envenenamiento por mercurio.

Los efectos sobre la salud como consecuencia de la exposición a ciertas sustancias químicas y a la combinación de ellas no se conocen con exactitud, en especial se encuentran en bajas dosis y mediante la exposición a largo plazo.

Lamentablemente los estudios de casos suelen ser en base a grandes concentraciones, producidas en los lugares de trabajo, son necesarias por lo tanto mas investigaciones para alcanzar un entendimiento adecuado del funcionamiento de las sustancias químicas.

Veremos a continuación los contaminantes mas comunes y los dividiremos en inorgánicos y orgánicos

Contaminantes inorgánicos

Arsénico: es un subproducto de la fundición del cobre y el plomo, así como de la extracción de vetas de oro, plata y cobalto. Si bien es un contaminante que se transporta por aire, puede contaminar los cuerpos de agua y bioacumularse en los peces. Pero también es un componente de algunos insecticidas y fungicidas agrícolas. Un síntoma es la parálisis de los miembros inferiores, aunque el envenenamiento agudo incluye trastornos gástricos e intestinales.

Cadmio: es un metal tóxico que se libera como contaminante desde las industrias como la galvanoplastia y los fabricantes de baterías. Se encuentra en las descargas de efluentes de dichas industrias y se deposita con facilidad en los lodos del fondo de los cuerpos receptores. Se sospecha que el cadmio es cancerígeno y también que puede causar deformaciones en las articulaciones. Lamentablemente el cadmio se incorpora durante toda la cadena alimenticia desde los microorganismos hasta los humanos. El consumo de vegetales de hoja, pescado, mariscos y agua potable es la vía usual de ingreso en el organismo.

Plomo: puede estar presente en los alimentos y el agua que consumimos. Los suministros de agua sin tratamiento se pueden contaminar a causa de las descargas de las plantas de tratamiento de líquidos cloacales y las descargas de la actividad agrícola. Otro ingreso de plomo se debe a las instalaciones de agua que anteriormente se realizaban con cañerías de plomo. Aunque la mayor parte del plomo que se ingiere se excreta, parte del mismo se acumula poco a poco en el organismo. Los síntomas iniciales del envenenamiento son dolor estomacal y debilidad física. Los estados finales pueden llevar al colapso del sistema nervioso central.

Mercurio: se usan compuestos de mercurio en la producción de componente eléctricos como interruptores y en la producción de cloro e hidróxido de sodio. Se emplean compuestos orgánicos de mercurio como los alguicidas y funguicidas en la industria del papel. El envenenamiento por metilmercurio (el compuesto más común), se caracteriza por el adormecimiento, problemas en el habla y pérdida de coordinación motora, hasta llegar a la parálisis, estado de coma y muerte. El envenenamiento por mercurio inorgánico produce daños al sistema nervioso y posiblemente problemas psiquiátricos. La exposición al mercurio puede ocurrir a través de la cadena alimentaria, por ejemplo una dieta constante de mariscos contaminados tiene altos riesgos para el consumidos. El mercurio liberado durante décadas está todavía presente en los fangos de ríos y lagos, siendo una fuente de contaminación a futuro.

Nitrógeno: los compuestos nitratos y nitritos son derivados del uso excesivo de fertilizantes y pueden ocasionar una contaminación significativa por nitratos, de aguas tanto superficiales como subterráneas. El cuerpo humano es capaz de reducir los nitratos a nitritos en el sistema digestivo. Los nitritos plantean dos amenazas para la salud humana. Primero oxidan la hemoglobina convirtiéndola en metahemoglobina la cual es incapaz de transportar oxígeno en el torrente sanguíneo. Esta enfermedad conocida como metahemoglobinemia o enfermedad del bebé azul, porque especialmente ataca a los niños pequeños por la inmadurez del sistema digestivo de los mismos. La segunda amenaza es que los nitritos se combinan con diversas sustancias en el conducto gastrointestinal formando nitrosaminas, muchas de las cuales se sabe que son carcinógenas.

Dióxido de azufre: se emite cuando se quema carbón o petróleo con alto contenido de azufre y forma la famosa lluvia ácida que se precipita sobre el suelo y las aguas receptoras cambiando el pH de las mimas, poniendo en peligro la vida microbiana y afecta las plantas de potabilización de agua.

En la tabla 2-12, observamos los contaminantes inorgánicos, la fuente que los origina y los efectos sobre la salud.

Contaminante Inorgánico	Fuente principal	Esfera mas afectada	Efectos primarios en la salud
Arsénico	Refinación, Plaguicidas	Aire, Agua	Envenenamiento por arsénico (trastornos gastrointestinales, parálisis de miembros inferiores)
Cadmio	Galvanoplastia, fabricantes de baterías	Aire, Agua, Alimentos	Emanaciones de cadmio, dolos en articulaciones, afecciones pulmonares y renales. Posiblemente carcinógeno, teratogénico
Plomo	Baterías, soldadura, protección contra radiación	Aire, Agua, Alimentos	Daña el sistema nervioso y la síntesis de glóbulos rojos en la sangre. Depende de la exposición
Mercurio	Artículos eléctricos, industria cloro/alcali, alguicidas, funguicidas	Agua, Alimentos	Inorgánico: trastornos del sistema nervioso central, posible psicosis Orgánico: adormecimiento, dificultades para hablar, parálisis, deformidad, muerte.
Nitratos	Desagües agrícola	Agua, Alimentos	Nitrato (NO ₃) se reduce a Nitritos (NO ₂) en el tubo digestivo
Nitritos	Conservadores de carne	Agua, Alimentos	Nitritos + aminos = nitrosaminas Nitritos + Hierro = metahemoglobinemia
Dióxido de azufre	Quema de combustibles que contienen azufre	Aire, Agua	Irritación del sistema respiratorio. Precursor de la lluvia ácida, que es muy destructiva

Contaminantes orgánicos

DDT: el diclorodifeniltricloroetano (DDT) se ha utilizado extensamente en el mundo y su efecto sobre el control del mosquito Anopheles, fue de tal forma que liberó a mil millones de personas de contraer paludismo en la década que transcurre del 1950 a 1960, con lo que se evitaron millones de muertes. Pero el DDT es un compuesto muy estable y persiste en el ambiente durante muchos años, es relativamente insoluble en el agua, pero es muy afín y soluble en grasa y aceites, y por eso es bioacumulativo en los tejidos grasos de muchas especies incluyendo a los humanos. Los síntomas de envenenamiento por DDT incluyen trastornos nerviosos y reducción de glóbulos blancos en la sangre. Si bien no se ha informado de fallecimientos de manera directa por DDT, existe la preocupación acerca de los efectos a largo plazo.

Dioxina: si bien el término dioxina representa una familia de sustancias químicas, es el nombre común que se aplica a uno de los compuestos químicos más letales que jamás se hayan fabricado. La dioxina se forma como impureza en la

manufactura de diversas sustancias químicas y plaguicidas con base de triclorofenol. Asimismo se liberan dioxinas cuando se queman plásticos, de ahí la preocupación por la incineración de residuos sólidos municipales. Entre los productos mas contaminantes se encuentra el hexaclorofeno, que se usa como germicida para el control del acné y en el defoliante usado en Vietnam, llamado Agente Naranja. Los síntomas asociados con una exposición en dosis altas de contaminante, son cambios en los órganos internos, trastornos nerviosos y muerte. La dioxina es un contaminante en cual se ha confirmado la producción de efectos congénitos y se sospecha que es carcinógeno.

Mirex: es un hidrocarburo clorado fabricado por el hombre y ha sido encontrado en bajas concentraciones en las aguas y en diversas especies de peces y aves acuáticas. Se usa como insecticida, retardador de fuegos en plásticos y APRA generar humo en ejercicios militares. Si bien no existen casos documentados de envenenamiento en humanos, hay preocupación en la salud de las personas que consuman cantidades importantes de peces contaminados. El mirex es tóxico para muchos organismos desde algas a mamíferos y su uso se ha restringido debido a su toxicidad hacia especies que no se pretende destruir

PCB: los bifenilos policlorados son químicamente inertes, solubles en agua y no se descomponen a temperaturas normales. Debido a estas características tienen muchos usos industriales, por ejemplo en los transformadores eléctricos. Su gran estabilidad hace que perduren en el ambiente por mucho tiempo. Se ha demostrado que los PCB causan cáncer en las ratas y se teme que de idéntica manera ocurra en los seres humanos, si bien no hay prueba concluyentes. También causan afecciones en la piel, dolores de cabeza y trastornos virales, por reducción de las defensas inmunológicas.

Trihalometanos: de los cuales el cloroformo es el ejemplo más común, se producen en las plantas de tratamiento de agua y de aguas residuales cuando los compuestos orgánicos se combinan con el cloro que se usa para desinfectar. En realidad el cloroformo se ha usado durante muchos años como anestésico, pero se sospecha que es carcinógeno. Por suerte las concentraciones de cloroformo en los sistemas de abastecimiento de agua clorada son muy bajos y dependen de la cantidad de materia orgánica total del agua tratada, por lo que es importante que en las planta de abastecimiento de agua se reduzca casi a cero la presencia de materia orgánica.

En la tabla 2-13, observamos los contaminantes orgánicos, la fuente que los origina y los efectos sobre la salud.

Tabla 2-13 Contaminantes orgánicos comunes que causan enfermedades no infecciosas			
Contaminante Inorgánico	Fuente principal	Esfera mas afectada	Efectos primarios en la salud
DDT	Aplicación como plaguicida en todo el mundo	Agua, Alimentos	Se bioacumula en tejidos grasos. Produce trastornos nerviosos y reducción de glóbulos blancos. Persiste en el ambiente
Dioxina	Impureza de manufactura de biocidas	Agua, Alimentos	Extremadamente tóxica en forma concentrada, daños a riñones, hígado y sistema nervioso. Potente teratógeno y posible carcinógeno
Mirex	Insecticidas, retardadores de flama en plásticos	Agua, Alimentos	Biológicamente activo, persistente, su toxicidad varía con la especie afectada. Se bioacumula en la cadena alimenticia
PCB	Dieléctrico, transferencia de calor y fluido hidráulico	Cadena Alimenticia	Persistente en el ambiente. Probable carcinógeno, la exposición produce alteraciones en la piel, dolores de cabeza, trastornos visuales
Trihalometanos (incluye el cloroformo)	Materia orgánica mas cloración	Agua	Carcinógeno en roedores, posible carcinógeno en humanos, daños al hígado y al corazón

Caracteres biológicos. Plancton. Bacteria. Colibacilos. Toxicidad

En el punto anterior hemos visto las características de los contaminantes industriales mas comunes. Ahora veremos las características biológicas de la contaminación, que son el plancton, bacterias, bacilos, virus y la toxicidad que provoca su presencia en los cuerpos de agua.

Los organismos presentes en los cuerpos de agua son demasiado numerosos en cuanto a su diversidad ya que tenemos desde vertebrados hasta los virus, por lo que solo trataremos aquellos que son de interés para la Ingeniería Sanitaria.

Reino vegetal

Los organismos pertenecientes al reino vegetal que tienen mayor importancia desde el punto de vista sanitario, son las algas y las bacterias, sin embargo la presencia de hongos, mohos y levaduras es un índice de la existencia de materia orgánica en descomposición.

- **Algas:** las algas contienen fundamentalmente clorofila, que es necesaria para el proceso de fotosíntesis y por eso dependen de la luz solar para vivir y reproducirse, por lo que disminuye su presencia en aguas turbias. La figura 2-14 muestra distintos tipos de algas. Las algas tienen pigmentos que las colorean y que permiten clasificarlas en diversas familias, entre las que cabe mencionar:
 - **Clorofíceas:** son de color verde entre ellas se encuentran los géneros Eudorina, pandorina y Volvox. Sus formas varían bastante unas de otras y tenemos algas unicelulares y multicelulares. En grandes concentraciones pueden generar olores ícticos (de pescado) o de pasto y toman coloración verdosa.

- **Cianofíceas:** se presentan en especies mono y multicelulares. Son las algas azul verdosas y algunas dan al agua olores muy desagradables y se desarrollan en tal abundancia que cubre las algas con una nata espumosa.
- **Bacilariofíceas o Diatomeas:** generalmente se presentan como monocelulares y en menor frecuencia formando colonias. Son de color amarillo verdoso y a menudo comunican olores aromáticos o ícticos al agua.

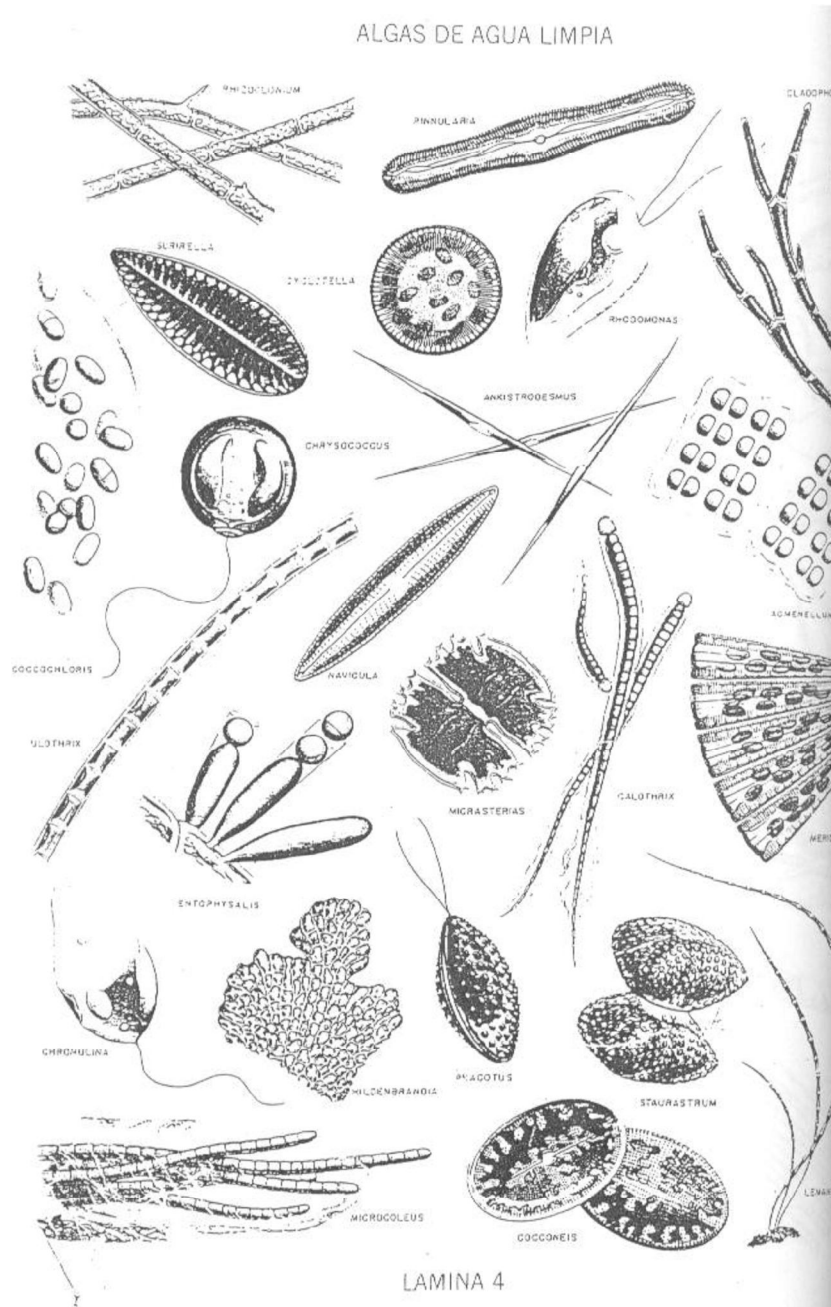


Figura 2-14 Algas de aguas limpias

- **Bacterias:** las bacterias que se pueden encontrar en el agua son de géneros muy numerosos, pero especialmente nos interesan las bacterias patógenas al hombre: las bacterias coliformes y los estreptococos que se utilizan como indicadores de contaminación fecal. Las bacterias están incluidas en el reino vegetal, pero parecen constituir un estado intermedio entre este y el reino animal. Las que tienen forma redonda son denominados cocos y si se presentan en parejas se las denomina diplococos, si forman racimos, reciben el nombre de estafilococos y se forman cadenas se llaman estreptococos. Si la forma de la bacteria es parecida a un bastoncito, se denominan bacilos y también pueden presentar agrupadas de a dos denominándose diplobacilos y si están en cadena estreptobacilos. Cuando la forma de bastoncito se curva se llaman espirilos y

si son largas y retorcidas se denominan espiroquetas. Las bacterias se clasifican también según su necesidad o no de oxígeno libre (oxígeno disuelto), que necesiten para vivir. Las primeras se denominan aerobias y las segundas anaerobias. Hay un tercer tipo de bacterias que se desarrollan mejor si hay oxígeno libre, pero pueden vivir sin el mismo y se denominan anaerobias facultativas o directamente facultativas. Las bacterias aerobias, toman directamente el oxígeno disuelto en el agua, mientras que las anaerobias lo toman destruyendo las sustancias que tienen oxígeno en su composición. Las bacterias que se encuentran en los cuerpos de agua pueden ser propias del agua, es decir su ambiente natural de vida o provienen del suelo, las que son arrastradas por la lluvia o de los seres vivos, tanto de animales como de humanos, que llegan al agua a través de la lluvia en el caso de los primeros y de los desagües cloacales en el segundo caso. En la figura 2-15 vemos ejemplos de bacterias.

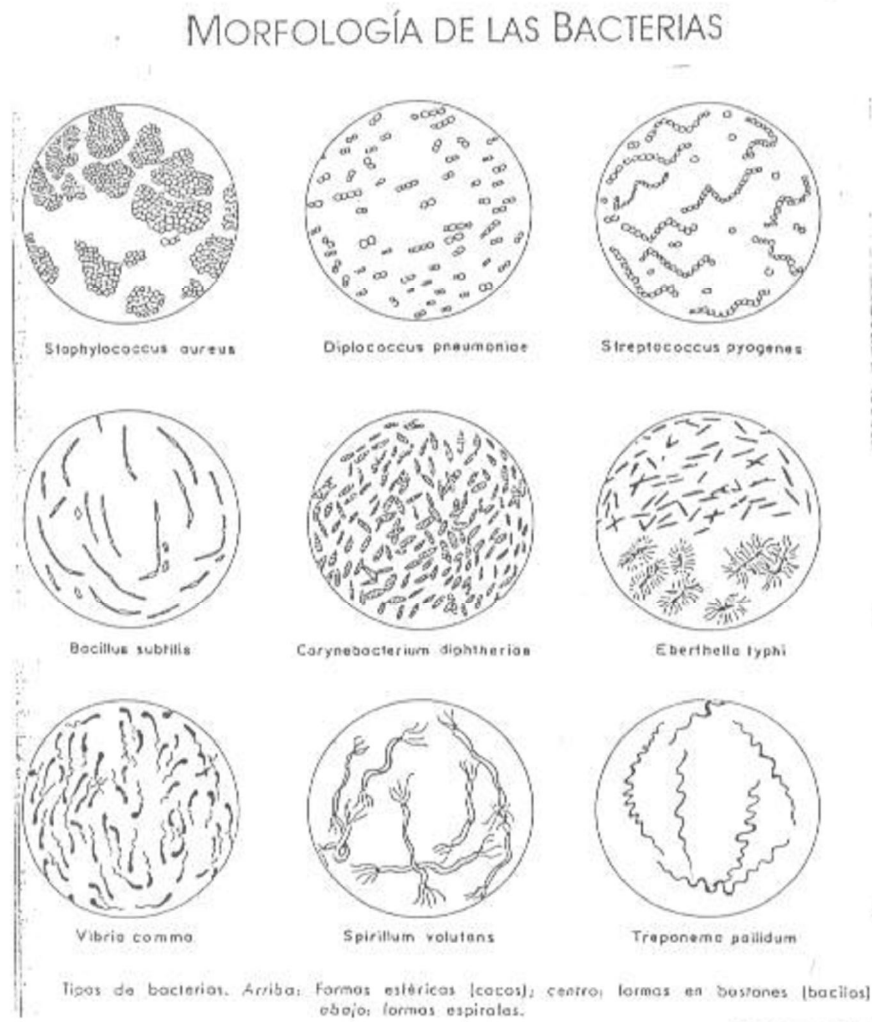


Figura 2-15 Tipos de Bacterias

- **Bacterias propias del agua:** son frecuentes las del género *Pseudomonas*, *Serratia*, *Flavobacterium* y *Achromobacterium*. Estas por lo general dan coloración al agua pigmentación roja, amarillo anaranjado, violeta, etc.
- **Bacterias del suelo:** la mayoría son aerobias, grampositivas y pertenecientes al género *Bacillus* y otras que tienen un papel importante en la oxidación de materias orgánicas y sales minerales.
- **Bacterias intestinales:** los organismos mas comunes que se encuentran en el tracto intestinal del hombre o animales son de los géneros *Clostridium*, *Streptococos*, *Salmonella*, *Shigella* y *Espirilos*.
 - **Clostridium:** está ampliamente difundido en la naturaleza y se encuentra además en las aguas cloacales, polvos, alimentos desecados y el suelo. Si bien es una especie patógena que provoca gangrena, se sospecha que se halla asociada con la enteritis.
 - **Estreptococos:** su presencia indica una reciente contaminación fecal pues estos microorganismos se destruyen al poco tiempo de salir del intestino. Pero su ausencia no indica con seguridad, que el agua esté exenta de contaminación con residuos cloacales.

- **Eschirichia:** las bacterias del género Eschirichia y Aerobacter pueden ser móviles o inmóviles. En los exámenes de agua no es costumbre diferenciar estas especies, ambas son consideradas del grupo coliforme y tienen la misma significación sanitarias. Hoy el índice aceptado para determinar la calidad bacteriológica del agua la constituye el grupo coliforme
- **Salmonella:** hay varias especies de Salmonella, pero muy pocas han sido asociadas a enfermedades de origen hídrico, por ejemplo la Salmonella paratiphi produce la paratifoidea A, la Salmonella shottmuelleri el paratífus B y la Salmonella typhosa es el agente causal de la fiebre tifoidea. Recordar que además de la vía hídrica, la Salmonella es peligrosa por ser la causa de las intoxicaciones alimenticias.
- **Cólera:** el Vibrio cholerae es la bacteria que produce las epidemias o las endemias del cólera.
- **Shigelosis:** produce la disentería bacilar y es una bacteria muy agresiva ya que en el caso de la Shigella dysinteriae bastan 100 bacterias para infectar a un ser humano
- **Virus:** si bien no pueden ser considerados como del reino vegetal, ni del animal, pero los incluimos aquí por ser generalmente de origen intestinal.
 - **Virus Hepatitis A:** se encuentra en al excreta de los seres humanos y sobrevive en el agua por lo que se transmite a otros seres humanos cuando hay contaminación por desagües cloacales.
 - **Poliomielitis:** este virus persiste en las heces y en los desagües cloacales durante 3 meses por lo que vemos la importancia de la contaminación por aguas residuales domiciliarias.
- **Hongos, mohos y levaduras:** pertenecen al mismo grupo que las bacterias pero no tienen clorofila y por lo común son incoloras. Todos estos organismos son heterótrofos y en consecuencia dependen de la materia orgánica para su nutrición, lo que implica que se los encontramos en los cuerpos de agua es indicativo de contaminación con materia orgánica.

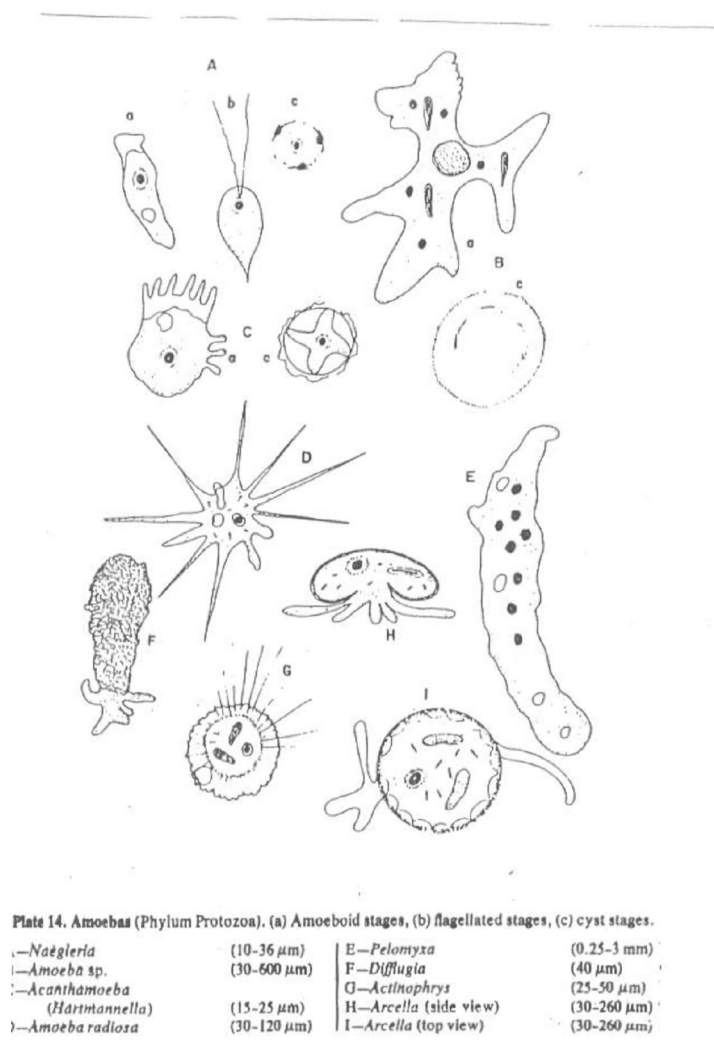


Figura 2-16 Amebas

Reino animal

Por tener significación sanitaria es necesario mencionar entre los grupos o géneros del reino animal a los siguientes:

- **Protozoarios:** de los protozoarios que se encuentran en el agua la mas importante es la especie *Endamoeba histolytica* que producen en el hombre la amibiasis o disentería amibiana. La infección se da por la excreta de los quistes por los humanos y la transmisión se da por el curso receptor de aguas cloacales. En la figura 2-16 se aprecian distintos tipos de amebas
- **Moluscos:** son importantes los del género de caracoles terrestres, que son huéspedes intermedios o vectores de gusanos de la clase Trematoda que producen la esquistomiasis. El hombre se infecta al cruzar o nadar en aguas contaminadas.
- **Artrópodos:** de todos los artrópodos son importantes las clases Crustácea, Insecta y Arácnida. Desde el punto de vista sanitario el importante es el crustáceo del género *Cyclops* que sirve de huésped a un gusano nematelminto que produce una enfermedad llamada dracontiasis que se introduce vía oral al tomar aguas contaminadas.
- **Platelmintos:** el *Equinococcus granulosus* produce la enfermedad llamada equinocosis o hidatosis, y la transmisión se debe a la ingesta de aguas contaminadas. En la figura 2-17 se ven los nematodos.

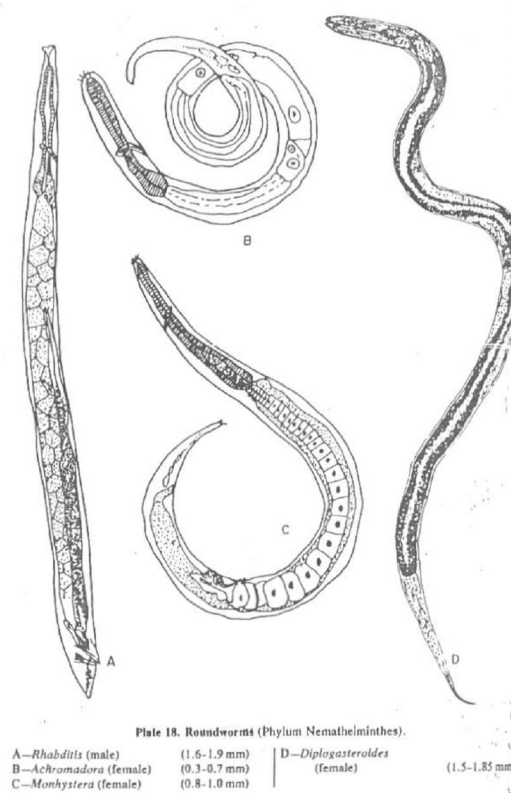


Figura 2-17 Gusanos Nematodos

Plancton

Gran número de animales y vegetales microscópicos o casi microscópicos que flotan libremente en el agua reciben el nombre de plancton, el cual tiene gran importancia para juzgar la calidad sanitaria del agua, o lo que es lo mismo su grado de contaminación.

El flotar libremente del plancton, implica que se desplazan con los movimientos de la masa de agua, aunque muchas de las especies puedan tener movimientos propios.

Se clasifican en zooplancton (plancton animal) y fitoplancton (plancton vegetal).

El fitoplancton aparecen en forma unicelular y en colonias, son fotosintéticos y sirven de alimento al zooplancton y otros organismos superiores. En la figura 2-18 vemos algunos microorganismos del fitoplancton.

El zooplancton incluye principalmente a los protozoos (rotíferos), cladóceos y copépodos. En la figura 2-19 vemos algunos rotíferos.

Los tamaños del plancton varían generalmente de algunos milímetros a los mas chicos de un tamaño de 20 micras, pero existen algunas especies de tamaño menor y son llamados Nanoplancton o plancton enano, estos últimos en general carecen de importancia en la contaminación o calidad sanitaria del agua.

El plancton que vive en los lechos de los cursos de agua se denominan benton y en general están fijados al fondo y solo son removidos por incrementos en la velocidad del agua o por remoción de los lodos por acción mecánica generalmente por la

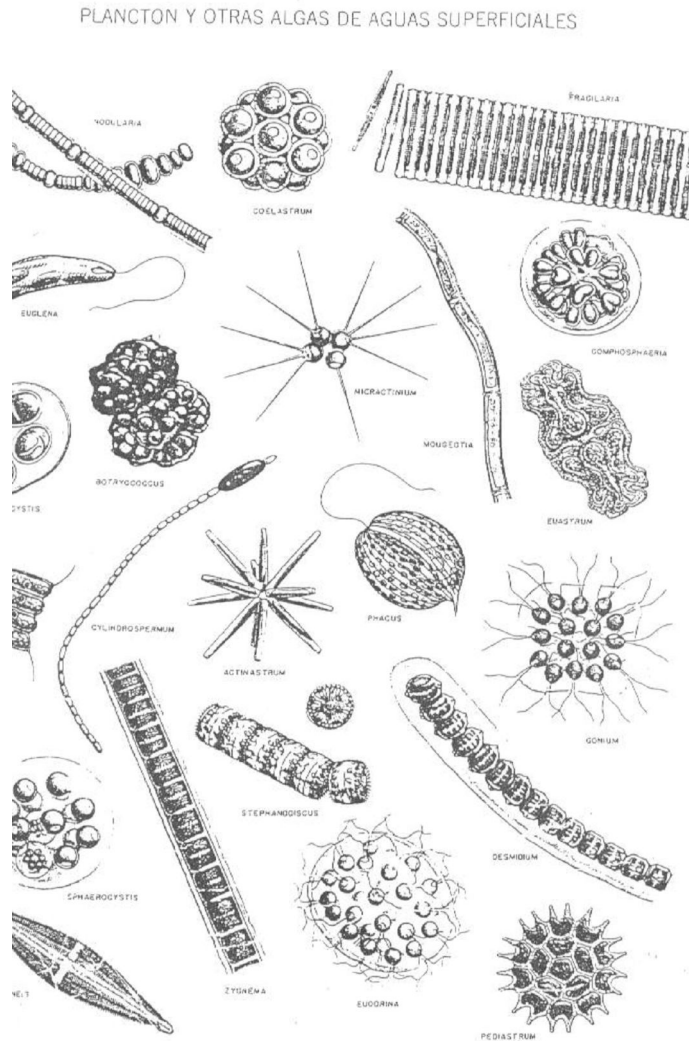


Figura 2-18 Plancton y otras algas

actividad antrópica. Indican la influencia de contaminación de los barros del fondo de los cuerpos de agua y son sensibles a la contaminación de compuestos técnicos, generalmente químicos.

A los organismos con locomoción propia, que se pueden movilizar independientes de la masa de agua se denominan Necton, en este grupo están incluidos los peces de menor tamaño.

A los microorganismos que crecen sobre los objetos sumergidos (piedras, palos, etc.) pero no en los barros del fondo se denominan Prefiton y son indicadores importantes de los puntos concentrados de contaminación o vuelcos contaminantes.

A las plantas acuáticas con flores, se las denomina Macrofiton y se incluyen a los musgos y helechos acuáticos.

Consecuencias de la contaminación

La calidad del agua desde el punto de vista de la atracción natural y aspecto urbanístico debe considerarse en relación al contenido de materia orgánica, en solución, estado coloidal, finamente dividida, sedimentable y flotante, aceites y otras sustancias provenientes de la fuentes de contaminación, hay dos aspectos fundamentales a considerar:

- Procesos desagradables a la vista
- Olores desagradables

Por el hecho de que estos aspectos suelen estar íntimamente relacionados con la descomposición anaeróbica de las aguas residuales, el déficit de oxígeno desempeña un papel fundamental en el proceso y por lo tanto se puede usar con un criterio bien preciso que se puede resumir en el déficit de oxígeno (o lo que es lo mismo el oxígeno disuelto) no debe bajar en ningún punto del cuerpo de agua a menos de 5 p.p.m., tendiendo a mantener la vida de organismos superiores, es decir los peces que lo habitan.

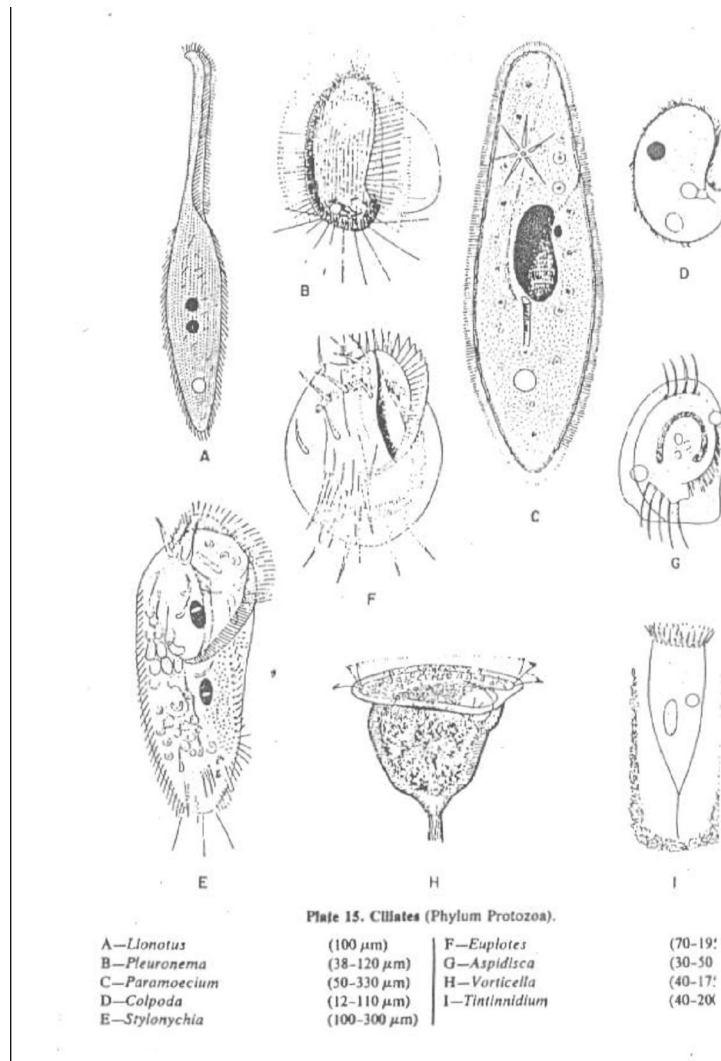


Figura 2-19 Rotíferos

Es fácil notar que el aspecto visual y los olores que se desprenden de un agua contaminada son estéticamente desagradables, lógicamente eso también afecta los usos del cuerpo de agua y en especial si van a ser usados como fuente para la provisión de agua potable.

El aspecto económico de tener aguas contaminadas también se ve afectado y de varias maneras. Primero es que ese cuerpo de agua es usado como fuente de agua potable, tendremos que en las primeras etapas de su contaminación, los costos de saneamiento aumentan y, si posteriormente deja de ser usado como fuente debido a la alta contaminación, deberemos proveer a la población con otra fuente y ello incrementa los costos de provisión.

Por último el aspecto económico también se ve afectado al disminuir la actividad de recreación o pesca del cuerpo de agua y en la última etapa de contaminación, con el traslado de las personas o actividades de las proximidades del agua a zonas mas habitables.

Nótese que cuando contaminamos en este caso un cuerpo de agua, las consecuencias van impactando en todos los niveles del medio ambiente biológico, higiénico, estético y económico.

Descarga de desagües en lagos y lagunas

La descarga de aguas residuales en los cuerpos de agua tales como lagos y lagunas, tanto si son naturales como artificiales, tiene características particulares, debido a la casi inmovilidad de las aguas con respecto a un río.

Hemos visto anteriormente como un volcado de contaminantes en un punto difiere mucho en su capacidad de dilución y recuperación de su estado natural o autpurificación, si se trata de aguas en movimiento (ríos, arroyos, etc.) o de aguas quietas (lagos, lagunas, embalses, etc.)

Las aguas en reposo son afectados por los cambios de temperatura que hacen variar la densidad del agua, recordando que el agua a 4 °C posee la mayor densidad, mientras que a mayor o menor temperatura, el agua es menos densa.

Esto implica que la mezcla de las aguas de un lago o laguna se hace verticalmente, y es estacional, a medida que cambia la temperatura del agua, se considera que en un año se produce la mezcla completa en las aguas del lago, pero recordemos que se hace en forma vertical y muy lentamente en forma horizontal.

Al mezclado en forma horizontal contribuye el viento de superficie y los cursos de agua que fluyen a los lagos y lagunas, como también el o los cursos de desagüe si el sistema no es una cuenca cerrada.

A largo plazo, el incremento acumulativo de elementos nutrientes conduce a la contaminación del lago o laguna, con el crecimiento de la vida biológica activa que se alimenta de esos nutrientes, parte de los cuales se va depositando en el fondo generando procesos anaeróbicos.

Al proceso natural, deben agregarse los aportes de la urbanización, la industrialización y la agricultura intensiva que van acelerando los procesos naturales.

La introducción y la agricultura intensiva que van acelerando los procesos naturales.

La introducción de substancias nutrientes en los lagos y lagunas pone en movimiento una cadena única de sucesos porque las aguas en reposo son esencialmente comunidades o ambientes casi cerrados en las que las substancias alimenticias se mantienen o acumulan a medida que van recorriendo la cadena trófica del medio ambiente.

Hay que tener en cuenta los flujos entrantes y salientes de aportes hídricos, en especial cuando los cuerpos son de poco volumen.

En función de estas variables y del volumen y profundidad, como también de la situación geográfica y al régimen climatológico que afecta al cuerpo de agua, y al final pero no menos importante el grado de contaminación del mismo podemos clasificarlos como:

- **Oligotróficos:** generalmente son profundos, su rango de temperatura generalmente es de fría a templada, contienen poca materia orgánica en suspensión o en el fondo, existe oxígeno disuelto en casi todo su volumen. El plancton se encuentra restringido cuantitativamente y los florecimientos de algas son raros, aún cuando las especies de algas son múltiples, suele existir gran biodiversidad de especies que lo habitan.
- **Eutróficos:** son generalmente de poca profundidad, existe mucha materia orgánica en suspensión y en el fondo, su temperaturas internas es mas alta que en los oligotróficos. El plancton es cuantitativamente abundante, pero hay menos biodiversidad y son comunes los florecimientos de algas que desplazan a los otros microorganismos. Hay poco o nada de oxígeno disuelto.

Con en transcurso del tiempo los lagos oligotróficos se convierten en eutróficos a través del proceso natural de eutroficación. Proceso natural que se acelera por los aportes contaminantes de las actividades antrópicas.

Eutroficación

La palabra eutroficación procede del griego *eu* que significa buen o bien y *tropos* alimento, es decir eutrófico se puede traducir como rico en nutrientes.

Sabemos que todos los lagos tienen un proceso de eutroficación natural, siendo el mismo muy lento dado que puede durar miles de años. Lamentablemente las actividades antrópicas aceleran este proceso por el aporte de nutrientes brindados por las descargas de líquidos cloacales, la actividad agrícola circundante, etc.

En resumen la eutroficación es el proceso natural de enriquecimiento de nutrientes que se lleva a cabo en un cuerpo de agua. El crecimiento biológico resultante, principalmente de algas, es importante y cuando mueren, se sedimentan, acumulándose en el fondo donde se descomponen y agotan el oxígeno disuelto del agua.

La eutroficación es uno de los problemas de calidad de agua, mas significativo, ya que los problemas mas importantes que originan son:

- El efecto perjudicial en la pesca comercial y deportiva, debido a cambios en las especies presentes en las aguas, cuya causa principal son los bajos niveles de oxígeno de las aguas inferiores.
- El efecto en la recreación y turismo debido al crecimiento excesivo de algas y otras plantas acuáticas que transforman al agua y las playas en no idóneas para fines recreativos. Por ejemplo, las algas filamentosas se depositan en las playas durante las tormentas y dejan montones de materia orgánica que se descompone rápidamente.
- Abundantes floraciones algáceas que confieren a las fuentes de abastecimiento de agua un sabor y olor desagradable y obstruyen las obras de toma y los filtros de las plantas de tratamiento.

Así pues es preferible un lago biológicamente pobre en nutrientes a uno con excesiva cantidad. Esto es una paradoja, puesto que en ciertas partes de la biosfera, la tierra por ejemplo, se hacen todos los esfuerzos posibles para aumentar la fertilidad en la producción de alimentos, en cambio la fertilización excesiva por nutrientes en los lagos y el resultado del crecimiento de algas deteriora, en la primera etapa, la calidad de la pesca y con el tiempo la vida acuática.

En el proceso de eutroficación es muy importante tener en cuenta el ciclo del nitrógeno (N) y el fósforo (P) dentro del medio ambiente. Sin entrar en detalles y a modo de ejemplo en las figuras 2-20 se observa el ciclo del nitrógeno y en la figura 2-21 se aprecia el ciclo del fósforo.

La importancia de estos ciclos dentro del proceso de eutroficación es dada porque estos dos elementos y los componentes que nos contienen son la fuente de alimentación del plancton existente en el agua. Los estudios han demostrado que la proporción de nitrógeno y fósforo mas satisfactoria desde el punto de vista de los nutrientes es de 7:1, es decir 7 partes de nitrógeno y 1 parte de fósforo. Cualquier otra proporción deja disponible nitrógeno o fósforo que debe tenerse en cuenta en el balance de masa de los siguientes aportes de nutrientes al lago o laguna.

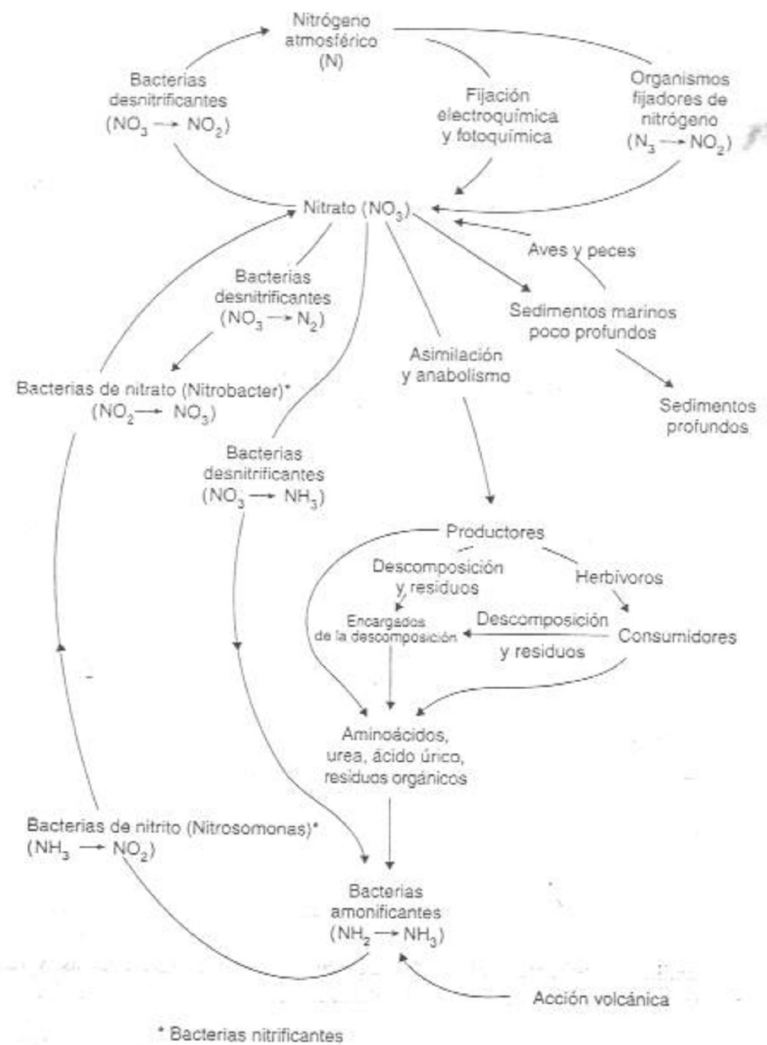


Figura 2-20 Ciclo del Nitrógeno

El ciclo de los nutrientes en los lagos es el siguiente:

- Las algas toman y almacenan el fósforo y el nitrógeno
- Al morir se sedimentan en los fondos
- Los procesos anaeróbicos del fondo desprenden nuevamente el nitrógeno y el fósforo a las aguas.
- La mezcla del agua por cambios de temperatura arrastra el fósforo y el nitrógeno hacia la superficie donde se reinicia el ciclo.

Si este ciclo fuera cerrado en nutrientes, es decir no hubiera aportes naturales o antrópicos, resultaría autorregulado y no existiría proceso de eutroficación. Por supuesto esas condiciones solo podrían darse en un laboratorio en condiciones controladas, por lo que los aportes naturales o antrópicos de nutrientes realimentan el ciclo, quedando la cantidad de nutrientes y el plancton siempre creciente.

Visto la importancia de los microorganismos en el proceso de eutroficación podemos adoptar una clasificación de Kolwitz y Marsson que agrupan los distintos organismos en ambientes oligosaprobios, mesosaprobios y polisaprobios, según vivan en aguas con escasa, media o mucha cantidad de materia orgánica y nutrientes según se indica a continuación:

- **Ambiente oligosaprobio:** corresponde a aguas saturadas de oxígeno, con escaso nitrógeno, limpias y generalmente transparentes. La vida se caracteriza por el predominio de plantas con clorofila, protozoos, rotíferos, crustáceos y peces.
- **Ambiente mesosaprobio:** es un ambiente de transición, se lo divide en dos zonas, lindando una de ellas con el ambiente oligosaprobio y el otro con el polisaprobio. En la primera zona, se realiza la mineralización de la materia orgánica, se hallan presentes algas cianofíceas, clorofíceas, diatomeas y embrófitas, protozoos, gusano helmínticos, rotíferos, lo mismo que algunas especies de moluscos y peces. Se produce una reducción de profundidad, relleno progresivo, iteración de algas verdes o marrones. En la zona lindera con el ambiente polisaprobio, los procesos están acompañados por fenómenos de oxidación, con escasa intervención de organismos verdes (algas).

- **Ambiente polisaprobio:** se caracteriza por una gran riqueza de materia orgánica degradable. Predominan procesos de desintegración con una rápida desaparición del oxígeno disuelto. En el fondo se deposita barro negro. La composición biótica se caracteriza por la presencia de bacterias anaeróbicas, protozoos y no hay crustáceos.

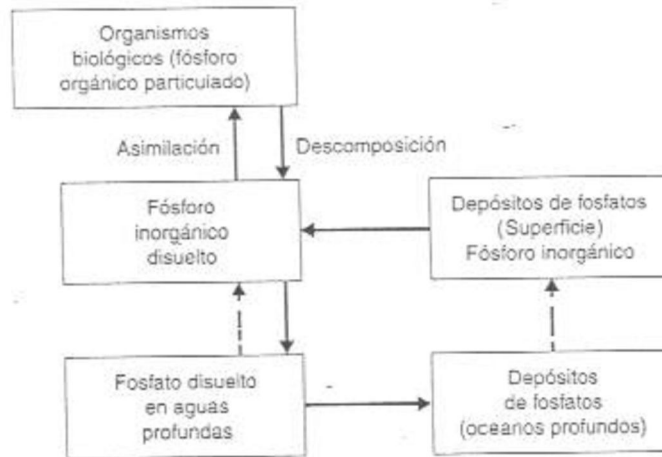


Figura 2-21 Ciclo del Fósforo

Recordando siempre que el pasaje entre ambientes es continuo y no por saltos de un ambiente a otro, podemos tomar algunos parámetros de referencia para indicar el estado de eutroficación de un lago, por ejemplo el nivel de fósforo (P) y de la clorofila presente en mismo según se aprecia en la tabla 2-22 siguiente:

Grado	P mg. / m3	Clorofila mg. / m3
OLIGOTRÓFICO	< 10	< 2,5
MESOTRÓFICO	10 – 35	2,5 – 8
EUTRÓFICO	35 – 100	8 – 25
HIPERTRÓFICO	> 100	> 25

También se pueden utilizar indicadores biológicos del grado de eutroficación tales como se observan en la tabla 2-23

INDICADOR	OLIGOTRÓFICO	EUTRÓFICO
Cantidad de Materia Orgánica	Pobre	Rica
Nutriente N y P	Poco	Mucho
Variedad Biológica	Muchas Especies	Pocas Especies
Distribución en el volumen	Grandes Profundidades	Solamente una camada trofogénica
Migración Diurna	Amplia	Limitada
Floración de Algas	Muy raro	Frecuente
Nº de Algas por ml.	2.000	> 15.000
Grupos Característicos de Algas	Chloophyceae Staurastrum Diatomaceae Tabellaria Cyclotella Chrysophyceae Dinobryon	Cyanophyceae Anabaena Aphanisomeon Microcystis Diatomaceae Melosira Asterionella

A modo de ejemplo de la importancia del fósforo tengamos en cuenta que 1 mg. del mismo produce:

- 100 mg. de Biomasa y esta requiere:
- 140 mg. de DBO

Luego de estudiar el tema nos preguntamos si es posible luchar contra la eutroficación de lagos y lagunas.

La forma de luchar contra este proceso es tratar de no aumentar la tasa de crecimiento natural de los nutrientes, evitando los aportes de la actividad antrópica, esto es implementando plantas de tratamiento de efluentes cloacales e industriales.

Asimismo, si el lago o laguna ya se encuentra en proceso de eutroficación avanzado, se pueden realizar tratamientos de remediación como ser oxigenación de aguas, y procesos químicos o biológicos, ninguno de estos sistemas de remediación son económicos pero en ciertas circunstancias no nos queda otra salida. Esto nos indica que es siempre mas económico prevenir el proceso que remediarlo, aunque al principio nos parezca que los costos de las plantas de tratamiento son excesivos.

Contaminación de Aguas Subterráneas

La contaminación de las aguas subterráneas por diversas fuentes es muy complicada de remediar, tanto por su dificultad para acceder a la misma como por su casi inexistente capacidad de autodepuración.

Estos elementos hacen que las aguas subterráneas tengan las características de recursos fácilmente contaminables.

Es por ello que debemos centrar nuestros esfuerzos en evitar la misma, antes de tener que intentar remediarla. La preocupación de la prevención de la contaminación nos traza el camino de la conservación de las cuencas.

Conservación de las cuencas

El objetivo de la conservación de las cuencas de aguas subterráneas es poder usar el recurso de forma sustentable.

Usar un recurso en forma sustentable, implica una serie de acciones tendientes a:

- Evitar la contaminación química y biológica de la explotación
- Evitar la sobreexplotación del recurso
- Conservar la recarga natural del recurso evitando la contaminación química y biológica de la misma.

Las acciones para evitar la contaminación química y biológica de la explotación implica proteger el recurso de las actividades antrópicas contaminantes, como así también disminuir las posibles contaminaciones naturales.

Tengamos en cuenta que en general las explotaciones de aguas subterráneas se encuentran cercanas a actividades antrópicas a las que proveen de agua potable. Es decir suelen estar rodeadas de actividades antrópicas, tanto urbanas como rurales que son fuentes importantes de contaminación.

Para proteger adecuadamente una explotación, primero debemos tener en cuenta la fragilidad del recurso, es decir que tan cerca de la superficie se encuentra el mismo, las características de permeabilidad del suelo que la cubre o rodea, la existencia o no de capas de suelo relativamente impermeables, como así también toda otra característica física que se estime influya en la fragilidad del recurso.

Un tema importante que hay que tener en cuenta es en donde se produce la recarga del recurso, si es en forma local o lejana, y en el segundo caso las acciones tendientes a proteger el recurso deben tomarse en donde se recarga el recurso.

En el caso de recarga local, se deben extremar las acciones de protección pues habíamos indicado que las explotaciones suelen estar rodeadas de actividades antrópicas. Es por estas razones que la protección del recurso de la contaminación química o biológica suele realizarse determinando un área que rodea la explotación en donde las actividades antrópicas son controladas y se discriminan cuales son las posibles de realizar. Recordemos que además de las actividades industriales y urbanas, fácilmente detectables como fuentes de contaminación, la actividad agrícola intensiva con el uso de fertilizantes y agroquímicos es una fuente de contaminación probable, ya que el agua de lluvia puede filtrar arrastrando los contaminantes hacia el recurso, dependiendo por supuesto del grado de permeabilidad del suelo.

El tamaño del área de protección dependerá de las propiedades físicas y topográficas del suelo que rodea a la explotación, citando por ejemplo que si tenemos un suelo permeable y la explotación está cercana a la superficie, el área de restricción de actividades será mayor que si el suelo es relativamente impermeable o si la explotación se halla protegida con una capa de suelo impermeable.

Las áreas de protección, generalmente son concéntricas con la explotación y su grado de restricción disminuye a medida que nos alejamos de ella.

En la figura 2-24, vemos las formas en que se ve afectada una explotación por la contaminación de industrias, urbanizaciones, actividad agrícola, cursos de agua y caminos.

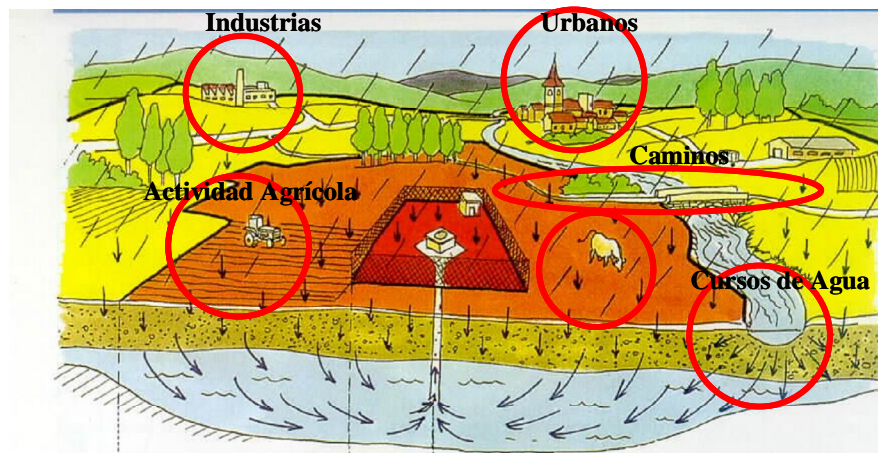


Figura 2-24 Contaminación de explotaciones subterráneas

Con respecto a la sobreexplotación del recurso, las acciones a realizar son la evaluación correcta de la capacidad de explotación, es decir no utilizar la capacidad total de la misma, sino un porcentaje menor, alrededor del 80/90%, para preservar el recurso, mediante la adecuada recarga y recuperación del acuífero.

Evitar la sobreexplotación implica usar el recurso de forma sustentable, permitiendo que el mismo sea utilizado por mucho tiempo sin agotarlo y sin promover la acumulación de sales en los alrededores de la explotación.

En cuanto a la conservación de la recarga natural del recurso, lo primero que debemos tener en cuenta es donde se produce la misma. Si es local, se tomarán en cuenta para la determinación del área de protección de la contaminación, en cambio si no es local, resulta difícil y a veces casi imposible determinar en donde se produce la recarga, ya que se puede situar a cientos o miles de Km. de donde se explota el recurso.

Si el recurso es lo suficientemente importante, tanto en magnitud como si se trata del único recurso disponible esta tarea de protección se torna vital, por lo que si es posible determinar el área de recarga, se deberán tomar todas las precauciones en dicha área. Puede suceder que el área de recarga esté ubicada en otra provincia o fuera del país, en ambos casos se deberá intentar establecer convenios interprovinciales o tratados internacionales para la protección del recurso.

Intrusión Salina

En las explotaciones de aguas subterráneas existe el problema de la intrusión salada. En la figura 2-25, vemos un ejemplo de intrusión salina ascendente y descendente, en el primer caso es la intrusión salina por acumulación de sales y en el segundo caso es una concentración de sales superficiales que puede llegar a la napa de explotación.

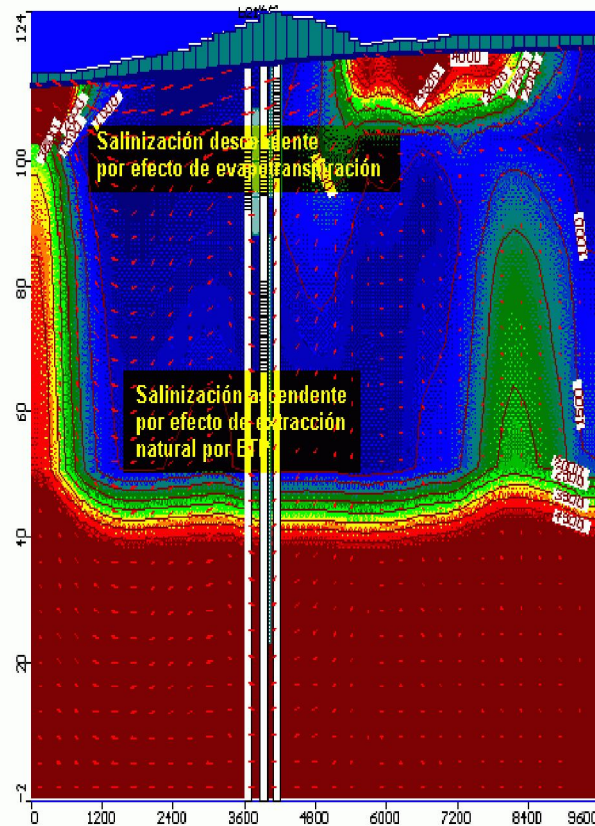


Figura 2-25 Contaminación de explotaciones subterráneas

La intrusión salina es la que se produce por acumulación de sales que naturalmente posee el agua, en las inmediaciones de la explotación. También puede suceder que debajo de la napa explotada, exista otra con alto contenido de sales que no la hacen apta para el consumo, salvo que se las trate previamente, y que durante la explotación de la primera napa comienza a infiltrarse el agua de la segunda napa hacia el punto de explotación, por lo que el agua extraída comienza a tener altos contenidos de sales.

Evidentemente cualquiera de las situaciones planteadas transforman a la explotación en inadecuada sin un tratamiento de eliminación de sales, por lo que antiguamente, se abandonaba la explotación, buscando otras no siempre fáciles de encontrar o disponibles de acceder.

La aparición de la ósmosis inversa, como técnica de tratamiento de aguas salitrosas, cambió la óptica y las explotaciones se pueden seguir utilizando. El inconveniente más importante es el económico y de escala, ya que la tecnología y el equipamiento necesario son caros, pero también hay que tener en cuenta que los rendimientos de dichos procesos son

relativamente reducidos por lo que si estamos ante grandes explotaciones, el método de ósmosis inversa tiene pocas probabilidades de ser operativo.

Siguiendo con el concepto de explotaciones sustentables, lo que se hace actualmente es lo se explica a continuación.

En el caso de la intrusión salina provocada por la acumulación de sales disueltas en el agua que se está explotando, los caminos a seguir se describen a renglón seguido.

El primero es reducir el bombeo de la explotación de manera tal de evitar que continúe la acumulación salina, realizando otras perforaciones para compensar la baja del bombeo.

Otro camino es dejar de explotar por un tiempo, supliendo la misma con otras perforaciones, pero sin abandonar la explotación y realizando ensayos periódicos, para examinar si la perforación suspendida se recupera al disolver el acuífero las sales acumuladas, en especial si el mismo posee una velocidad de desplazamiento por pendiente natural.

Por último en caso de que ninguna de las soluciones anteriores produzcan un mejoramiento de la explotación, queda la alternativa de incorporar agua desalinizada en la perforación con la intención de reducir la concentración salina de los alrededores.

Queda la alternativa de emprender otras perforaciones, pero con el riesgo de que les suceda lo mismo que la que estamos abandonando.

Lo que hay que hacer es una perforación hacia la napa de agua salina y lo mas cercana posible a la explotación, con el objeto de extraerla al mismo tiempo que el bombeo de la explotación. La función de extraer agua de la napa salina, es promover una depresión de la misma mediante el bombeo, e impedir que la explotación se siga salinizando. Naturalmente el agua de bombeo de la napa salina se desecha, tratando de no producir ningún impacto de contaminación en la superficie.

En la figura 2-26 vemos un ejemplo que lo que hemos estado hablando. Primero vemos la perforación realizada sin bombeo y en donde se indican el acuífero dulce, el salado y la capa de suelo (no impermeable) que es transición entre el dulce y el salado. Luego vemos el proceso de bombeo inicial en donde al extraerse el agua dulce, y tener por consiguiente menor presión, el agua salada comienza un proceso de flujo ascendente de agua salada. En el tercer dibujo vemos como la capa de transición ha ascendido hasta el punto de bombeo y ya comienza a bombearse agua salada mezclada con la dulce, es en este punto donde comenzamos a darnos cuenta de la intrusión salina. Por último vemos en la cuarta figura que el bombeo del agua salina ha restituido la capa de transición y el agua del pozo principal es nuevamente dulce.

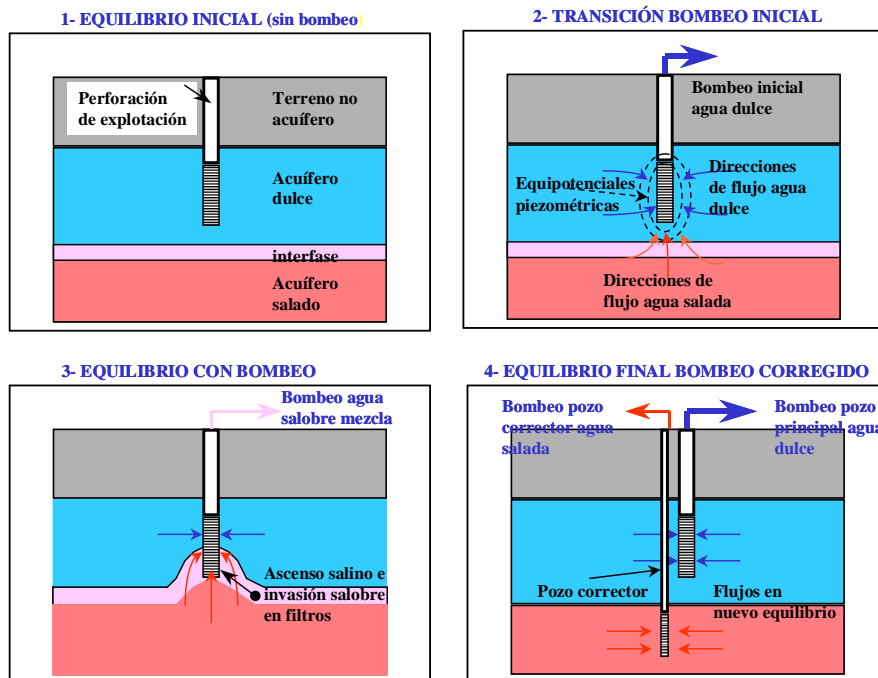


Figura 2-26 Intrusión salina por bombeo

Cierre de explotaciones de agua subterránea

Cuando una explotación de aguas subterráneas deja de cumplir con su función, ya sea por intrusión salina, sobreexplotación, o por tener otra fuente de agua potable, se deberá producir el sellado o cierre de las perforaciones.

Esta tarea es consecuencia de la necesidad de proteger los recursos naturales y en especial los de las aguas subterráneas.

El sellado o cierre de las perforaciones tiene por objetivos:

- Garantizar la seguridad, impidiendo la caída de personas o cosas cuando se ha extraído el equipo de bombeo
- Eliminar los riesgos de contaminación, impidiendo el ingreso de sustancias nocivas dentro de la perforación y por ende al acuífero.

El sellado de una perforación permite el uso posterior, ya sea para la extracción de agua en caso de necesidad, como el monitoreo del acuífero tanto en niveles como en contaminación. Se realiza colocando una tapa debidamente protegida con los elementos de seguridad correspondientes (candados, etc.) anclada al dado de hormigón que se construye alrededor de la perforación.

El cierre o cegado de la perforación se efectúa mediante el relleno total de la perforación con arena o grava, finalizando los últimos 5 metros con un hormigonado de cierre.

