

**FUNDAMENTOS AMBIENTALES EN INGENIERÍA**

## **UNIDAD II:**

# **EL AGUA COMO FACTOR AMBIENTAL. CONTAMINACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO**

- **FUNDAMENTOS AMBIENTALES EN INGENIERÍA**

## **2A AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS**

## **2.A AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS**

**EL AGUA ES UNO DE LOS COMPONENTES MAS ABUNDANTES EN LA NATURALEZA YA QUE CUBRE APROXIMADAMENTE LA TRES CUARTAS PARTES DE LA TIERRA. SIN EMBARGO EXISTEN FACTORES, COMO LA CALIDAD QUE LA LIMITAN PARA SU UTILIZACION , POR ESTO SE DEBEN TENER EN CUENTA DETERMINADOS PARAMETROS O PROPIEDADES COMO LOS FISICOS, QUIMICOS Y BIOLOGICOS**

## 2.A AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

### Propiedades y características del agua

#### *Propiedades físicas*

**SON LOS QUE DEFINEN LAS CARACTERÍSTICAS DEL AGUA QUE RESPONDEN A LOS SENTIDOS DE VISTA , DEL TACTO, GUSTO Y OLFATO COMO POR EJEMPLO:**

- **COLOR:** generado por minerales disueltos
- **TURBIDEZ:** por presencia de partículas
- **OLOR:** por presencia de microorganismos
- **SABOR:** por presencia de microorganismos y sustancias.
- **TEMPERATURA:** exposición al aire y sol
- **CONTENIDO DE SÓLIDOS:** presencia de materia orgánica y otras.

## 2.A AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

### Propiedades Químicas

EL AGUA ES LLAMADA EL SOLVENTE UNIVERSAL, ESTAN RELACIONADOS CON LA CAPACIDAD DEL AGUA PARA DISOLVER SUSTANCIAS ENTRE:

- **SÓLIDOS DISUELTOS**
- **ALCALINIDAD:** capacidad del agua para aceptar los iones  $H^+$
- **DUREZA:** por presencia de cationes como  $Ca^{2+}$   $Mg^{2+}$  en jabón es precipitador con otros iones que generan incrustaciones
- **METALES PESADOS:** Pb, Cu, Zn, Sn, Hg.
- **ACIDEZ:** capacidad neutralizadora de una base
- **CONDUCTIVIDAD:** esta relacionado con el contenido de sal que tenga el agua

## 2.A AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

### *Propiedades biológicas*

**EL AGUA ES UN MEDIO DONDE HABITAN MILES DE ESPECIES BIOLÓGICAS, DENTRO DE LOS CUALES EL RANGO DE LOS ORGANISMOS ACUÁTICOS EN TAMAÑO Y COMPLEJIDAD ES MUY AMPLIO.**

## 2.A AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

### Ciclo hidrológico del agua

El agua es vital para los seres vivos y sólo el 3% del total es dulce, del cual el 2% está en forma de hielo, por lo tanto, sólo el 1% está en los cuerpos de agua dulce y gracias al ciclo del agua circula constantemente entre los distintos estratos de la hidrósfera.

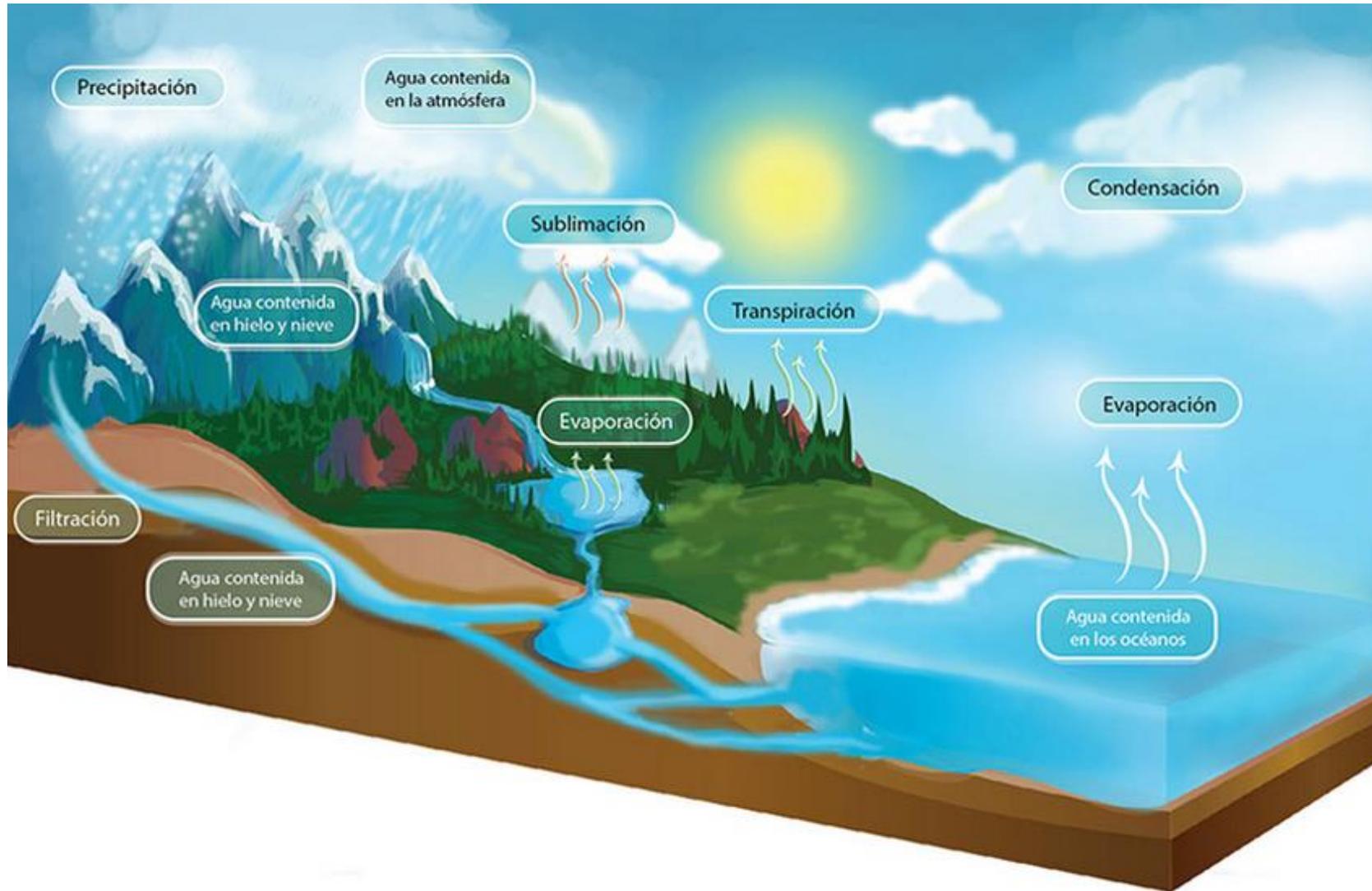
Sube a la atmósfera el vapor de agua proveniente tanto de la **transpiración** de las plantas, como de la **evaporación** del agua de los suelos, ríos, lagos, etc. y particularmente de los océanos, esto debido a la acción constante de la radiación solar; todo este vapor queda retenido en las nubes, que al enfriarse se **condensa** alrededor de partículas de polvo formando pequeñas gotas que se **precipitan** a la superficie terrestre como lluvia, granizo, nieve, aguanieve o también como neblina.

El agua que llega a la superficie de la Tierra puede tomar varias rutas: regresar directamente o por escurrimientos al mar, quedar contenida en lagos y estanques (aguas quietas), así como en ríos y arroyos (aguas corrientes); o también puede filtrarse en el suelo formando aguas subterráneas. Cuando la parte superior del suelo se satura con el agua forma los mantos freáticos (agua contenida entre los huecos y rocas del subsuelo), o bien acuíferos, (capas de rocas que contienen agua) que se recargan con el agua de lluvia o nieve derretida.

Se vuelve a iniciar el ciclo cuando las raíces de las plantas toman el agua del suelo, la radiación solar actúa sobre los cuerpos de agua, etc.

Algunos de los factores que actúan sobre el ciclo hidrológico son las corrientes oceánicas y los patrones dominantes de los vientos, entre otros.

## 2.A AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS



Ciclo hidrológico

## 2.A AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

### Recursos hídricos

Los recursos hídricos son los depósitos e insumos de agua dulce que, en distintos estados físicos y estando disponibles o potencialmente disponibles, pueden ser utilizados por el ser humano para satisfacer alguna necesidad.

Los recursos hídricos de una región pueden hallarse como:

**Ríos y Lagos:** Acumulaciones de agua dulce estancada o que fluye, y que irrigan la plataforma continental. Los ríos nacen en el hielo que se derrite en las cumbres de las montañas y los lagos son estancamientos de dichas aguas.

**Aguas subterráneas:** Depósitos de agua dulce bajo tierra, formados durante largos periodos de tiempo y con un mayor o menor grado de pureza, dependiendo del entorno subterráneo en el que se encuentren.

**Glaciares y nieves perpetuas:** El agua a ciertas alturas o altitudes está expuesta a niveles de temperatura que la llevan a cambiar físicamente, formándose así hielos, nieves perpetuas o icebergs.

## 2.A AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

### Fuentes de provisión de agua

**AGUAS SUPERFICIALES:** Son las que se encuentran a la altura de la superficie de la tierra como son los ríos, lagunas y lagos.

**AGUAS SUBTERRANEAS:** Son las que se encuentran en el subsuelo por filtración y son el resultado del ciclo hidrológico por ejemplo mantos freáticos.



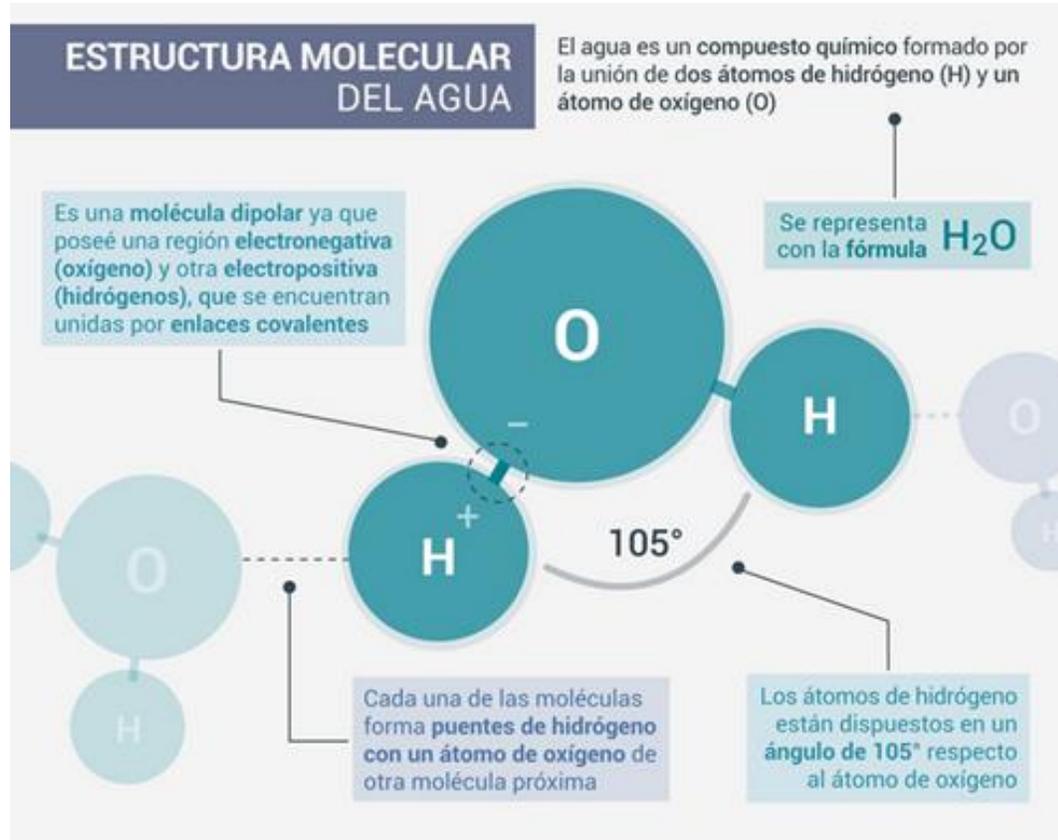
## 2.A AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

### Clasificación de los elementos contenidos en el agua

En 1782, Henry Cavendish descubrió que la molécula de agua estaba formada por dos elementos: **un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno (H<sub>2</sub>O)**. Estos elementos están unidos mediante enlaces covalentes. Hasta entonces se pensaba que era un solo elemento.

La molécula de agua tiene una estructura no lineal. La distribución de los átomos y el alto valor de electronegatividad del oxígeno genera la formación de un dipolo que determina la polaridad del agua. Esta característica hace que el agua tenga una buena conductividad eléctrica.

# 2.A AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS



## 2.A AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

### Índices de calidad de agua

- La calidad de las aguas superficiales es afectada por:
  - **LA ATMOSFERA A TRAVES DE LA CUAL CAE LA LLUVIA**
  - **POR LA NATURALEZA DEL SUELO**
  - **POR LA VEGETACION SOBRE LA CUAL EL AGUA ESCURRE**
  - **POR EL GRADO DE ACTIVIDAD HUMANA DE LA CUENCA**
  - **POR ACIDIFICACION** : se pensaba que la lluvia acida la producía pero se determino que se producía si la vegetación suelos y rocas con las que entra en contacto antes de llegar al arroyo, rio o lago no neutralizan la deposición acida total.

## 2.A AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

- Entre los contaminantes atmosféricos que provocan la lluvia ácida se encuentran los óxidos de azufre y nitrógeno emitidos por las plantas generadoras de energía y los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos emitidos por los motores de combustión.
- Efecto de la acidificación afecta la calidad del agua, la ecología, causa una disminución del pH, se puede prevenir daño en plantaciones por la disminución que esta provoca.

## 2.A AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

- Otra clasificación puede hacerse atendiendo a la calidad de las aguas o de contaminación de las aguas a través de índices de calidad
- La aplicación de un índice constituye un proceso de síntesis, que da origen a una pérdida de información en relación con los resultados analíticos originales. Índices utilizados para establecer tramos clasificados en un río, atendiendo a su calidad, son:
  - **WQI (WATER QUALITY INDEX)**
  - **ISQA (INDICE SIMPLIFICADO DE LA CALIDAD DEL AGUA)**

## 2.A AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

- **INDICE DE CALIDAD I.S.Q.A.**

$$\text{I.S.Q.A.} = T (A+B+C+D)$$

**Donde:**

**T=** COEF DE TEMPERATURA

**A=** COEF DE OXIDABILIDAD

**B=** COEF DE Solidos Suspendidos.

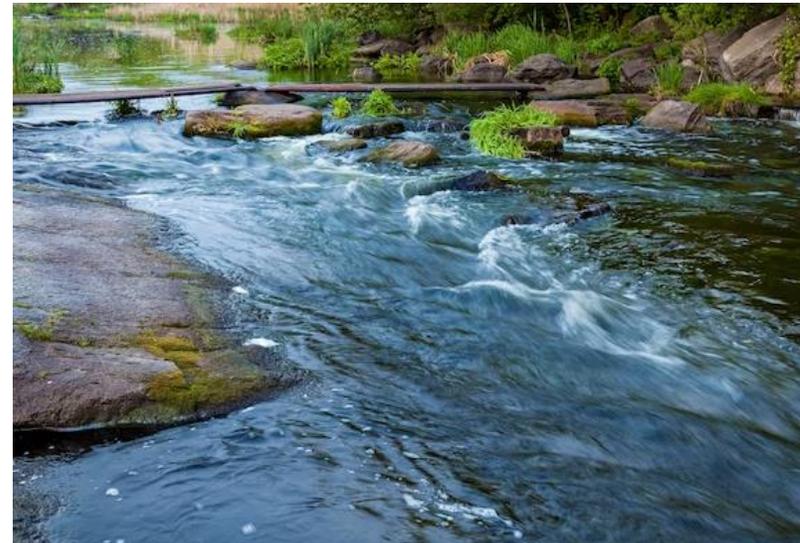
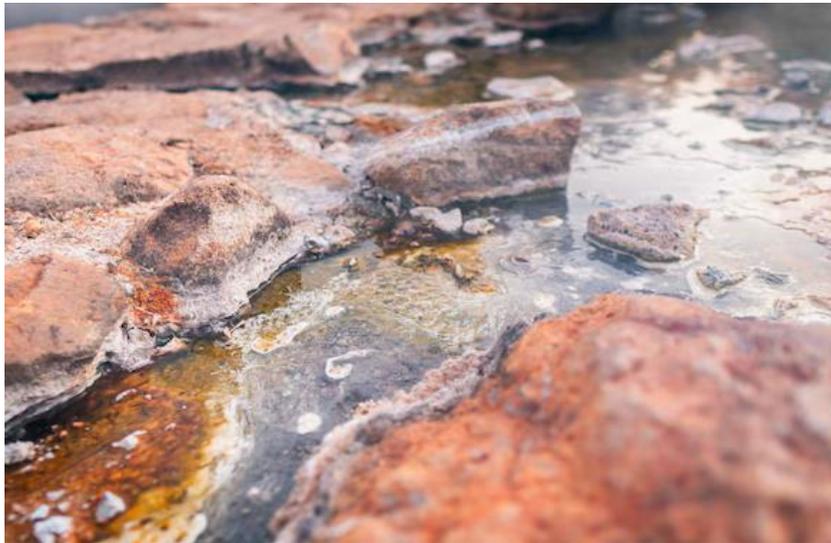
**C=** COEF DE Oxigeno Disuelto.

**D=** COEF DE CONDUCTIVIDAD

## 2.A AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

### Fundamentos de la química de agua

La naturaleza química de los sistemas de agua dulce, refleja fuertemente los tipos de suelos por los que se drenan y los usos del mismo. En regiones de piedra caliza los arroyos y lagos tienen alcalinidad y pH, en regiones de granito las aguas dulces tienen bajo contenido de sales disueltas y normalmente son ácidas. En zonas agrícolas, el N y P de los fertilizantes entran en el sistema acuático.



## 2.A AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

### Indicadores de desempeño para uso sustentable del agua

Es unánime el reconocimiento de parte de los gestores e investigadores que estudian la problemática hídrica y de los usuarios del agua, sobre la necesidad de la definición, el uso y la validación de indicadores de referencia para la evaluación permanente de escenarios dinámicos, en el espacio y el tiempo, que refleje el comportamiento de las funciones, disponibilidad y demandas de recursos hídricos, contemplando aspectos sociales, económicos y ambientales. Indicadores fiables como herramienta orientadora de estrategias para disminuir la presión de las demandas, mejorar la eficiencia y la eficacia del uso del agua, proteger la calidad y mantener stock hídricos seguros, accesibles con ecuanimidad para los múltiples usos y usuarios.

# FUNDAMENTOS DEL AMBIENTE EN INGENIERÍA

## 2B DEFINICIÓN Y TIPOS DE CONTAMINACIÓN

## 2.B DEFINICIÓN Y TIPOS DE CONTAMINACIÓN

### Efluentes domésticos e industriales

#### **Efluente doméstico**

Los efluentes domésticos son aguas residuales generadas en los hogares, que incluyen aguas de baños, cocinas y otros usos domésticos. Estos efluentes contienen una variedad de sustancias contaminantes, como grasas, detergentes, restos de comida, productos químicos y microorganismos patógenos.

La gestión adecuada de los efluentes domésticos es crucial para prevenir la contaminación del medio ambiente y proteger la salud pública.

#### **Efluente Industrial**

Son las descargas residuales derivadas de los vertidos originados por distintos usos del agua industrial, como pueden ser aguas de purgas de circuitos cerrados o semicerrados de la refrigeración, de producción de vapor, de recirculación de aguas de proceso, aguas de condensados, limpieza de equipos, entre otros. La composición de los efluentes varía con el tipo de industria y el proceso que se lleva a cabo.

## 2.B DEFINICIÓN Y TIPOS DE CONTAMINACIÓN

### Compuestos contaminantes del agua

Entre las principales sustancias contaminantes que se tomarán obligatoriamente en consideración para fijar valores límite de emisiones a las aguas se encuentran:

- ❖ Compuestos órgano halogenados y sustancias que puedan generarlos en el medio acuático
- ❖ Sustancias y preparados cuyas propiedades cancerígenas, o mutagénicas, puedan afectar a la reproducción en el medio acuático
- ❖ Hidrocarburos persistentes y sustancias orgánicas tóxicas persistentes y bioacumulables
- ❖ Cianuros
- ❖ Biocidas y productos fitosanitarios
- ❖ Sustancias que ejercen una influencia desfavorable sobre el balance de oxígeno (computables mediante parámetros agregados tales como DBO, DQO)

## 2.B DEFINICIÓN Y TIPOS DE CONTAMINACIÓN

### Alteraciones químicas

#### **Sustancias químicas inorgánicas**

Como son los ácidos, sales y metales tóxicos. En concentraciones elevadas pueden causar graves daños en los seres vivos, bajo rendimiento de las producciones agrícolas y corrosión en los equipos de trabajo.

#### **Compuestos orgánicos**

Como el petróleo, la gasolina, los plásticos, los plaguicidas, etc. Son sustancias que pueden permanecer largos periodos de tiempo en el agua, al ser difíciles de degradar por los microorganismos.

## 2.B DEFINICIÓN Y TIPOS DE CONTAMINACIÓN

### Incidencia de la temperatura

#### Contaminación térmica

Es provocada por las centrales de energía u otras industrias que liberan agua a altas temperaturas, pudiendo disminuir la capacidad de mantener oxígeno afectando gravemente a los organismos acuáticos.



## 2.B DEFINICIÓN Y TIPOS DE CONTAMINACIÓN

### Efectos de la contaminación del agua

Los efectos que la contaminación química del agua produce son múltiples; entre los más importantes cabe destacar:

1. Acción tóxica y cancerígena
2. Incidencia sobre la producción de alimentos
3. Limitación del uso del agua con fines recreativos
4. Reducción de las posibilidades de su uso industrial y agropecuario.

Los riesgos que siguen a la contaminación del agua son difíciles de precisar, ya que muchas veces las dosis tóxicas sobre las cuales se trabaja son muy pequeñas, y el problema aún se complica más por la presencia simultánea de diversos contaminantes.

## 2.B DEFINICIÓN Y TIPOS DE CONTAMINACIÓN

### El agua como vehículo transmisor de enfermedades

El agua contaminada y el saneamiento deficiente contribuyen a la transmisión de enfermedades como el cólera, otras enfermedades diarreicas, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea y la poliomielitis.

Si no hay servicios de agua y saneamiento, o si estos son insuficientes o están gestionados de forma inapropiada, la población se expone a riesgos para su salud que, en realidad, se pueden prevenir.

Esta prevención se podría conseguir especialmente en los establecimientos de salud sin servicios de suministro de agua, saneamiento e higiene, donde tanto pacientes como profesionales corren más riesgo de contraer infecciones y enfermedades.

## 2.B DEFINICIÓN Y TIPOS DE CONTAMINACIÓN

### Organismos patógenos

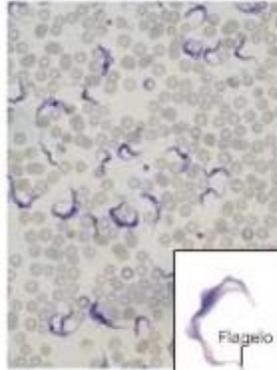
#### ***Protozoos:***

- El tamaño y forma varia ampliamente de 1  $\mu\text{m}$  hasta 2000 $\mu\text{m}$  de diámetro.
- Sobreviven en condiciones adversas.
- Producen graves enfermedades como la malaria y la enfermedad del sueño.
- Actúan como predadores de bacterias, se les encuentra en muchas instalaciones de depuradoras de aguas residuales tales como los procesos de fangos activos y filtros percoladores.

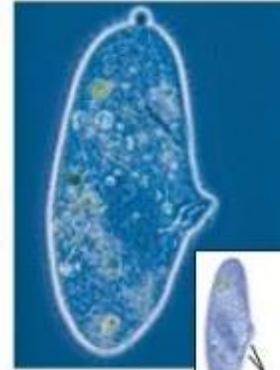
## 2.B DEFINICIÓN Y TIPOS DE CONTAMINACIÓN



Cuatro grupos de protozoos



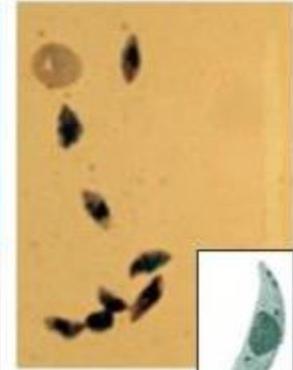
**Flagelados.**  
Se mueven mediante flagelos. Unos son de vida libre, y otros, parásitos. El tripanosoma causa la enfermedad del sueño.



**Ciliados.**  
Se mueven mediante cilios. Unos son de vida libre, y otros, parásitos. El paramecio tiene dos núcleos y forma ovalada.



**Rizópodos.**  
Se desplazan mediante prolongaciones del citoplasma llamadas pseudópodos. Hay parásitos y de vida libre, como la ameba.



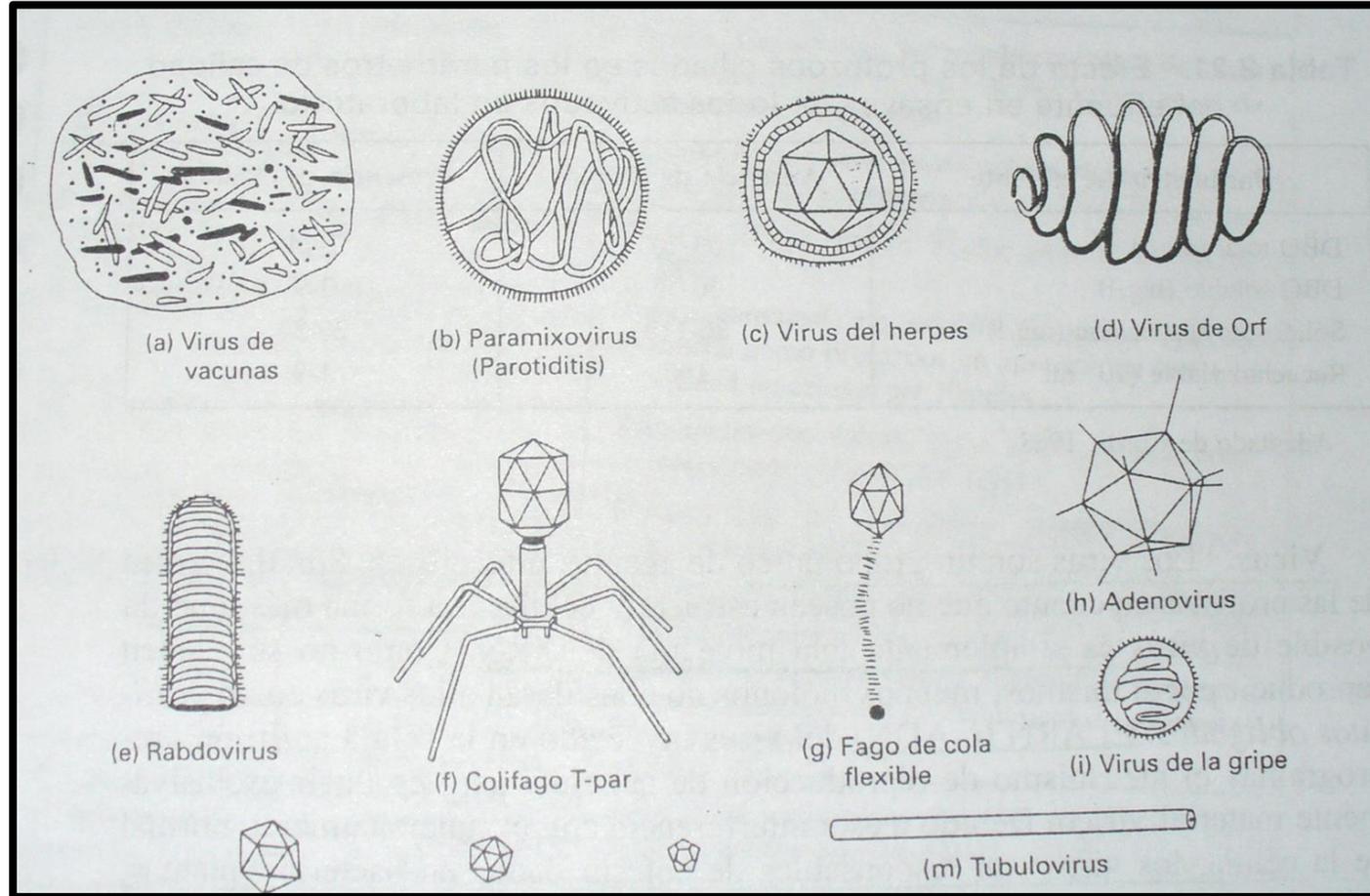
**Esporozoos.**  
Son inmóviles, carecen de apéndices locomotores. Son todos parásitos. El *Toxoplasma gondii* causa la toxoplasmosis.

## 2.B DEFINICIÓN Y TIPOS DE CONTAMINACIÓN

### *Virus*

- Son un grupo único de agentes infecciosos.
- La forma mas sencilla del virus es una molécula de ADN.
- Son responsables de enfermedades en bacterias –plantas-animales-humanos.
- Son extremadamente pequeños entre 5 y 10 nm de diámetro y 800 nm de largo.
- El ciclo de vida de los virus consiste en tres etapas entrada a la célula-se reproduce-y se libera.
- En los procesos de desinfección los virus generalmente necesitan mayores dosis de desinfectantes y tiempos de desinfección mas largos para una inactivación completa.
- Son suficientemente pequeños para pasar a través de los filtros de arena.
- En EE.UU. la eliminación del virus de los afluentes de aguas residuales se lleva a cabo utilizando cloro y mas recientemente luz ultravioleta.

## 2.B DEFINICIÓN Y TIPOS DE CONTAMINACIÓN



## 2.B DEFINICIÓN Y TIPOS DE CONTAMINACIÓN

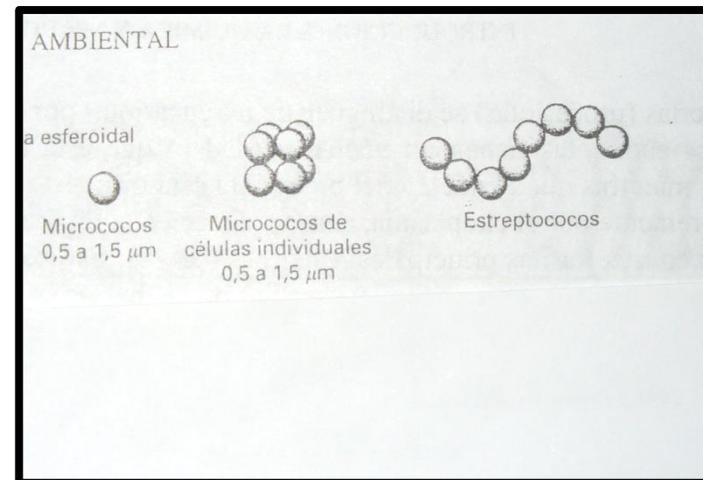
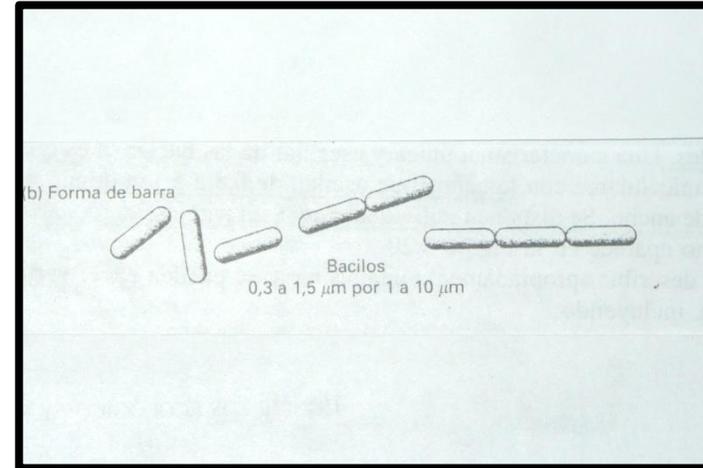
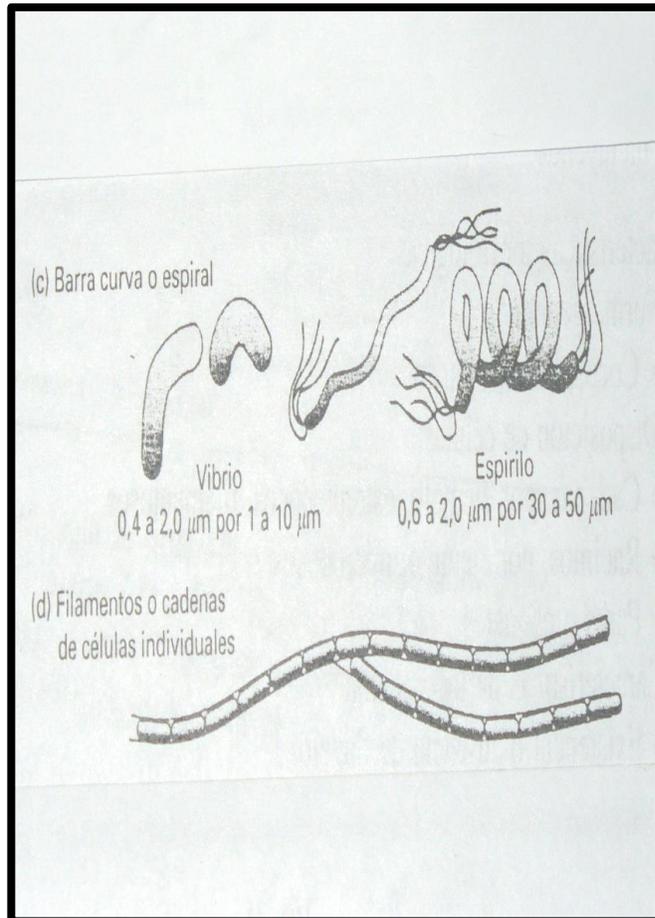
### *Bacterias*

- Son organismos dominantes en el tratamiento biológico de aguas residuales y en muchos sistemas ecológicos, incluyendo también las aguas corrientes y estancadas, en suelos y también en la atmosfera .
- Tamaño que oscilan de 0,5 a 5 micras de largo y 0,3 a 1,5 micras de ancho
- Para describir apropiadamente a las bacterias se pueden hacer varias especificaciones incluyendo:

## 2.B DEFINICIÓN Y TIPOS DE CONTAMINACIÓN

<b>CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS</b>	<b>FORMA GENERAL</b>	<b>COCOS, BARRA, ESPIRILLO</b>
	<b>DISPOSICION DE CELULAS</b>	<b>CADENAS, RACIMOS , PARES O PAQUETES</b>
<b>CARACTERISTICAS FISIOLÓGICAS</b>	<b>COMPATIBILIDAD CON EL OXIGENO</b>	<b>AEROBIAS. ES DECIR EN PRESENCIA DEL OXIGENO</b> <b>ANAEROBIAS :ES DECIR CRECEN EN AUSENCIA DE OXIGENO</b> <b>FACULTATIVAS: AEROBIAS/ANAEROBIAS ES DECIR EN LAS DOS CONDICIONES</b> <b>OBLIGADAS AEROBIAS/ANAEOBIAS: CRECEN EN ALGUNA DE LAS DOS CONDICIONES</b>

## 2.B DEFINICIÓN Y TIPOS DE CONTAMINACIÓN



## 2.B DEFINICIÓN Y TIPOS DE CONTAMINACIÓN

### Concepto de DBO y de DQO

- **DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)** : Se utiliza para medir la cantidad de materia orgánica biodegradable en el cual se mide la cantidad de oxígeno que consume una población microbiana en crecimiento para convertir (oxidar) la materia orgánica en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  en un sistema cerrado
- **DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)**: Es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar químicamente las sustancias orgánicas presentes

## 2.B DEFINICIÓN Y TIPOS DE CONTAMINACIÓN

### Mediciones en agua

La medición analítica de la polución se hace atendiendo a los procesos que suministran la química, la física, la bacteriología y la biología, aplicados al agua.

**Considerar los efluentes de distintas procedencias e incluso un determinado efluente, en el tiempo, desde un punto de vista único, aplicando a todos los mismos parámetros para medir el grado de polución es un error muy grande que no se debe nunca cometer.**

**Los índices de polución deben ser elegidos en cada caso, de acuerdo con el origen del agua y de los posibles vertidos que soportó, no olvidando el destino que se le vaya a dar.**

En general, al aplicar los métodos analíticos, se ha adoptado la costumbre de considerar a los componentes inorgánicos menos significativos que los orgánicos, lo cual en cierto modo es variado, ya que aquellos alteran menos la composición del agua desde el punto de vista sanitario, criterio que en la mayoría de los casos tiene prioridad.

Se han considerado como índices fundamentales para medir la calidad de las aguas, los siguientes:

## 2.B DEFINICIÓN Y TIPOS DE CONTAMINACIÓN

- Concentración de oxígeno disuelto
- Concentración de materia oxidable por vía biológica (DBO)
- Concentración de amonio
- Salinidad
- Temperatura
- Bacterias nocivas

Se ve pues, que a estos índices habría que añadir otro a fin de poder hacer un diagnóstico exacto del estado del agua que se desea estudiar. Por ejemplo, la concentración de materia oxidable por vía química (DQO), carbono total, nitritos, turbiedad, pH, etc.

El criterio a seguir para escoger en cada caso un índice u otro lo da fundamentalmente la experiencia de acuerdo con la procedencia de las contaminaciones y el destino que se vaya a dar al agua. Hay que advertir que ningún índice único es satisfactorio, y que en cada caso debe procurarse determinar el mayor número de ellos posible

## 2.B DEFINICIÓN Y TIPOS DE CONTAMINACIÓN

### Determinaciones a realizar para el estudio de un río

#### EN CAMPO

Temperatura del agua y del aire (°C)

pH

Amonio (mg/l)

Nitritos (mg/l)

Oxígeno Disuelto (mg/l)

#### EN LABORATORIO

Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

Materia en suspensión (mg/l)

Materia decantable (mg/l)

Grasas

Nitratos (mg/l)

Fosfatos (mg/l)

Detergentes

Concentración de materia orgánica oxidable por vía química (DQO) (mg/l)

Concentración de materia orgánica oxidable por vía biológica (DBO) (mg/l)

Bacterias nocivas NMP

Estudios biológicos

- **FUNDAMENTOS AMBIENTALES EN INGENIERÍA**

## **2C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA**

## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

### Residuos en cauces

La escasez de agua dulce de buena calidad se acentúa en el mundo y es una realidad que afecta a Mendoza.

En Mendoza se retiran más de 140 kilos de basura por metro cuadrado por año en la provincia.



## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

Como puede verse, este tipo de obstrucciones impide que el cauce cumpla su función de canalización y drenaje de las aguas, provocando anegamientos e inundaciones.

La cantidad de basura que se estanca a diario en los cauces afecta gravemente a la calidad del agua porque la contamina. Es decir que se produce una contaminación del agua que luego directa o indirectamente la consumimos a través del agua potable o de los productos alimenticios que se han regado con esta calidad de agua.



## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

### Pasivos ambientales

#### *Definición*

Son el conjunto de daños ambientales, en términos de contaminación del agua, del suelo, del aire, del deterioro de los recursos naturales y de los ecosistemas producidos por cualquier tipo de actividad pública o privada, durante su funcionamiento ordinario o por hechos imprevistos a lo largo de su historia, que constituyen un riesgo permanente y/o potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad, y que haya sido abandonado por el responsable.



## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

### Clasificación de los lagos

Una de las clasificaciones más utilizadas para los [lagos](#) es la que se basa en su origen. De esta manera pueden distinguirse: **glaciares, tectónicos, volcánicos, cársticos, de llanura, costeros, de barrera, relictos y artificiales.**

#### **Lagos glaciares: de circo, de valle o morrénicos**

Los lagos glaciares se dividen en: lagos de circo, si ocupan los circos excavados por los glaciares, como muchos de los lagos pirenaicos, lagos de valle si rellenan valles excavados por la acción abrasiva de los [glaciares](#), como algunos lagos suizos (el de Zurich y el de Lucerna), lagos morrénicos, si la cuenca se formó en los sedimentos glaciares.



## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

### ***Lagos tectónicos***

Los lagos tectónicos ocupan depresiones generadas por fenómenos relacionados con el movimiento (fallas, sistemas de fallas, cabalgamientos) y con la deformación (pliegues) de las [rocas](#) y de los estratos rocosos, como los lagos Niasa y Tanganyica en África oriental.

### ***Lagos volcánicos***

Los lagos volcánicos se originan por la acumulación de [agua](#) en antiguos cráteres o calderas de [volcanes](#) inactivos o extintos, como es el caso de los lagos italianos de Bolsena y Braciano.

### ***Lagos cársticos***

Los lagos cársticos se encuentran en cavidades subterráneas o en áreas superficiales deprimidas producidas por la acción química de disolución que ejercer el agua sobre las rocas calcáreas o sobre los yesos.

## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

### ***Lagos de llanura***

Los lagos de llanura se forman en zonas incluso de poca depresión en las cuales el agua de manantiales procedente de aguas subterráneas o por desbordamiento de un río que, saliéndose del propio lecho, invade los terrenos de alrededor. En general, estos lagos, así como los cársticos, no son muy grandes ni profundos.

### ***Lagos costeros***

Los lagos costeros se forman como consecuencia del aislamiento de agua marina debido a la presencia de bancos de arena próximos a la costa (el mar Menor en Murcia).

### ***Lagos de barrera***

Los lagos de barrera son causados por desprendimientos, depósitos fluviales o glaciares, coladas de lava que cierran un valle o un tramo de valle.

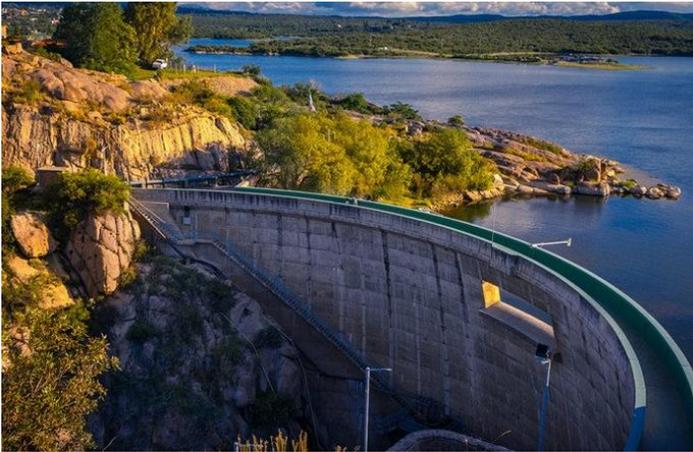
### ***Lagos relictos***

Los lagos relictos son antiguas cuencas marinas hoy día aisladas en el interior de continentes (mar Caspio).

## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

### *Lagos artificiales*

Los lagos artificiales deben su origen a barreras creadas por el propio hombre (diques) con fines industriales o para la recogida de agua potable para uso agrícola o doméstico.



## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

### Contaminación de lagos y ríos

Se dice que existe un problema de contaminación, cuando uno o más usos del agua se ven afectados.

Los usos más comunes del agua son:

- ❖ Consumo humano e industrial
- ❖ Recreativo de contacto directo
- ❖ Recreativo de contacto indirecto
- ❖ Pesca comercial
- ❖ Irrigación
- ❖ Bebida de ganado, etc.

En base a esta definición, se deben establecer parámetros y criterios estándares de calidad de agua para cada uno de los usos, para saber cuando se está frente a un problema de contaminación.

## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

### Zonas de degradación de un río

En los mecanismos naturales de autodepuración de un río se distinguen cuatro zonas según su contaminación y fase de depuración:

- ❖ **Zona de degradación próxima al vertido.**
- ❖ **Zona de descomposición activa.**
- ❖ **Zona es la de recuperación.**
- ❖ **Zona de aguas limpias.**

## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

**Zona de degradación próxima al vertido:** Desaparecen las formas de vida más delicadas; algunos peces y algas, y aparecen otras más resistentes. El aspecto del agua es sucio, disminuye el contenido en oxígeno y aumenta la DQO. Comienza la degradación por parte de la flora microbiana.

**Zona de descomposición activa:** aparecen aguas sucias, ennegrecidas, con espumas, y malolientes. Existe una descomposición anaerobia que provoca un desprendimiento de gases.

## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

**Zona de recuperación:** Reaparecen los vegetales y el agua se clarifica. Todo ello debido a la presencia de oxígeno disuelto o procedente de la actividad fotosintética de los vegetales, que ayuda a degradar los compuestos contaminantes.

**Zona de aguas limpias:** Se dan las características físico-químicas y la presencia de animales y vegetales acorde con la naturaleza del cauce.

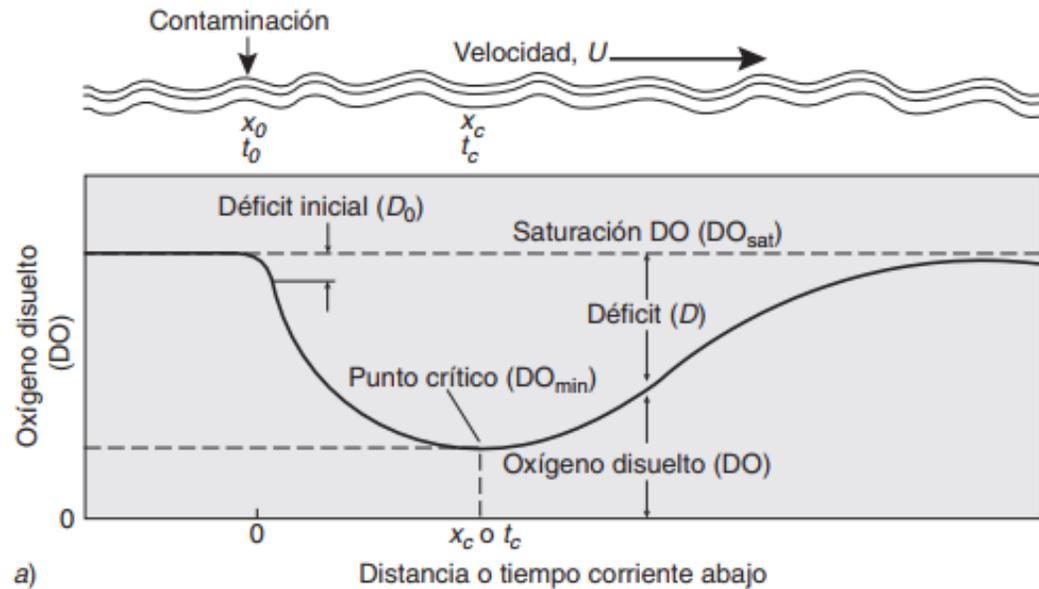
## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

### Curvas características

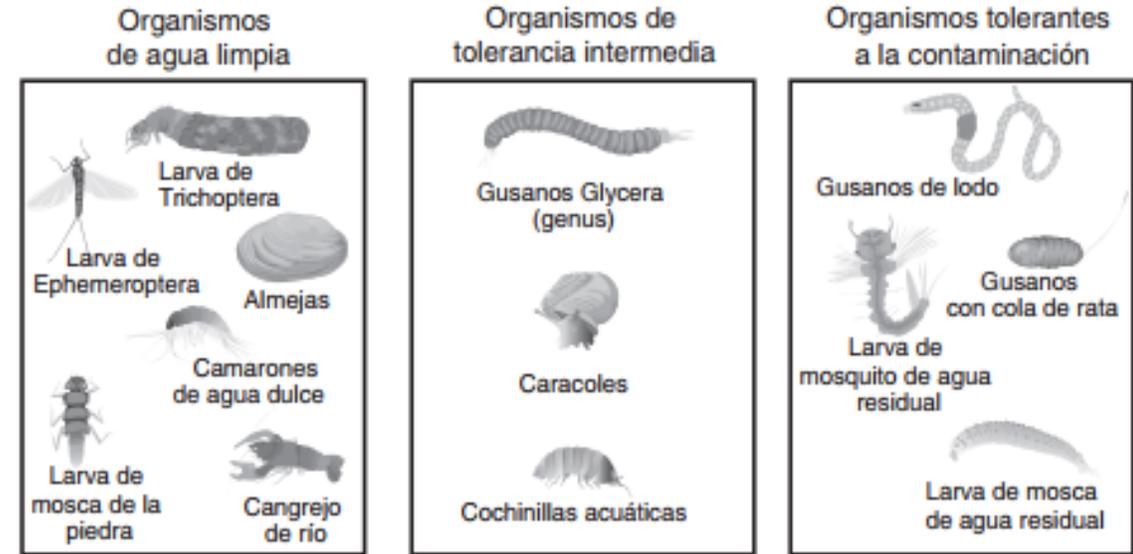
El oxígeno disuelto se requiere para mantener una comunidad balanceada de organismos en lagos, ríos y el océano. Cuando un desperdicio demandante de oxígeno (medido como DBO) se añade al agua, la velocidad a la que el oxígeno es consumido al oxidar dicho desperdicio (desoxigenación) puede exceder la velocidad a la que el oxígeno se vuelve a suplir desde la atmósfera (reaereación). Esto puede llevar al agotamiento de los recursos de oxígeno, con concentraciones muy por debajo de los niveles de saturación.

Cuando los niveles de oxígeno caen por debajo de los 4 a 5 mg O<sub>2</sub>/l, la reproducción de los peces y los macroinvertebrados es desproporcionada. El agotamiento del oxígeno con frecuencia es lo suficientemente severo como para desarrollar condiciones anaeróbicas, con una pérdida de asistencia de biodiversidad y estética pobre (turbidez y problemas de olor).

## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA



a)



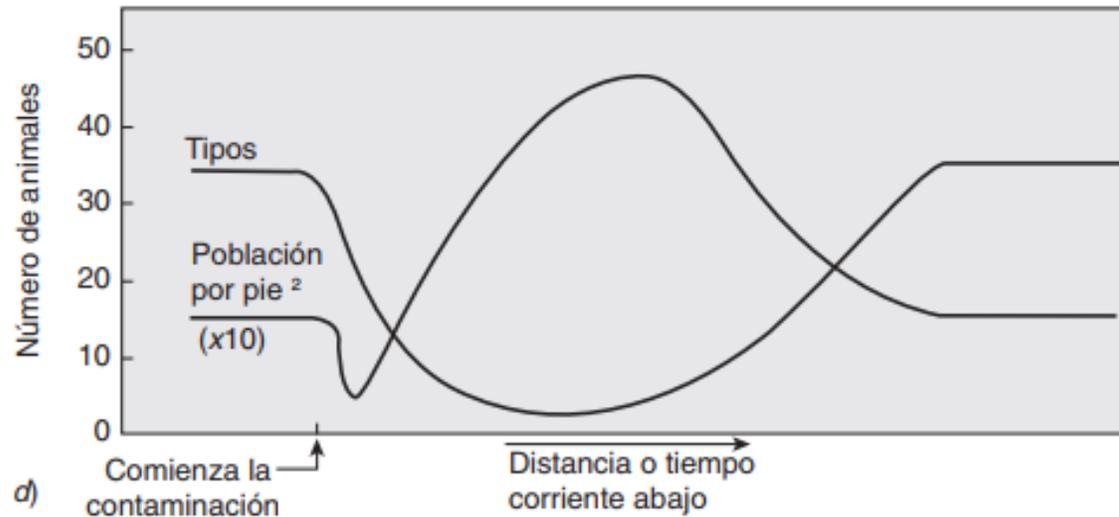
b)

Curva de hundimiento de oxígeno disuelto a) y las zonas asociadas de calidad del agua ((b)-(d)) reflejando los impactos en las condiciones físicas y la diversidad y abundancia de organismos.

## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

Zonas de flujo					
	Agua limpia	Degradación	Daño	Recuperación	Agua limpia
Condición física	Agua limpia, sin lodo en el fondo	Sólidos flotantes; lodo en el fondo	Agua turbia; gases malolientes; lodo en el fondo	Agua turbia; lodo en el fondo	Agua limpia, sin lodo en el fondo
Especies de peces	Juego de aguas frío o tibio y peces forrajeros; trucha, lubina	Peces tolerantes a la contaminación; carpas, pez aguja, búfalo	Ninguna	Peces tolerantes a la contaminación; carpa, pez aguja, búfalo	Juego de aguas frío o tibio y peces forrajeros; trucha, lubina
Invertebrado bentónico	Agua limpia	Tolerancia intermedia	Tolerante a la contaminación	Tolerancia intermedia	Agua limpia

c)



d)

## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

### Eutrofización, concepto

El fósforo (P) en general se considera como el nutriente limitante del crecimiento de plantas en los ambientes de aguas frescas. Debido a que los minerales de fósforo naturalmente ocurrentes son escasamente solubles, **las entradas antropogénicas pueden afectar en forma dramática la velocidad de crecimiento de algas y macrófitos y la producción de materia orgánica.** La tabla muestra cómo los lagos pueden clasificarse en tres grupos de acuerdo con su estado trófico: **oligotrófico, mesotrófico y eutrófico.**

#### Clasificación de cuerpos de agua basada en sus estados tróficos

Oligotrófico	Pobres de nutrientes; bajos niveles de algas, macrófitos y materia orgánica; buena transparencia; oxígeno abundante.
Eutrófico	Rico en nutrientes; altos niveles de algas, macrófitos y materia orgánica; pobre transparencia; con frecuencia con agotamiento de oxígeno en el hipolimnion.
Mesotrófico	Zona intermedia; con frecuencia con abundante vida de peces debido a sus elevados niveles de producción de materia orgánica y provisión adecuada de oxígeno.

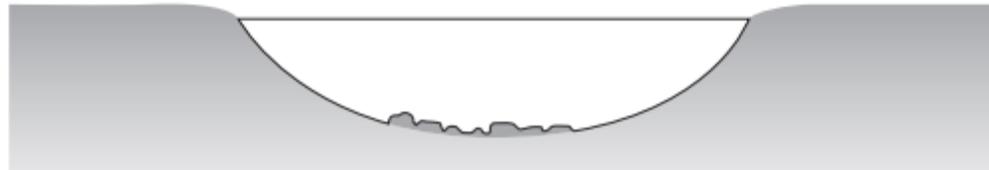
## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

El proceso de enriquecimiento de nutrientes de un cuerpo de agua, con incrementos en la materia orgánica, se llama **eutrofización**. Esto se considera como un proceso de envejecimiento natural en los lagos. La figura muestra la sucesión de cuerpos de agua recientemente formados hacia la tierra seca.

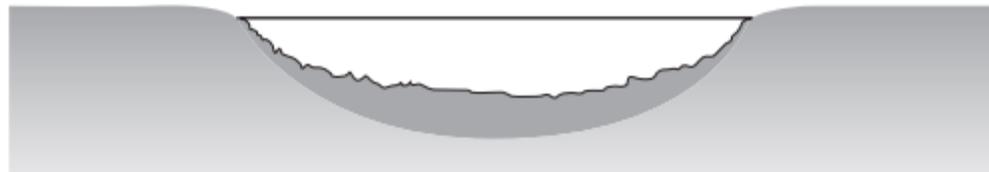
La adición de fósforo a través de actividades humanas y el envejecimiento resultante del lago son llamadas **eutrofización cultural**.

La variación en el uso de suelo y la densidad de población puede llevar a un rango de estados tróficos dentro de una región dada, por ejemplo, del oligotrófico Lago Superior al eutrófico Lago Erie.

## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA



a) Lago formado recientemente (oligotrófico)



b) Lago maduro (mesotrófico-eutrófico)



c) Pradera/humedal



d) Tierra seca

**Sucesión natural en los lagos** Un concepto de sucesión natural en los lagos sugiere que estos sistemas pasan a través de una serie de etapas al tiempo que se enriquecen con los nutrientes y la materia orgánica y finalmente transformados a tierra seca. La velocidad de envejecimiento del lago está importantemente influenciado por las condiciones meteorológicas locales, la profundidad del lago y el tamaño y fertilidad de la cuenca del drenaje.

## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

### Estratificación térmica

Una gran diferencia entre los lagos y los ríos yace en los medios de transporte de masas. Los ríos están completamente mezclados, mientras que en las latitudes templadas, los lagos se someten a estratificación térmica, dividiendo el sistema en capas y restringiendo el transporte de masas. Los periodos de estratificación se alternan a un máximo con periodos de mezcla total con transporte de masas. La restricción de transporte de masas durante la estratificación influye en el ciclo de muchas especies químicas (como hierro, oxígeno y fósforo) y puede tener efectos profundos sobre la calidad del agua.

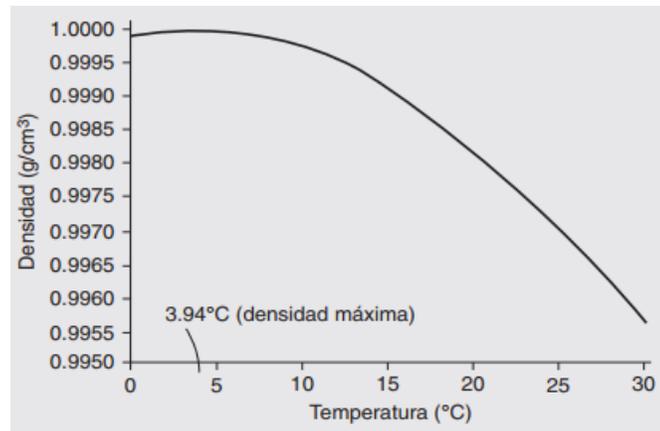
**El proceso de estratificación térmica se lleva a cabo por la relación entre la temperatura del agua y la densidad.** La densidad máxima del agua se da a  $3.94^{\circ}$  C. Entonces el hielo flota y los lagos se congelan de arriba hacia abajo, en vez de abajo hacia arriba, como lo harían si su máxima densidad fuera a los  $0^{\circ}$  C. (Considere las implicaciones de la situación opuesta.)

Durante la estratificación del verano, una capa superior de agua tibia, menos densa, flota sobre una capa de agua fría, más densa

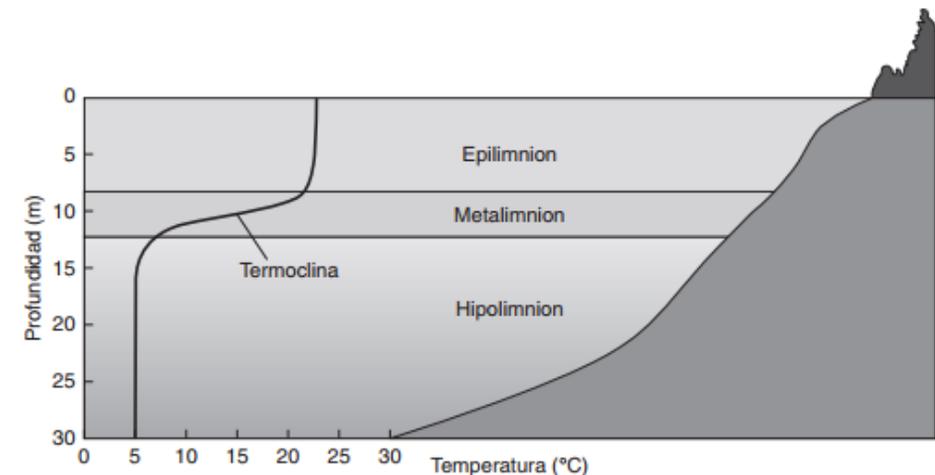
## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

A las capas se les asignan tres nombres como se muestra en la figura:

- 1) el **epilimnion**, una capa superficial tibia, bien mezclada
- 2) el **metalimnion**, una región de transición en donde la temperatura cambia al menos  $1^{\circ}\text{C}$  con cada metro de profundidad y
- 3) el **hipolimnion**, una capa de fondo fría bien mezclada. El plano en el metalimnion en donde la gradiente de temperatura-profundidad está más empinada se llama termoclina.



**Densidad máxima del agua** La densidad máxima se da a los  $3.94^{\circ}\text{C}$ . Por lo tanto, el agua a aproximadamente  $4^{\circ}\text{C}$  se encontrará por debajo de las aguas más frías (hielo a  $0^{\circ}\text{C}$ ) en el invierno y las más calientes ( $20^{\circ}\text{C}$ ) en el verano.



**Perfil de temperatura de mitad de verano para un lago estratificado térmicamente** Advierta el epilimnion, el metalimnion (con una termoclina) y el hipolimnion.

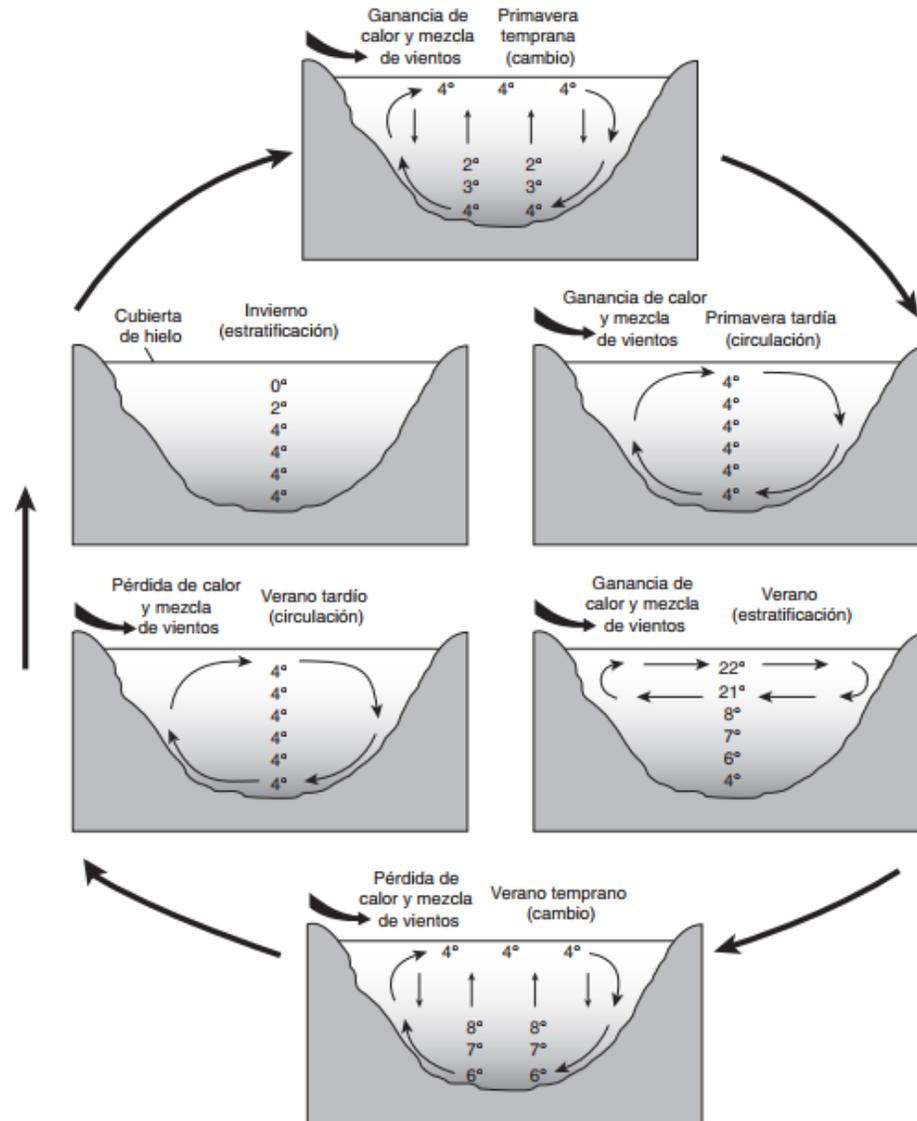
## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

Los procesos de estratificación y desestratificación (mezcla) siguen un patrón estacional predecible como se muestra en la figura. En el invierno, el lago es térmicamente estratificado con agua fría ( $\sim 0^{\circ}\text{C}$ ) cerca de la superficie y con aguas más calientes ( $2^{\circ}\text{C}$  a  $4^{\circ}\text{C}$ ) y densas cerca del fondo. A medida que la superficie se calienta hacia los  $4^{\circ}\text{C}$  en la primavera, se hacen más densas y se sumergen, sacando a las aguas más frías a la superficie para que se calienten.

El proceso de mezclado por convección, ayudado por la energía del viento, hace circular la columna de agua, llevándola a una condición isotérmica llamada **cambio de primavera**. A medida que las aguas del lago comienzan a calentarse por arriba de los  $4^{\circ}\text{C}$ , el lago se estratifica térmicamente. Las aguas superficiales son significativamente más calientes y menos densas que las aguas más bajas durante la **estratificación de verano**.

En el otoño se reduce el ingreso solar y se pierde el calor del lago más rápidamente de lo que se gana. A medida que las aguas superficiales se enfrían, se hacen más densas, se hunden y promueven la circulación a través de la convección, ayudadas por el viento. Este fenómeno, llamado **cambio de otoño**, otra vez lleva a condiciones isotérmicas. Finalmente, a medida que el lago se enfría más, las aguas frías de baja densidad se reúnen en la superficie, y el lago reingresa a la **estratificación de invierno**.

## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA



**Ciclo anual de estratificación, cambio y circulación en lagos y reservas templados** La variación en las condiciones meteorológicas (temperatura, velocidad del viento) pueden causar una variación significativa al tiempo y extensión de estos eventos.

## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

### Afectación de las reservas subterráneas por actividades y usos

Los **contaminantes de las aguas subterráneas** se originan de una amplia variedad de fuentes naturales y antropogénicas. La tabla siguiente detalla fuentes de contaminación, las cuales exhiben diferentes características de área y de temporada. Por ejemplo, los patógenos liberados de un tanque séptico pueden originarse en un área pequeña, mientras que las aplicaciones de pesticidas pueden involucrar más de 1.000 km<sup>2</sup>.

Las liberaciones de contaminantes pueden suceder en un lapso corto, como las asociadas con un vertido químico sencillo, esencialmente instantáneo, o en un lapso más grande (incluso décadas) como la fuga de desperdicios químicos mal almacenados. El conocimiento de la extensión de área y de temporada de la liberación de un químico es requerido en el diseño de los planes de remediación y las medidas preventivas.

## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

### Fuentes seleccionadas de contaminación de aguas subterráneas

Tanques sépticos	Fuga de tanques de almacenamiento subterráneo
Actividades de agricultura	Actividades industriales
Rellenos sanitarios: doméstico y peligroso	Actividades mineras
Derrames químicos	Extracción de petróleo
Disposición inapropiada de desperdicio peligroso	Cuidado del césped doméstico

## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

Los contaminantes del agua subterránea incluyen químicos inorgánicos patógenos de ocurrencia natural (por ejemplo, arsénico), radionucleidos (por ejemplo, uranio) y químicos inorgánicos antropogénicos (por ejemplo, nitratos y metales) y orgánicos (pesticidas, solventes y productos petroleros). Los patógenos se originan usualmente de tanques sépticos diseñados o mantenidos inapropiadamente. La contaminación por radionucleidos, aunque algunas veces se asocia con la composición mineral de materiales acuíferos, se asocia con más frecuencia con las instalaciones de procesos nucleares. Los nutrientes (por ejemplo, nitrato) y los pesticidas se asocian con actividades de agricultura y de cuidado del césped. Los químicos orgánicos pueden originarse de derrames químicos, disposición inapropiada de desperdicios peligrosos, fuga de tanques de almacenamiento subterráneo y actividades industriales.

## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

### Destino y transporte de los contaminantes en el agua subterránea

Los contaminantes del agua subterránea son transportados mediante dos procesos: advección y dispersión. La **advección** sucede cuando el contaminante es transportado con el flujo en volumen, esto es, agua subterránea en movimiento. Ya que el movimiento en la subsuperficie puede darse en las tres dimensiones simultáneamente y puede cambiar en tiempo y espacio, la predicción de transporte advectivo puede ser complicada. Sin embargo, en un sistema simple de una sola dimensión en donde el flujo del agua subterránea es constante en el tiempo y el espacio, el tiempo de viaje de un contaminante en una longitud determinada puede estimarse como:

$$t = \frac{L}{v}$$

## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

en donde  $t$  es el tiempo de transporte (días),  $L$  es la longitud (m) y  $v$  es la velocidad (intersticial o de filtración) del poro (m/día).

La *descarga específica* es el rango del flujo del agua subterránea por unidad de área transversal del acuífero (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-día o m/día). La descarga específica está relacionada con la *conductividad hidráulica* ( $K$ , m<sup>3</sup>/m-día) y el *gradiente hidráulico* ( $dh/dx$ , sin dimensión) por la **ley de Darcy**. Advierta, sin embargo, que estos términos expresan el flujo normalizado del agua subterránea hacia la sección transversal completa, esto es, debido al espacio de los poros y el material sólido. Debido a que el flujo de hecho sucede sólo a través del espacio poroso, la porosidad debe ser acomodada en el cálculo de la velocidad del transporte del agua subterránea. Esto se hace al normalizar descargas específicas y la ley de Darcy para la porosidad del acuífero ( $n$ , sin dimensión):

$$v = \frac{q}{n} = -\frac{K}{n} \frac{dh}{dx}$$

Debido a que  $0 < n < 1$ , la velocidad porosa siempre será más grande que la descarga específica

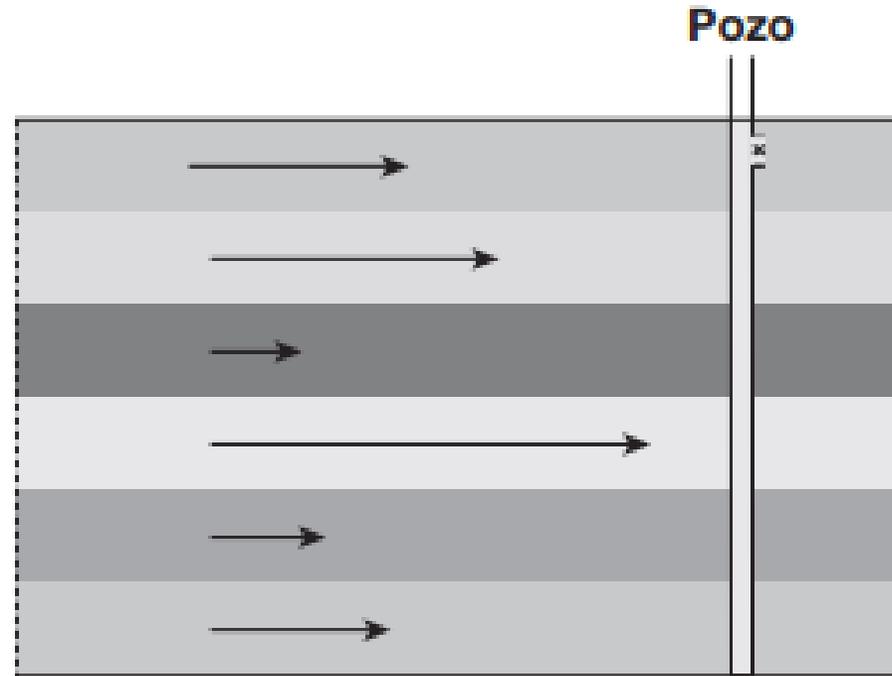
## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

Los contaminantes tienden a esparcirse o mezclarse (dispersarse) según sean advectados con el flujo del agua subterránea, haciéndose más diluibles y ocupando un volumen cada vez más grande. Este segundo proceso de transporte, la **dispersión**, resulta de los efectos de dos mecanismos: difusión y mezcla mecánica. La difusión es llevada a cabo por gradientes de concentración, mientras que la mezcla mecánica resulta de interacciones con la matriz sólida del acuífero. La contribución de mezcla mecánica a la dispersión domina la de la difusión excepto a velocidades porosas bajas (por ejemplo, en acuíferos con conductividad hidráulica baja).

## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

Las variaciones en la velocidad porosa son causadas por la mezcla de fenómenos que ocurren en un amplio rango de escalas de longitud. Las diferencias de velocidad en la escala de poros resultan de la fricción con el medio sólido, un efecto manifestado en un grado diferente en posiciones diferentes en la sección transversal. Las diferencias de velocidad en la escala porosa también están influenciadas por las vías de flujo en que las moléculas viajan mientras migran a través del medio acuífero. En la escala acuífera, la figura 8.15 muestra cómo las variaciones en la velocidad son provocadas por diferencias en la conductividad eléctrica resultante en la llegada de contaminantes a una ubicación particular en tiempos diferentes.

## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA



**Procesos de dispersión de escala acuífera que suceden en las aguas subterráneas** El sombreado en las capas indica el valor relativo de la conductividad hidráulica y las sombras más claras indican valores más altos. La longitud de las flechas indica la velocidad relativa de aguas subterráneas en cada capa.

## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

Los contaminantes del agua subterránea rara vez se comportan conservativamente, ya que pueden ser degradados por microorganismos o reacciones químicas en el acuífero. Los rangos de reacción varían ampliamente en los sistemas de aguas subterráneas y dependen de muchos factores como la naturaleza del químico de interés y la biogeoquímica del acuífero. En el caso de reacciones microbianas mediadas, las velocidades están influidas por los tipos y abundancia de los microorganismos presentes, las propiedades químicas del contaminante y las concentraciones de donadores y receptores de electrones (para las reacciones redox), nutrientes y fuentes de energía. En muchos casos, las reacciones de los contaminantes son benéficas, reduciendo los niveles de contaminantes. Sin embargo, en algunos casos (especialmente en los solventes clorados), los productos de la reacción pueden ser al menos tan tóxicas como los químicos orgánicos originalmente liberados. Los contaminantes pueden también interactuar con los materiales sólidos en el acuífero a través de la absorción.

## 2.C CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

Si se supone que las interacciones químicas-sólidas están en equilibrio, los efectos de absorción se pueden cuantificar a través del **coeficiente de retardo ( $R_f$ )**:

$$R_f = 1 + \frac{\rho_b}{\eta} K_p$$

en donde  $K_p$  es el coeficiente de partición de agua-tierra (L/kg o  $\text{cm}^3/\text{mg}$ ),  $\eta$  es la porosidad (sin unidades) y  $\rho_b$  es la densidad aparente del material acuífero ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ).

Como el término lo implica, el coeficiente de retardo refleja la desaceleración aparente de la migración química debido a la absorción. Si el factor de retardo es igual a diez, la velocidad promedio del químico sería diez veces más lenta que la velocidad promedio de las aguas subterráneas. El cálculo del tiempo de transportación puede ser modificado como sigue para contar la sorción química:

$$\begin{aligned} \text{no sorción química (conservadora): } & t = \frac{L}{v} \\ \text{sorción química: } & t = \frac{L}{v} \times R_f \end{aligned}$$

- **FUNDAMENTOS AMBIENTALES EN INGENIERÍA**

**FIN**

**MUCHAS GRACIAS POR SU  
ATENCIÓN**