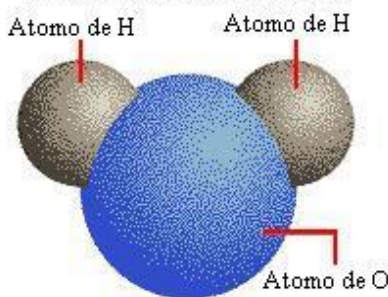


CLASE 3. AGUA EN EL AMBIENTE.

3.1 EL AGUA.

Los antiguos filósofos consideraban el agua como uno de los elementos básicos que representaba a todas las sustancias líquidas. Los científicos no descartaron esta idea hasta la última mitad del siglo XVIII. **Agua** es el nombre común que se le da al estado líquido del compuesto de hidrógeno (H) y oxígeno (O), H_2O . El agua pura es un líquido inodoro e insípido. Tiene un matiz azul, que sólo puede detectarse en capas de gran profundidad. A la presión atmosférica normal, el punto de congelación del agua es $0^{\circ} C$ y su punto de ebullición es $100^{\circ} C$. El agua alcanza su densidad máxima de 1000 kg/m^3 a una temperatura de $4^{\circ} C$ y se expande al congelarse. En la figura 5.1 se muestra un esquema de la molécula de agua.

Figura 5.1 Esquema de la molécula de agua.



Como muchos otros líquidos, el agua puede existir en estado sobreenfriado, es decir, que puede permanecer en estado líquido aunque su temperatura esté por debajo de su punto de congelación; se puede enfriar hasta unos $-25^{\circ} C$ sin que se congele. El agua sobreenfriada se puede congelar descendiendo más su temperatura, agitándola o agregándole partículas de hielo o de algún cristal como yoduro de plata.

Debido a su capacidad de disolver numerosas sustancias en grandes cantidades, el agua pura casi no existe en la naturaleza; todas las sustancias son de alguna manera solubles en agua, por lo que se conoce como el disolvente universal. Durante la condensación y precipitación, la lluvia o la nieve absorben de la atmósfera cantidades variables de dióxido de carbono y otros gases, así como pequeñas cantidades de material orgánico e inorgánico, por lo que no cae como precipitación en forma pura.

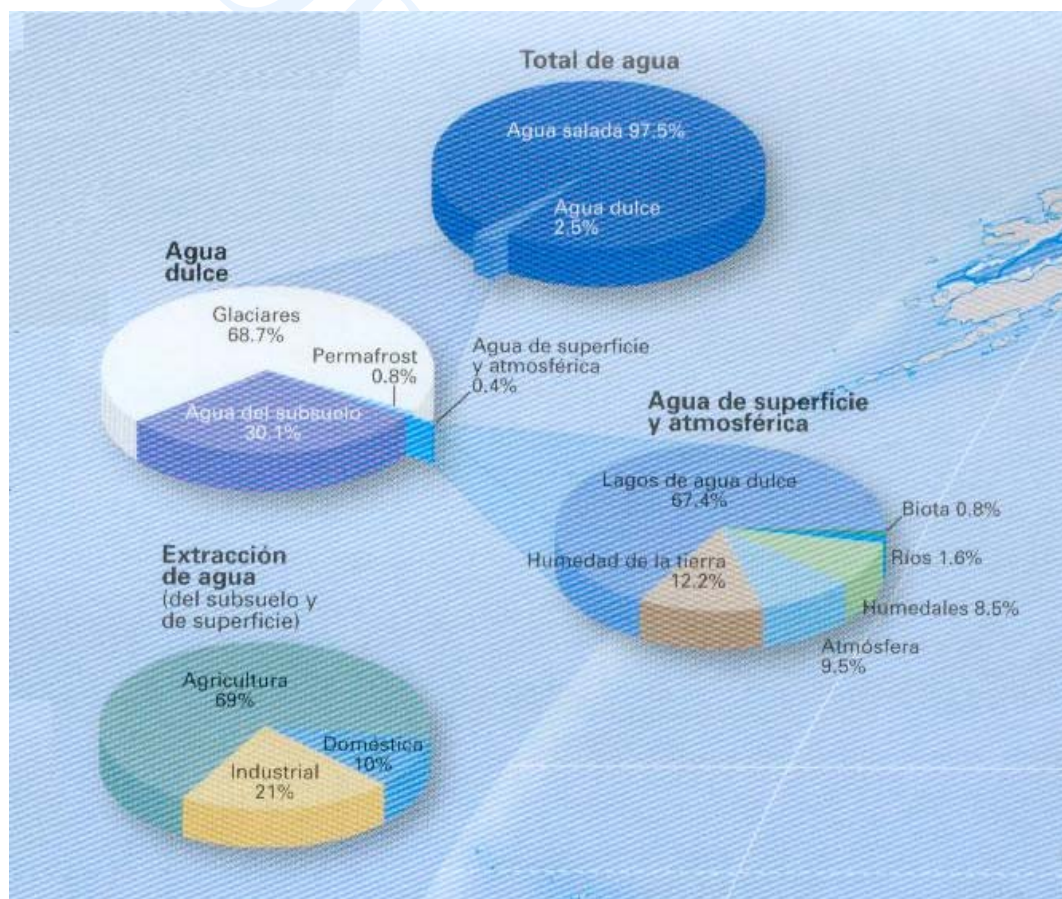
El agua es la única sustancia que existe a temperaturas comunes en los tres estados de la materia: sólido, líquido y gas. Como sólido o hielo se encuentra en los glaciares y los casquetes polares, así como en las superficies de agua en invierno; también en forma de nieve, granizo y escarcha, y en las nubes formadas por cristales de hielo. Como líquido existe en forma de lluvia y de rocío; además, cubre las tres cuartas partes de la superficie terrestre en forma de pantanos, lagos, ríos, mares y océanos (figura 5.2). Como gas, existe en forma de vapor, niebla y nubes.

Figura 5.2 Agua, elemento vital, Salto del Laja, Chile.



Al agua en estado de gas se le llama vapor de agua. El vapor de agua se encuentra sólo en pequeña proporción en atmósfera, con una concentración entre 0 y 4%, pero esta pequeña cantidad es de gran importancia, porque permite la formación de nubes y precipitación. Aunque las nubes y el vapor de agua representan sólo cuatro centésimas del 1% de toda el agua dulce, contienen seis veces más agua que todos los ríos del mundo (figura 5.3). El vapor de agua en la atmósfera se mide en términos de la humedad relativa, que es la relación de la cantidad de vapor de agua en el aire a una temperatura dada, respecto al máximo de vapor que puede contener la atmósfera a esa temperatura.

Figura 5.3 Distribución del agua sobre la superficie terrestre.



El agua es vital como el aire; sin embargo la tercera parte de la población del mundo vive en países donde con frecuencia su suministro no satisface la demanda: mas de mil millones de personas carecen de acceso al agua potable. Estas cifras aumentarán espectacularmente en los próximos 25 años a medida que aumente la población. La Tierra está rebosante de agua y recicla continuamente la misma cantidad que ha tenido durante millones de años, así que no es que el agua se esté agotando, sino que el agua dulce accesible de los lagos, ríos y mantos acuíferos, llamada a menudo agua renovable, es inferior al 0.1% del total de agua de la Tierra, y raramente se encuentra donde mas se necesita. Ya hemos extraído más de la mitad de ella, y más de la mitad de las grandes cuencas del mundo sufren hoy la sobreexplotación y los conflictos políticos.

En el tiempo que le tome leer estos párrafos, digamos un par de minutos, unos 6 niños de todo el mundo habrán muerto porque no disponían de suficientes instalaciones para agua limpia o servicios sanitarios. En un día más de 9000 personas habrán perecido victimas de diarrea, cólera, esquistosomiasis y otra enfermedades que se diseminan por el agua contaminada o por la falta de agua para una higiene adecuada. Hacia finales del 2002, tres millones 400 mil personas habrán fallecido, la mayoría de ellas habitantes de Asia y África y la mayoría menores de cinco años de edad.

A pesar de que el agua potable es necesaria para la vida y un derecho fundamental, cada día es mas difícil obtenerla debido a la contaminación y las demandas de una población en aumento. Ni siquiera las países industrializados son ajenos a este problema. Lo que resulta particularmente preocupante es el envenenamiento de los mantos acuíferos subterráneos, la principal fuente de agua potable para casi la tercera parte del mundo. A diferencia de los ríos, que se renuevan por sí mismos cada 20 días, los mantos acuíferos pueden tardar cientos de miles de años en recargarse.

3.2 EL CICLO HIDROLOGICO.

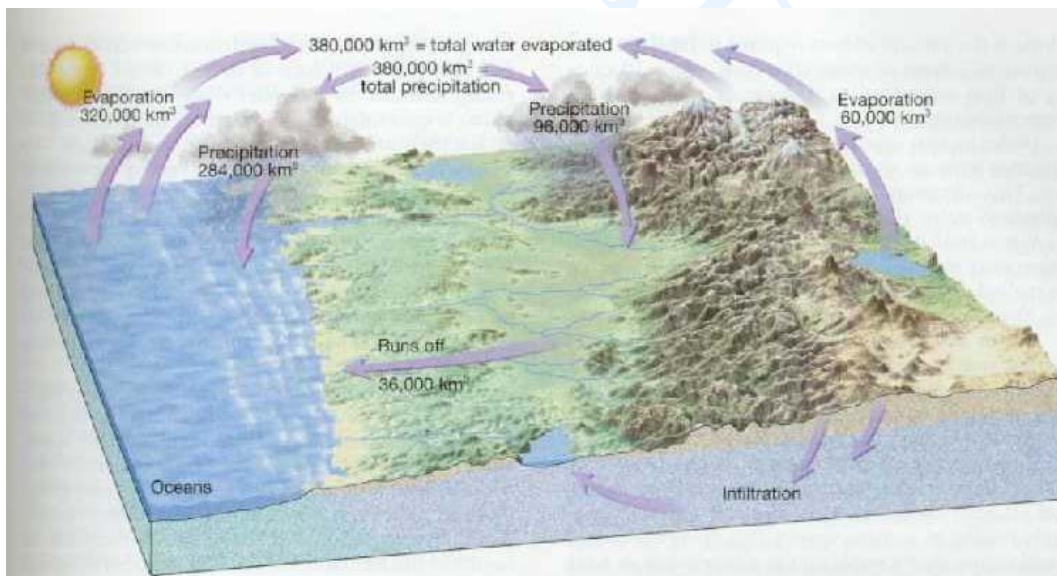
El agua se encuentra en todos los lugares sobre la superficie de la tierra: en los océanos, glaciares, lagos, ríos, suelo, aire. A este conjunto de masas de agua le llamamos hidrosfera, que contiene del orden de 1.36 billones de kilómetros cúbicos (km^3) de agua, distribuida de la siguiente manera: 97,5% de océanos, 2,5% otras fuentes y sólo 0,001% de vapor de agua se encuentra en la atmósfera. En la figura 5.3 se muestra como se distribuye el agua en el planeta.

Existe un continuo intercambio de agua entre los océanos - atmósfera - continentes, conocido como el *ciclo hidrológico*, que es un gigantesco sistema generado por la energía del Sol, que evapora el agua desde los océanos en su mayor parte y algo desde los continentes, esta humedad es transportada en la atmósfera a grandes distancias. La condensación del vapor forma las nubes que producen la precipitación, que luego cae en los océanos y los continentes. Desde los continentes fluye también hacia los océanos en gran parte desde los ríos, donde nuevamente se evapora cerrándose un ciclo que se repite continuamente.

Una vez que el agua cae en tierra, la parte que no fluye hacia los océanos, la absorbe la tierra moviéndose hacia el fondo y los lados, donde se filtra hacia los lagos y ríos y de aquí otra vez al océano. Cuando cae más lluvia que la capacidad de la tierra para absorber, el exceso fluye sobre la superficie hacia ríos y lagos. Parte del agua infiltrada en el suelo es absorbida por las raíces de las plantas y luego liberada por las hojas a la atmósfera en un proceso llamado transpiración, y otra porción de agua se filtra en el suelo y se acumula en una zona de saturación para formar depósitos de agua subterránea, cuya superficie se conoce como nivel freático. Por influencia de la fuerza de gravedad, el agua se acumula en los intersticios de las rocas, debajo de la superficie terrestre formando depósitos de agua subterránea que abastecen a pozos y manantiales, y mantienen el flujo de algunos arroyos o vertientes durante los periodos de sequía.

Un diagrama que muestra el intercambio de agua en el ciclo hidrológico, se observa en la figura 5.4. Aunque la cantidad de vapor de agua es una pequeña fracción del total de agua en el sistema, la cantidad absoluta es enorme: 380.000 km^3 , si se concentrara sería suficiente para cubrir toda la Tierra con una profundidad del orden de un metro. El balance de agua promedio global arroja los siguientes valores numéricos: evaporación desde los océanos 320.000 km^3 y desde los continentes 60.000 km^3 , precipitación sobre los océanos 284.000 km^3 y sobre los continentes 96.000 km^3 . Como la cantidad total de vapor de agua en la atmósfera no cambia, la precipitación media anual sobre la Tierra debe ser igual a la cantidad de agua evaporada. Pero en los continentes la precipitación excede a la evaporación, inversamente en los océanos la evaporación excede a la precipitación. Como el nivel de agua en los océanos no disminuye, el exceso de agua de 36.000 km^3 sobre los continentes, escurre desde los ríos hacia los océanos y balancea el déficit de lluvia sobre los océanos. Así, el ciclo hidrológico es el continuo movimiento de agua desde los océanos a la atmósfera, de la atmósfera a la tierra y de la tierra regresa al mar.

Figura 5.4 Esquema del ciclo hidrológico.



3.3 CAMBIOS DE ESTADO DEL AGUA.

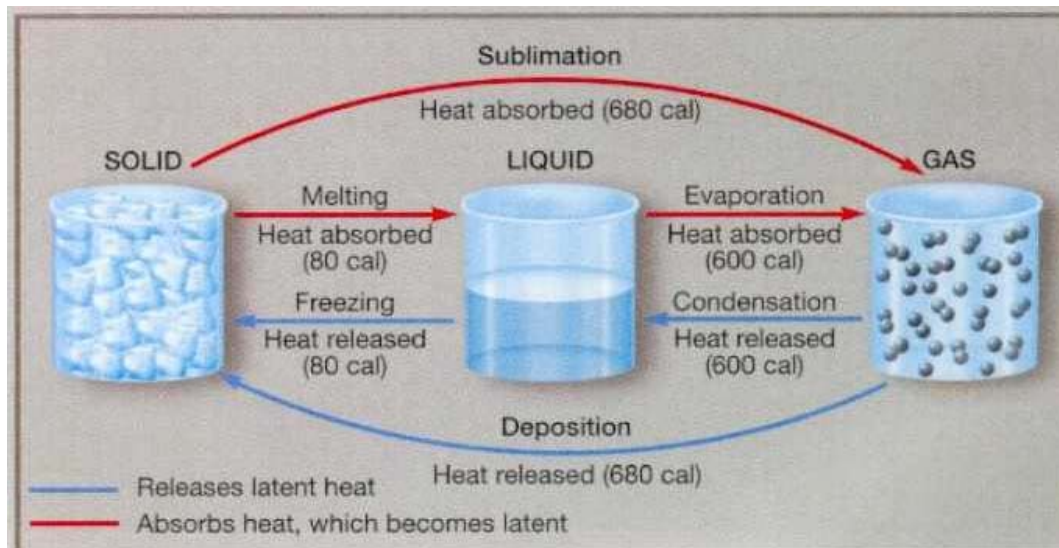
El vapor de agua en la atmósfera puede cambiar a sus otros estados líquido o sólido a la temperatura y presión existentes en el ambiente, por eso el agua puede dejar los océanos como gas y regresar como líquido.

Los procesos de cambio de estado del agua (y de cualquier sustancia) requieren absorción o liberación de calor. Cuando se le agrega o quita calor a una sustancia, se producen variaciones de temperatura (aumento o disminución), este calor se llama **calor sensible**, porque el objeto siente el calor agregado o perdido al cambiar su temperatura. Pero en ciertas condiciones se le agrega calor a una sustancia sin que cambie su temperatura, por ejemplo cuando se evapora el agua, en ese caso se produce un cambio de estado o de fase y al calor necesario para producir el cambio de fase se le llama **calor latente**, porque este calor está presente y a punto para ser usado cuando termina el proceso de cambio de estado. Por ejemplo, si se hierve agua en un recipiente abierto a la presión atmosférica normal, la temperatura no aumenta por encima de los 100° C por mucho calor que se suministre. El calor que se absorbe sin cambiar la temperatura del agua es el calor latente; no se pierde, sino que se emplea en transformar el agua en vapor y se almacena como energía en el vapor. Cuando el vapor se condensa para formar agua, esta energía vuelve a liberarse, recuperándose el calor latente como calor sensible. Del mismo modo, si se calienta una mezcla de hielo y agua, su temperatura no cambia hasta que se funde todo el hielo. El calor latente absorbido se emplea para vencer las fuerzas que mantienen unidas las partículas de hielo, y se almacena como energía en el agua.

Cuando se evapora el agua por la radiación solar, el calor usado como calor latente, se libera después como calor sensible cuando el vapor otra vez se condensa en gotitas de agua. La liberación de calor latente es una importante fuente de energía para la formación de tormentas, huracanes y temporales. El calor latente es la energía térmica necesaria para que un kilogramo de una sustancia cambie de un estado a otro, se mide en J/kg o

cal/gr. Existen calores latentes de fusión, de vaporización y de sublimación, para los diferentes procesos de cambio de estado del agua, que se ilustran en la figura 5.5, y que se resumen a mas abajo.

Figura 5.5 Procesos de cambio de estado del agua.



3.3.1 Vaporización o evaporación.

Es la transformación de líquido a gas. La evaporación es la conversión gradual de un líquido en gas sin que haya ebullición, que se realiza en la superficie del líquido. Las moléculas de cualquier líquido se encuentran en constante movimiento. La velocidad media de las moléculas sólo depende de la temperatura, pero puede haber moléculas individuales que se muevan a una velocidad mucho mayor o mucho menor que la media. A temperaturas por debajo del punto de ebullición, es posible que moléculas individuales que se aproximen a la superficie con una velocidad superior a la media tengan suficiente energía para escapar de la superficie y pasar al espacio situado por encima como moléculas de gas. Como sólo se escapan las moléculas más rápidas, la velocidad media de las demás

moléculas disminuye; dado que la temperatura, a su vez, sólo depende de la velocidad media de las moléculas, la temperatura del líquido que queda también disminuye. Es decir, la evaporación es un proceso de **enfriamiento**; si se pone una gota de agua sobre la piel, se siente frío cuando se evapora. En el caso de una gota de alcohol, que se evapora con más rapidez que el agua, la sensación de frío es todavía mayor. Por ejemplo la transpiración humana es un mecanismo de defensa del cuerpo hacia el exceso de calor; los perros no transpiran pero cuando sienten calor jadean produciendo evaporación, reduciendo de esa manera su temperatura corporal; los cerdos que tampoco transpiran, se refrescan en el barro.

Si un líquido se evapora en un recipiente cerrado, el espacio situado sobre el líquido se llena rápidamente de vapor, y la evaporación se ve pronto compensada por el proceso opuesto, la condensación. Para que la evaporación continúe produciéndose con rapidez hay que eliminar el vapor tan rápido como se forma. Por este motivo, un líquido se evapora con la máxima rapidez cuando se crea una corriente de aire sobre su superficie. Cuando después de que ha llovido la energía del Sol comienza a secar el suelo, el calor se consume en evaporar la humedad de la tierra, lo que hace disminuir la temperatura del aire, haciendo que los días sean más frescos que si no hubiese llovido. Para convertir un gramo de agua en vapor se requiere agregar al líquido aproximadamente 540 calorías, cantidad que se llama *calor latente de vaporización*, $L_v = 540 \text{ cal/gr}$.

3.3.2 Condensación.

Es la transformación de un gas a líquido. Las moléculas de gas que se condensan entregan energía cinética a la superficie sobre la que condensan, por lo que este es un proceso de **calentamiento**. Cuando el vapor de agua en la atmósfera se transforma en gotitas para formar las nubes, se libera calor a la atmósfera, produciendo un aumento de temperatura. En la atmósfera, la conversión de un gramo de vapor en agua libera al ambiente la cantidad $L_c = 540 \text{ cal/gr}$, como *calor latente de condensación*.

3.3.3 Fusión o derretimiento.

Es la transformación de sólido a líquido (en este caso hielo a agua). Para producir el derretimiento, se requiere agregar al hielo 80 calorías de energía como *calor latente de fusión*, $L_f = 80 \text{ cal/gr}$.

3.3.4 Solidificación o congelación.

Es el cambio de estado de líquido a sólido (agua a hielo). Cuando un gramo de agua se congela a hielo, se liberan al ambiente las 80 calorías usadas en la fusión, como *calor latente de solidificación*, $L_f = 80 \text{ cal/gr}$.

3.3.5 Sublimación.

Es la transformación directa de sólido a gas, sin pasar por la fase líquida. En este proceso se debe agregar 620 calorías de energía al hielo para convertirlo en vapor, como *calor latente de sublimación*, $L_s = 620 \text{ cal/gr}$.

3.3.6 Deposición.

Es la transformación directa de gas a sólido (vapor a hielo). En este proceso se libera energía como *calor latente de deposición*, $L_s = 620 \text{ cal/gr}$.

5.3.7 Ebullición.

Es un proceso en el cual el líquido pasa al estado de gas en el interior del líquido, donde el gas se concentra para formar burbujas que flotan hasta la superficie y desde ahí escapan al aire adyacente. La presión dentro de las burbujas debe ser grande para vencer la presión del agua que las rodea.

Si la presión atmosférica aumenta, la temperatura de ebullición se eleva y viceversa. Cuando ascendemos a mayor altura sobre el nivel del mar, el agua hierve con temperaturas menores porque la presión disminuye. Pero los alimentos se cuecen cuando la temperatura del agua es elevada y no por la temperatura de ebullición, por lo tanto a mayor altura se debe esperar más tiempo para cocer los alimentos, por ejemplo un huevo duro en Concepción se cuece en aproximadamente dos minutos y en Visviri (4070 m de altura snm, en el extremo norte de Chile) en varias horas. La ebullición es un proceso de enfriamiento, en condiciones normales el agua que hierve a 100° C, se enfría con la misma rapidez con la cual la calienta la fuente de calor, sino la temperatura del agua aumentaría siempre con la aplicación del calor.

Resumiendo, para cambiar el estado del agua de sólido a líquido y de líquido a gas, se debe agregar energía y viceversa en el proceso inverso, como se observa en el esquema de la figura 5.5.

3.4 CONTAMINACION DEL AGUA.

En su mayor parte, toda actividad económica y social depende de las aguas dulces. En muchos países, éstas son cada vez más escasas. La administración de las fuentes de agua es de vital importancia para esta década y las venideras. La superficie de nuestro planeta está cubierta en un 70 por ciento por agua, y es ésta o mejor dicho, la falta de ella, la que causará la mayor parte de los problemas en el siglo XXI. En zonas secas, como el Medio Oriente, las naciones han amenazado con pelear por ella.

Escasez de agua.

En nuestros días, muchos países tienen menos agua de la que necesitan. A principios del próximo siglo, una tercera parte de las naciones tendrá escasez de agua de modo permanente. ¿Dónde encontrar fuentes nuevas? Los lagos subterráneos, que datan de tiempos prehistóricos, se agotan con

rapidez. Estamos obteniendo la mayor cantidad posible de agua de los ríos; el resto es inservible a causa de la contaminación. El agua de mar desalinizada es una fuente potencial, aunque el costo del proceso es diez veces mayor.

El agua es un elemento vital para todos los seres vivos. Sin embargo -al igual que en el caso de la **contaminación atmosférica**-, el progreso y los avances logrados por el ser humano han llevado a producir desechos, muchos de los cuales llegan hasta el agua. La **contaminación del agua se produce cuando este vital elemento ha perdido las condiciones naturales**, por lo tanto, ya no reúne las características de su estado natural. Como resultado de la contaminación, el agua ha sufrido cambios en su color y composición, producto de la cantidad de suciedad que llega a ella (desechos de los hogares, detergentes, petróleo, pesticidas y desechos nucleares). Estos desechos alteran su sabor, densidad, pureza, etc.

Existen diferentes contaminantes del agua. Algunas de ellas son las aguas residuales y los residuos provenientes de las industrias.

Aguas residuales.

Son **aquellas aguas que trasladan desechos domésticos de la ciudad**. La existencia de un mayor número de casas habitaciones, implica un mayor número de personas, lo cual genera un volumen más alto de aguas residuales que transportan materia orgánica de desechos, abundante en fosfato.

En las aguas existen bacterias cuya función es degradar los desechos; cuando estos son moderados, las bacterias son capaces de desintegrarlos sin dificultad. En cambio, cuando los volúmenes de desechos aumentan, las bacterias no son capaces de realizar su trabajo y las aguas se enturbian lentamente. Esto conlleva que disminuya la luz, las algas no puedan realizar la fotosíntesis, lo que -a su vez- trae como consecuencia la muerte de muchos peces y algas. Por falta de oxígeno, estos organismos comien-

zan a descomponerse, se van al fondo y se va formando una espesa capa de material orgánico en fermentación, incompatible con la vida de los seres vivos acuáticos.

Otro factor contaminante de las aguas residuales es la presencia de parásitos, bacterias y virus. Lo peligroso es que, si esta agua que forma parte de un río o canal, es usada para regadío. De este modo, dichos microorganismos se depositan en los alimentos que consumimos. Algunas enfermedades que pueden ser provocadas de esta forma son el cólera, fiebre tifoidea, disentería, etcétera. En la figura 5.* se muestra una porción de aguas dulces contaminadas.

Figura 5.* Aguas contaminadas.



Residuos provenientes de industrias.

Las aguas que arrastran residuos de industrias son portadoras de un gran número y diversidad de agentes contaminantes. Algunos de estos son:

Residuos de detergentes (espuma): estos son eliminados y se integran a las aguas de los ríos, donde pueden destruir muchos tipos de vida acuática.

Residuos minerales y sales metálicas: estos desechos pueden llegar a ser agentes contaminantes en los ríos y provocar grandes daños en la distribución y cantidad de flora y fauna. Su presencia en las aguas de los mares, hace que los contaminantes se concentren en algunas especies que viven en el lugar, sin provocarles la muerte. Pero los residuos tóxicos pueden llegar al ser humano, si este consume dichos organismos.

Derivados del petróleo: estos residuos tienen distintas fuentes y llegan a las aguas de maneras diferentes. Por ejemplo: el agua de las lluvias lava las calles y arrastra restos de alquitrán, aceites y combustibles, los cuales finalmente van a parar a los ríos. Los residuos van formando una delgada o gruesa película y de ésta se van desprendiendo ciertas sustancias tóxicas las cuales van intoxicando el plancton, peces y los diversos organismos acuáticos. En los casos en que el petróleo es eliminado en grandes cantidades en forma accidental o no, por los barcos, se forma una densa capa sobre las aguas, llamada marea negra. Dicha capa impide la oxigenación de las aguas y nuevamente se produce la destrucción.

Productos agrícolas: constituidos por residuos de los animales y ciertos compuestos químicos, que son usados como plaguicidas y fertilizantes. Cuando este tipo de sustancias se usan descontroladamente, se puede llegar a destruir cierto tipo de animales y vegetales, rompiendo el equilibrio natural y perjudicando mucho a los animales superiores. Este tipo de contaminante se va depositando en el organismo humano, y en algunos casos no provoca la muerte, pero sí malformaciones, poco desarrollo, etc.

PREGUNTAS.

1. ¿Qué está pasando con el agua del mundo? ¿Quiénes se benefician o perjudican?
2. Analizar la distribución de agua dulce en el planeta.
3. Describir la transferencia de agua en el ciclo hidrológico.
4. Resumir los procesos por los cuales se producen los cambios de estado del agua, indicando si se absorbe o libera calor.

FALTAN