Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

CURSO DE CONTAMINACION

CODIGO DE MATERIA: FMAR-01818

Versión.0

TERCERA PARTE

Profesor: José V. Chang Gómez, Ing. M.Sc.
E mail: jvchang@espol.edu.ec

Guayaquil – Ecuador

Contaminación del agua

La contaminación del agua es la introducción de material químico, físico o biológico en un cuerpo de agua (ríos, lagos, océanos) que degrada la calidad del agua y afecta a los organismos vivos tanto que viven en ella, pudiendo causar daños irreparables en su hábitat, como también a los que la consumen.

Este proceso varía desde una descarga de sólidos suspendidos o disueltos hasta el vertido de contaminantes tóxicos persistentes como pesticidas, metales pesados, compuestos químicos no degradables y bioacumulativos.

El agua en ambientes naturales (1)

Las aguas naturales generalmente no tienen calidad satisfactoria para el consumo humano o industrial, por lo que deben ser tratadas.

El agua dulce cruda se extrae de los ríos, lagos u origen subterráneo y se trata hasta los estándares aceptables para el consumo humano o las necesidades industriales.

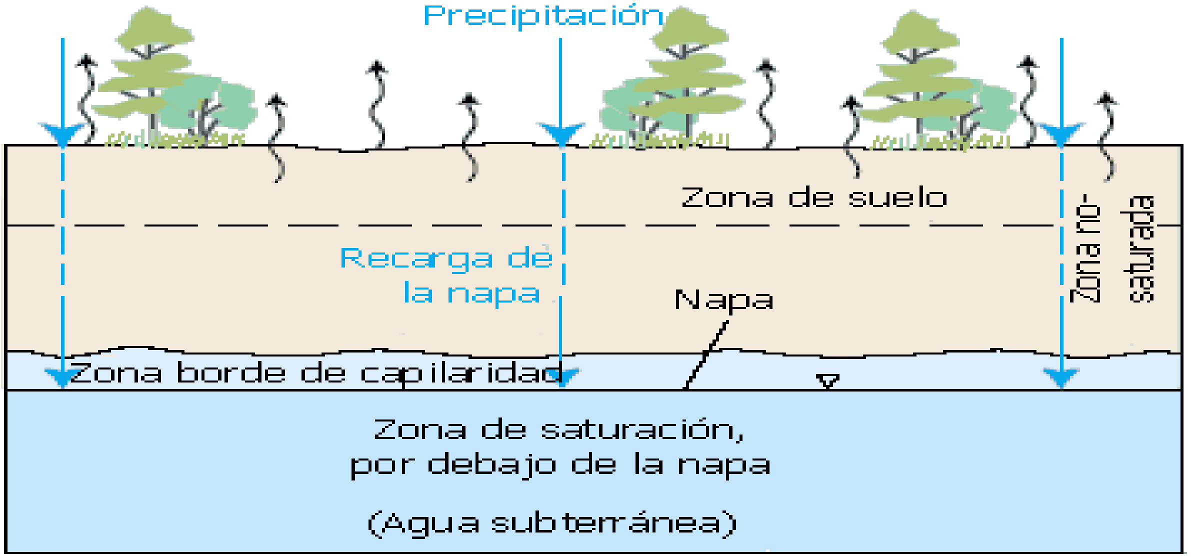
En el continente europeo se utiliza ampliamente el agua subterránea.

En Ecuador se explotan tanto aguas superficiales como subterráneas, especialmente en zonas rurales.

El agua en ambientes naturales (2)

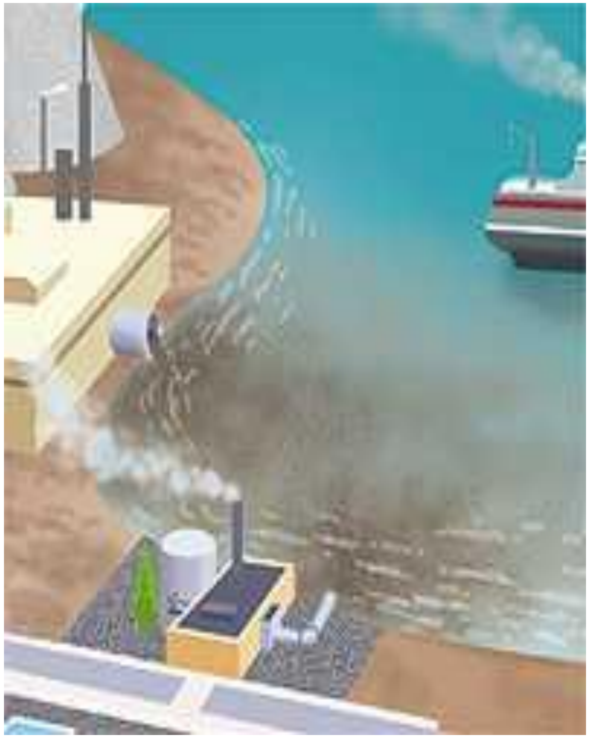
Algunas fuentes de aguas subterráneas, ríos o lagos de montaña pueden ser relativamente puras y necesitar poco tratamiento. En contraste, cuando se utiliza este recurso en zonas aguas abajo de zonas urbanas, industriales o agrícolas, puede ser necesario un tratamiento intensivo.

En la práctica, los suministros de agua se someten a alguna forma de tratamiento, cuyo grado depende de la calidad del suministro del agua natural.

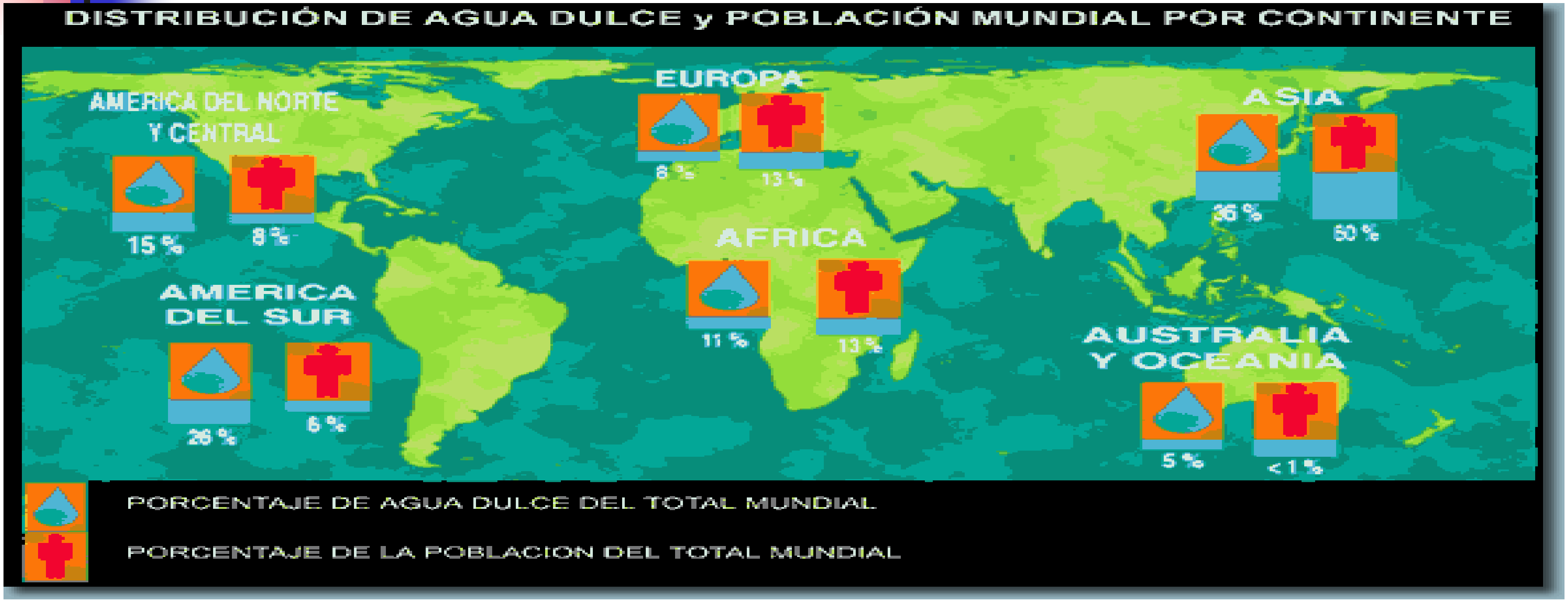


Ejemplo de contaminación de agua envenenamiento por mercurio

- Uno de los daños más significativos a la salud humana como resultado de la contaminación del agua ocurrió cuando las personas de la Bahía de Minimata, en Japón, fueron expuestas a especies marinas contaminadas por mercurio pescadas cerca a la costa.
- El mercurio había sido descargado en el agua por una industria local.
- La contaminación no fue detectada sino hasta que un alarmante número de niños nació con anormalidades físicas.



Mapa de distribución del agua a escala mundial


DISTRIBUCIÓN DE AGUA DULCE y POBLACIÓN MUNDIAL POR CONTINENTE

Continente	Población (%)	Distribución Agua (%)
Asia	60	36
Europa	13	8
África	13	13
América del Sur	6	28
América del Norte y Central	8	15

Distribución del agua

- El agua cubre cerca del 71 % de la superficie del planeta Tierra, la mayor parte es salobre y una parte muy pequeña es agua dulce.
- Contribuye a mantener el clima en la Tierra, disuelve a una gran cantidad de sustancias, que pueden llegar a ser contaminantes, y es esencial para las formas de vida conocidas.
- El agua disponible se encuentra principalmente formando parte de los océanos (97%). Del total sólo el 3 % (36 millones de km3) es agua dulce, y de ésta cerca del 75% forma el hielo de los casquetes polares.
- De las aguas que fluyen en los continentes, cerca del 0.63 % (8 millones de km3) se encuentran en lagos, ríos y lagunas, y el 0.2 % flota en la atmósfera.
- Se considera que el agua es un recurso renovable porque se recicla y se renueva continuamente mediante el ciclo hidrológico del agua.

Ciclo hidrológico del agua

El ciclo del agua describe la presencia y el movimiento del agua en la Tierra y sobre ella. Esta agua siempre está en movimiento y constantemente cambia de estado, desde líquido, a vapor, a hielo, y viceversa.

El ciclo del agua ha estado ocurriendo por billones de años, y la vida sobre la Tierra depende de él; sino sería un sitio inhóspito si el ciclo del agua no tuviese lugar.

Al año se evaporan aproximadamente 500 000 km3 de agua, lo que da un valor medio de 980 l/m2 o mm., sin embargo su distribución es irregular, especialmente en los continentes.

Como en la atmósfera permanecen constantemente sólo 12 000 km3, quiere decir que la misma cantidad de 500 000 km3 que se ha evaporado vuelve a caer en forma de precipitaciones a lo largo del año.

En zonas desérticas llueve menos de 200 mm. (Península de Santa Elena - Salinas: 250-300 mm.) y en algunas zonas de montaña llueve 6000 mm. o más (Puerto Quito - Oriente ecuatoriano).

Diagrama del ciclo hidrológico

Reciclaje natural del agua

- Se considera que el agua es un recurso renovable porque se recicla y se renueva continuamente mediante el ciclo hidrológico del agua.
- El ser humano se preocupa por hacerla disponible y aprovechable con tratamientos para eliminar los contaminantes que se arrojan. Sin embargo existe desperdicio y contaminación de este vital recurso renovable.
- La Hidrología es el estudio de la circulación del agua en la naturaleza.
- Abarca los aspectos físicos del llamado Ciclo Hidrológico, desde la evaporación de los mares por el movimiento de la humedad atmosférica, que controla:
    1. El tiempo,
    2. Las estadísticas de precipitación,
    3. Recolección y escurrimiento de agua de lluvia de los arroyos y ríos

Permanencia de una molécula de agua en el ciclo hidrológico

- Los tiempos medios de permanencia van a tener una gran influencia en la persistencia de la contaminación en los ecosistemas acuáticos.
- Si se contamina un río, al cabo de pocos días o semanas puede quedar limpio, por el propio arrastre de los contaminantes hacia el mar, en donde se diluirán en grandes cantidades de agua. Pero si se contamina un acuífero subterráneo el problema persistirá durante decenas o cientos de años.

en la atmósfera	9-10 días
en los ríos	12-20 días
en lagos	1-100 años
en acuíferos subterráneos	300 años
en océanos	3 000 años

El agua en el cuerpo humano

- La sangre está formada por una proporción de aproximadamente nueve partes de agua.
    - Los músculos tienen, en promedio, un 75 % de agua,
    - El hígado un 69 % de agua y
    - Los riñones pueden llegar a tener hasta un 82 % de agua.
    - Incluso en los huesos se llega a tener hasta un 22 % de agua.
- En general, el cuerpo humano contiene en promedio un 71 % de agua, la cual se expele en forma de vapor como producto del proceso de respiración (combustión lenta), y también se evapora a través de la superficie de la piel de nuestro cuerpo, y toda esa agua se necesita reponer para seguir viviendo.

Hechos y cifras globales (1)

- El suministro de agua no alcanza a cubrir la creciente demanda, la que aumenta a tasas no sostenibles.
- Durante los próximos 20 años el promedio de suministro de agua a escala mundial, se pronostica que disminuya a 1/3 por persona.
- Para el año 2050, al menos 2 billones en 48 países sufrirán de escasez de agua. Un litro de agua residual contamina alrededor de 8 litros de agua limpia.
- Existe un estimado de 12,000 km^3 de agua contaminada alrededor del mundo, el cual es mayor de la cantidad total de agua contenida en las 10 más grandes cuencas hidrográficas en un momento dado.
- Si la contaminación crece con el ritmo del aumento de población, el mundo perderá alrededor de 18,000 km^3 de agua dulce para el 2050, casi 9 veces lo que utilizan los países cada año para irrigación, que es la actividad que más consume el recurso.
- Los ríos asiáticos son los más contaminados en el mundo, con casi 3 veces el total de bacterias contenidas en los residuos humanos. Dichos ríos tienen 20 veces más plomo que los de países industrializados.

Hechos y cifras globales (2)

- El consumo de agua casi se ha duplicado en los últimos 50 años. Un niño nacido en países desarrollados consume entre 30 a 50 veces los recursos que uno que vive en aquellos en vías de desarrollo.
- Actualmente la gente usa más del 50% del agua dulce disponible, y aumentará a casi el 75% para el año 2025.
- Más de 1.5 billones de personas tiene dificultad de acceso a agua potable. Si la tendencia de consumo aumenta, 3.5 billones (casi el 50% de la población proyectada) vivirá en cuencas hidrográficas estresadas en los próximos 20 años.
- Los humanos se han apropiado de más del 50% del agua disponible de escorrentía, y aumentará al 70% en el 2025.
- Los 3 mayores usuarios de agua en términos globales son:
  - ☐ Agricultura: 67 %;
  - ☐ Industria : 19 %, y
  - ☐ Municipal / Residencial: 9 %.

Requerimientos de agua potable

Los suministros públicos urbanos de agua normalmente proveen servicio a:

- Viviendas domésticas,
- Servicio Público (extinción de incendios, mantenimiento de infraestructuras, riego de espacios verdes),
- Industrias,
- Comercio.

- El promedio europeo es del orden de 225 l/hab./d. En Alemania y Dinamarca el promedio es menor a 200 l/hab./d.
- De evaluaciones preliminares realizadas a estudiantes de la FIMCM de la ESPOL (Calidad de Agua y Ecología, 2004), se estableció que el rango de utilización de agua potable es de 100 a 350 l/hab./d.
- En la ciudad de Guayaquil el consumo promedio es de 6.000 litros mensuales, es decir 200 l/hab./d. (Interagua, 2005)

Factores que influyen en el consumo vital promedio

El consumo vital promedio de agua potable es de aproximadamente 1-2 l/hab./día., sin considerar los líquidos que se ingieren a través de otros alimentos.

Esta cifra varía dependiendo de:

- Hábitos de consumo,
- La época o estación del año,
- Condición económica,
- Situación geográfica,
- Disponibilidad del recurso agua.

A continuación se presenta un Cuadro con los requerimientos diarios aproximados de agua para el ser humano, en función de la edad y peso corporal de la persona.

Requerimientos diarios de agua potable: enfoque medico

Ref. www.Botanical-online.com

Edad	Cantidad aproximada necesitada por kg	Ingestión diaria
0 - 2 meses	150 ml	No necesita beber agua. La toma de la leche materna o de la preparada.
3 - 6 meses	150 ml	No se necesita beber si se sigue el amamantamiento. Algunos pediatras ya sugieren que puede ofrecerse agua en taza para que el bebe tome pequeños sorbos (La cantidad no debería superar los 56 ml cada 24 horas)
7 meses - 1 año	100 ml	Dar de beber con una taza para que el bebe chupe la que le resulte necesaria. (entre 58 y 118 ml diarios)
1 - 6 años	65 - 90 ml / kg	Sobre un litro diario o hasta 2 litros si el clima es caluroso
7 - 10 años	55 - 65 ml / kg	De litro y medio a 2 litros
11 - 18 años	40 - 50 ml/kg	Sobre 2, 2 litros diarios
Adultos y personas mayores	15 - 40 ml /kg	Entre 1,5 o 2 litros diarios

Agua potable para uso publico

Como referencia, en la tabla adjunta se presentan valores típicos de consumo de agua per cápita de acuerdo al uso en los Estados Unidos de América.

Ref.: Ingeniería de Aguas Residuales, Metcalf & Eddy, 1995, ISBN:84-481-1612-7

Caudal (l/ hab. /día)

USO	INTERVALO	MEDIA	% de Q promedio
Doméstico	150 – 490	225	36.4
Industrial	40 – 380	265	42.4
Servicio Público	20 – 75	40	6.0
Pérdidas y fugas	40 – 150	95	15.2
	250 – 1.095	625	100.0

Composición de caudales de aguas residuales

- Del agua potable que se produce en las plantas municipales, entre el 80 y 90% regresa al sistema de alcantarillado sanitario y el resto se infiltra en el suelo, o se lo utiliza para riego de áreas verdes y mantenimiento del sistema contra-incendios de las ciudades.
- Este porcentaje expresado como una fracción de la unidad (0.80 -0.90) se denomina coeficiente de retorno, y es una de las variables utilizadas en el dimensionamiento hidráulico de una red del sistema de aguas residuales.
- La composición de los caudales de aguas residuales de una comunidad depende del tipo de sistema de recogida que se emplee, y puede incluir los siguientes componentes:
  1. Agua residual doméstica (o sanitaria)
  2. Agua residual industrial
  3. Infiltración y aportaciones incontroladas (I/I)
  4. Aguas pluviales

Distribución típica de los consumos interiores en residencias

Ref.: Ingeniería de Aguas Residuales, Metcalf & Eddy, 1995, ISBN:84-481-1612-7

USO	Porcentaje del total (%)
Bañeras	8.9
Lavavajillas	3.1
Grifos	11.7
Duchas	21.2
Retretes	28.4
Pérdidas en los baños	5.5
Lavadoras	21.2
	100.0

Establecimientos comerciales: valores típicos de consumo (1)

Ref.: Ingeniería de Aguas Residuales, Metcalf & Eddy, 1995, ISBN:84-481-1612-7

			Caudal (l/unidad - día)	
Usuario		**Unidad**	**Intervalo**	**Valor típico**
Aeropuerto		Pasajero	15 - 20	15
Apartamento		Persona	380 - 760	380
Estación de servicio		Empleado	30 - 60	50
		Coche servido	380 - 760	40
Pensión		Persona	95 - 190	150
Grandes almacenes		Lavabo	1.515 - 2.270	2100
		Empleado	30 - 50	40
Hotel		Cliente	150 - 225	190
Albergue		Empleado	30 - 50	40
Motel		Inquilino	110 - 190	150
Lavandería (self-service)		Inquilino	95 - 225	150
		Lavadora	1515 - 2460	2100

Establecimientos comerciales: valores típicos de consumo (2)

Ref.: Ingeniería de Aguas Residuales, Metcalf & Eddy, 1995, ISBN:84-481-1612-7

			Caudal (l/unidad - día)	
Usuario		**Unidad**	**Intervalo**	**Valor típico**
Oficina		Empleado	30 - 75	190
Lavabos públicos		Usuario	10 - 20	55
Restaurante (incluido lavabo)		Lavado	170 - 210	15
	Convencional	Cliente	30 - 40	35
	Comida rápida	Cliente	10 - 30	20
	Bar	Cliente	5 - 15	10
		Asiento	55 - 95	75
Centro Comercial		Aparcamiento	5 - 10	8
		Empleado	30 - 50	40
Cine	Convencional	Butaca	5 - 15	10

Ejemplos de consumo doméstico de agua

Ref.: Ingeniería Ambiental, Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión, Gerard Kiely, 1999. ISBN:84-481-2149-X

Categoría	Descripción	Consumo (litros)
Doméstica	Baño	100 – 150
	Ducha por cada 5 min.	100
	Lavado de ropa	75 – 100
	Cocina	30
	Uso de cisterna	10 – 15
Industria	Automóvil (USA)	400.000
	1 Kg. De acero	250
	Periódico	500 – 1.000

Principales fuentes de contaminación del agua

- Explotaciones agrícolas y ganaderas.
- Zonas urbanas
- Zonas industriales

Clasificación de principales contaminantes del agua

Aún cuando existen diversas formas de clasificar a los principales contaminantes del agua, a continuación se presenta una clasificación que es generalmente utilizada, a saber:

1. Residuos con Requerimientos de Oxígeno Disuelto
2. Agentes Patógenos
3. Nutrientes Vegetales
4. Sustancias Inorgánicas
5. Compuestos Orgánicos
6. Residuos Sólidos Inertes
7. Materiales Radioactivos
8. Procesos Físicos

A continuación se describen los principales contaminantes del agua.

1. Residuos con requerimiento de oxigeno

El oxígeno disuelto en el agua es un parámetro fundamental a ser evaluado ya que indica la posibilidad de vida en el recurso agua.

La cantidad de oxígeno disuelto es función de la altura de la masa de agua, de la salinidad y de la temperatura.

Los residuos con requerimiento de oxigeno son sustancias orgánicas que sufren degradación bacteriana con consumo de oxigeno. Hay que tener en cuenta que en el agua también existen bacterias aerobias, por lo que si entran sustancias orgánicas estas bacterias actúan y disminuye por tanto la concentración de oxígeno. Pueden generar zonas de anoxia.

El efecto final de este contaminante va a depender de las características del vertido y de la cantidad de la masa de agua receptora (Caudal, volumen, dilución).

La disminución de la concentración de oxígeno tendrá efectos sobre la vida (stress, mortandad de peces) y sobre las características organolépticas, ya que al haber muerte hay la consiguiente putrefacción con color y olor indeseable.

2. Agentes patógenos

- Son microorganismos capaces de producir enfermedades, están asociados a vertidos fecales, sus fuentes principales son las explotaciones ganaderas, agrícolas y de zonas urbanas.
- Estos agentes patógenos entran al agua a través de microorganismos fecales que se pueden clasificar en dos grupos:
    - a) No patógenos o coliformes
    - b) Patógenos, son los que provocan enfermedades
- El vertido de estos agentes patógenos tienen un efecto inmediato, al analizar una muestra de agua se puede determinar que si no hay coliformes es que no hubo vertido o no lo hubo próximo en el tiempo.
- También hay que considerar la existencia de los esporulados, que son más resistentes que los coliformes. Si no se detectan coliformes pero sí esporulados, esto indica que ha existido vertido pero no próximo en tiempo o espacio.

3. Nutrientes vegetales

- Es la entrada en la masa de agua de sustancias que contienen elementos esenciales para la vida de los animales (C, N, P, K, S,...).
- Para efectos de contaminación se considerarán los que llevan N y P.
- La entrada de estos contaminantes es por arrastre desde los suelos y por deposición atmosférica.
- Los efectos son aumento de la vida vegetal, con el consiguiente crecimiento de la vida animal, por lo que el agua no puede soportar tanta vida; se aprecia una disminución de la concentración de oxigeno, lo que implica mortandad/putrefacción por lo que varían las características organolépticas del agua.
- Otro parámetro a controlar es la posible entrada de N, P en aguas potables, sobre todo la presencia de nitratos, ya que es cancerigeno.

4. Sustancias inorgánicas

Provienen de minas e industrias, los principales contaminantes son:

a) Vertidos de ácidos minerales: se produce una disminución del pH, que afecta a la vida, con variación en los equilibrios del agua, por lo que se pueden dar procesos de solubilización de sustancias que anteriormente estaban sedimentadas y si éstas son tóxicas producen daño. Si se usa para agua de riego, las partículas sedimentables se redisuelven, empobreciendo el suelo.

b) Vertido salino: provoca aumento de la salinidad y mortandad, debido a que los seres vivos sufren un cambio en el equilibrio osmótico que no pueden soportar. Si esta agua es para riego, puede provocar que se creen depósitos de sal que afectan a la vida de las plantas.

c) Vertido de metales tóxicos: provocan los efectos más graves sobre la masa de agua. La característica principal de los metales pesados es su gran resistencia ya que no son degradables, por tanto acumulativos en el medio como en los seres vivos, por lo que da un proceso de amplificación biológica a través de la cadena trófica. Los efectos dependen de la concentración y del grado de exposición.

5. Compuestos orgánicos (a)

Las principales fuentes contaminantes son las aguas industriales, agrícolas y urbanas que contienen:

a) **Detergentes,** como los denominados surfactantes que tienen muy difícil degradación. Al entrar en una masa de agua varía la tensión superficial del agua y conlleva una serie de efectos asociados:

- Solubilidad de determinadas sustancias contaminantes.
- Se impiden procesos naturales de depuración debido a que las bacterias se ven recubiertas de tenso activos y no pueden atacar la materia orgánica.
- Dificultad en las plantas depuradoras por lo anterior.
- Forman espumas que dificultan la depuración y reoxigenación natural de las masas de agua.
- El efecto más importante es la mortandad porque son tóxicos para los seres vivos.

5. Compuestos orgánicos (b)

b) Pesticidas, son aquellas sustancias que se usa para el control de plagas, es un grupo muy amplio y se pueden clasificar en función de su grupo químico:

- Órgano clorados, utilizados para los insecticidas, son muy tóxicos y actualmente está prohibido su uso.
- Órgano fosforados, se usan para sustituir a los órgano clorados pero son también muy tóxicos.
- Carbamatos, se usan para insecticidas, herbicidas, fungicidas, son los menos tóxicos.
- Clorofenoxiacidos, se usan como herbicidas, son tóxicos, pero sus productos de descomposición son mucho más tóxicos.

Un pesticida puede entrar en una masa de agua por:

1) Aplicación directa. 2) Arrastre por el viento. 3) Escorrentía de las tierras agrícolas. 4) Arrastre por precipitaciones. 5) Accidental.

5. Compuestos orgánicos (c)

c) Petróleo y derivados: son sustancias contaminantes, las principales fuentes son:

Proceso de lavado y lastrado de petroleros, Motores, Refinerías costeras, Extracción de petróleo en el mar, Accidentes.

Cuando hay un vertido de petróleo en agua los principales procesos que sufre una mancha son:

- ☐ Oxidación de la materia orgánica tanto por efecto de la luz como por agentes bacterianos
- ☐ Una parte se elimina por absorción de ciertos animales
- ☐ Otra parte se evapora
- ☐ Queda siempre una parte que pasa al sedimento.

Los efectos que va a producir el petróleo:

- ☐ Menor penetración de la luz, lo que incide directamente sobre la vida vegetal, hay menor cantidad de plancton, afectándose así los animales que se alimentan de él.
- ☐ Disminuye la concentración de oxígeno en agua
- ☐ Mortandad por contacto directo
- ☐ Hay toxicidad a largo plazo afectando las especies de esos ecosistemas.

6. Residuos sólidos inertes

Estos residuos están constituidos por **Sedimentos y materiales suspendidos**. Muchas partículas arrancadas del suelo y arrastradas a las aguas, junto con otros materiales en suspensión, son, en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación del agua.

La principal fuente es el arrastre de arena en las masas de agua, por vía natural o por vía antropogénica. Los principales efectos son:

- Mayor Turbidez que dificulta la vida de algunos organismos. Los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan pantanos y obstruyen canales, ríos y puertos. Una mayor turbidez, provoca menor cantidad de luz, afectando el proceso de fotosíntesis.
- A menor entrada de la luz, habrá dificultad para realizar la degradación natural.
- Menor posibilidad de la vida, debido a que el arrastre puede tapar los huevos de peces y anfibios.

7. Materiales radioactivos

Los materiales radiactivos, están asociados a fuentes mineras, centrales nucleares y sus correspondientes pruebas.

Estos contaminantes son los más tóxicos y los que tienen una vida media más grande.

Los efectos son:

- Genéticos, alteran el ADN produciendo mutaciones
- Somáticos, producen canceres de muchos tipos

Isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua y, a veces, se pueden ir acumulando a los largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua.

8. Procesos físicos: contaminación térmica

Aún cuando hay varios procesos físicos que contaminan el agua, principalmente se va a considerar la elevación de la temperatura.

Las fuentes claves van a ser industrias, zonas urbanas; se va a producir la entrada de vertidos a una temperatura mayor que la temperatura de la masa de agua.

La importancia de los efectos va a estar en función de cuanto se eleva la temperatura en función de la masa de agua, por lo que a mayor diferencia efectos más graves:

- ❑ Al elevarse la temperatura, se produce la mortandad de peces y vida vegetal.
- ❑ La vida se ve alterada ya que se pueden dar confusiones en los seres vivos, por ejemplo, los peces al ver que se eleva la temperatura del agua pueden poner los huevos pero como no es la época acabarán muriendo, es decir, se da una alteración en los ciclos vitales.
- ❑ Al aumentar la temperatura hay una degradación más rápida y por tanto una disminución de la concentración de oxigeno del agua.

Estimación de consumo de agua a partir de datos de abastecimiento

Las empresas operadoras de los sistemas de abastecimiento de agua potable de una ciudad disponen de datos de la cantidad de agua producida que ingresa a la red de distribución, así como del agua realmente utilizada.

- Es común que se **consuma** menos agua que la **suministrada** a la red.
- La diferencia entre estas 2 cifras representa la cantidad de pérdidas de agua en la red o no contabilizada en las redes de distribución.
- Para calcular los caudales de aguas residuales es necesario conocer los datos de agua consumida.
- No se debe incluir como agua consumida la que corresponde a los consumos no autorizados y las fugas, por cuanto esta agua no se recoge en la red de alcantarillado sanitario.
- A partir de datos municipales, en el ejercicio siguiente se determina el consumo, pérdidas y fugas en una red de distribución.

Características del agua potable (1)

- El agua potable no debe tener sabor ni olor extraños. Desde luego, conviene que el agua contenga cierta cantidad de sal, pues, en caso contrario, resulta insípida.
- Los límites aceptables de la temperatura del agua es de 5 a l5 °C, el agua demasiado fría puede ser perjudicial a la salud y demasiado caliente no resulta refrescante.

Condiciones bacteriológicas del agua: El agua potable de buena calidad presenta el límite admisible de 100 bacterias/cm3 de agua.

- Desde el punto de vista bacteriológico, el agua potable debe tener menos de 200 colonias bacterianas de mesofílicos aeróbicos/ml de muestra, un máximo de dos organismos coliformes totales en 100 ml de y no contener organismos coliformes fecales en 100 ml de muestra.

Potabilización del agua

Es una serie de procesos para hacer apta el agua para bebida, comprende:

- Coagulación,
- Ablandamiento,
- Eliminación de hierro y manganeso,
- Eliminación de olor y sabor,
- Sedimentación,
- Filtración,
- Control de corrosión,
- Evaporación y
- Desinfección.

Riesgo, Salud y Desechos Peligrosos (1)

Los humanos rara vez están expuestos a una sola sustancia. Las sustancias comerciales contienen impurezas, se usan en combinación y las alternativas de estilos de vida (por ejemplo, fumar, beber) pueden aumentar la exposición a mezclas de sustancias.

Cuando los humanos están expuestos a dos o más sustancias, pueden ocurrir muchos resultados. Los compuestos pueden también actuar independientemente; es decir, la exposición a sustancias adicionales no tiene un efecto observable sobre las propiedades tóxicas de una sustancia en particular.

Riesgo es la posibilidad de sufrir daño, enfermedad o muerte debido a un peligro o bajo circunstancias específicas. Puede expresarse en términos cuantitativos de probabilidad. En muchos casos el riesgo sólo puede describirse cualitativamente como alto, bajo o insignificante.

Riesgo, Salud y Desechos Peligrosos (2)

Peligro es una sustancia o acción que puede causar daño, enfermedad, pérdida económica o daño ambiental.

- **Peligros físicos:** Radiaciones ionizantes, ruido, incendios, inundaciones, sequías, tornados, huracanes, derrumbes, sismos y erupciones de volcanes.
- **Peligros químicos:** Sustancias químicas nocivas en el aire, el agua, y en los alimentos.
- **Peligros biológicos:** Bacterias y virus que causan enfermedades, polen y parásitos.
- **Peligros bio sociales:** Condiciones de vida y de trabajo, fumar, dieta, uso de drogas, manejar autos, asaltos, relación sexual insegura y pobreza.

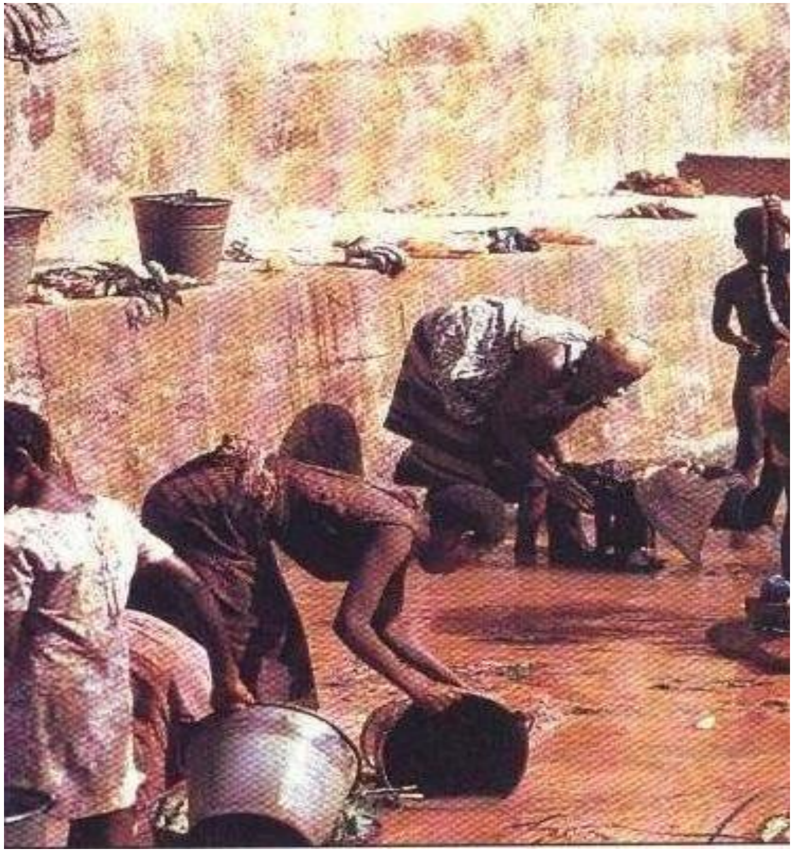
PELIGROS FÍSICOS
Contaminación por Ruido

- Efectos de Sonidos comunes

Actividad	Presión Sonido dBA	Efectos
Despegue avión jet (25m)	150	Ruptura del tímpano
Rayos, música rock viva	120	Umbral de dolor
Calle urbana bulliciosa, camión con motor diesel	90	Daño a la audición (8 h)
Lavadora de ropa, tren a 15 m, licuadora, fábrica promedio	80	Posible daño a la audición
Aspiradora, fiesta, audio del TV	70	Molesto
Conversación en restaurante, oficina promedio, música fondo	60	Turbador
Zona tranquila, conversación en sala	50	Tranquilo

RIESGOS DE SALUD

Uso de agua insegura



- Actualmente 31 países, habitados con menos del 8% de la población mundial, se ven frente a déficit crónicos de agua dulce.
- Para el año 2025 se prevé que 48 países enfrentarán estos déficit, que afectarán a más de 2.800 millones de habitantes 35% de la población mundial proyectada.
- Entre los países que probablemente se verán afectados por la escasez de agua en los próximos 25 años están Etiopía, India, Kenya, Nigeria y Perú.

RIESGO DE SALUD

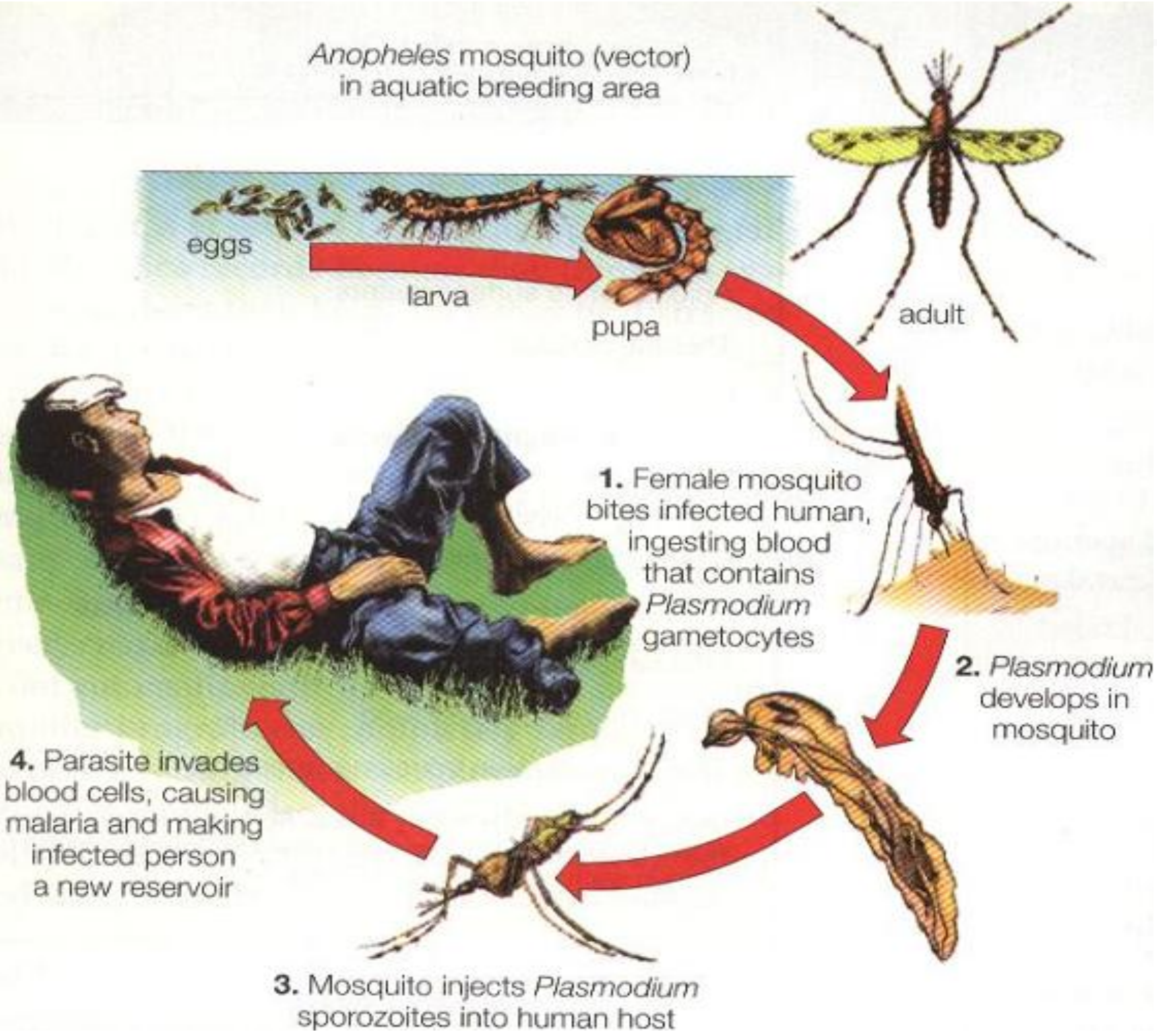
Enfermedad: Malaria

- Malaria o Paludismo es una de las causas mayores de morbilidad y mortalidad a nivel mundial, con más de 500 millones de casos al año, de los cuales 1millón son mortales.
- En el ser humano la transmisión se produce por la picadura de la hembra del mosquito *Anopheles.*
- Hay 4 especies del género *plasmodium* (el parásito causante del paludismo) que transmiten la enfermedad al ser humano: P. Vivax, P. Ovale, P. Malariae y P. Falciporum (el más mortífero)

RIESGO DE LA MALARIA

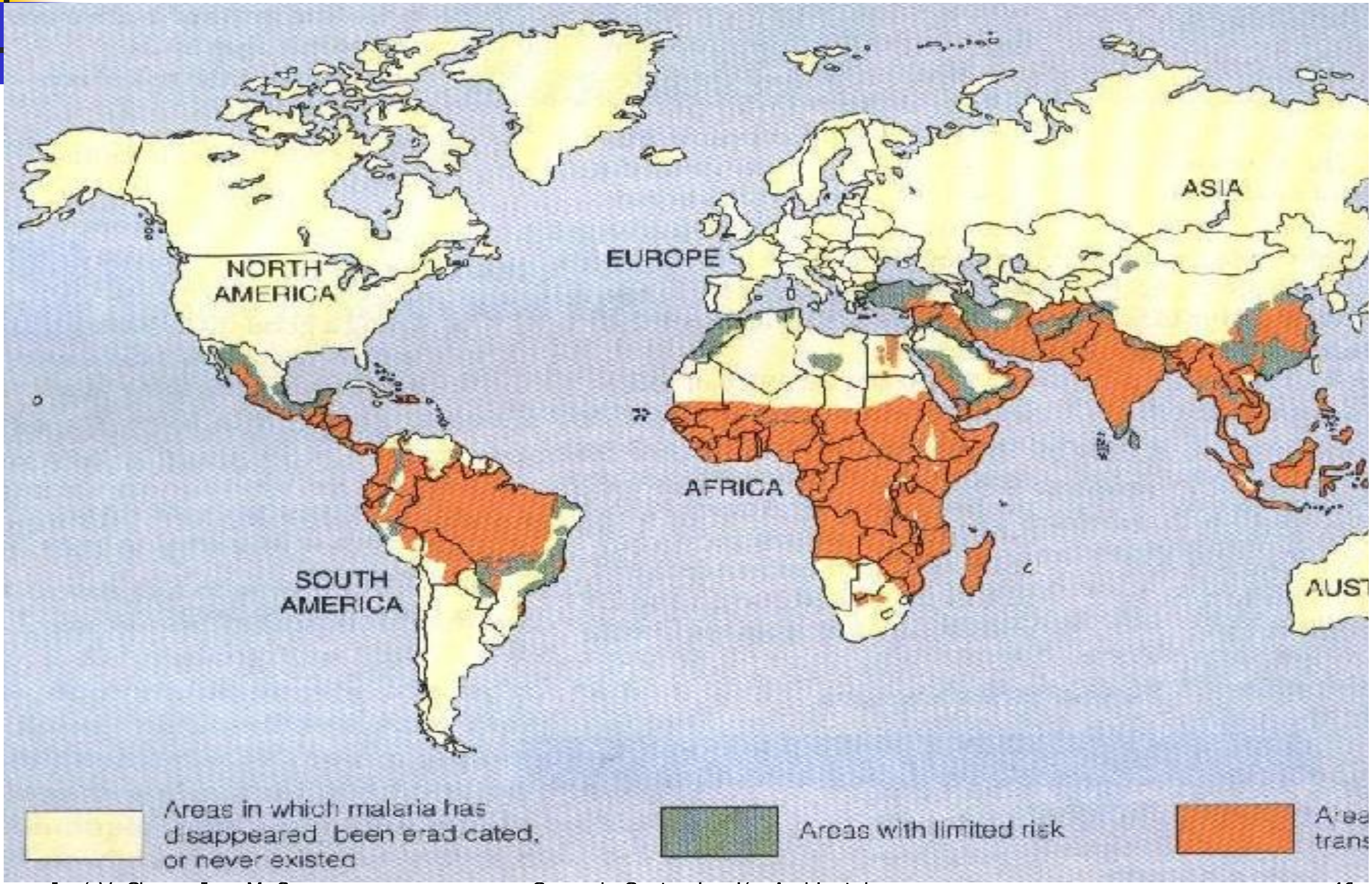
- Para visitantes a zonas tropicales, el riesgo de infección varía en función de la duración del viaje, época del año (lluvias, temperatura…), inmunidad de la población, distribución de lugares donde se crían los mosquitos y prevalencia de las distintas especies.
- El riesgo disminuye a partir de los 1.500 metros de altura, pero si se dan condiciones climáticas adecuadas se puede producir a 3.000 m.
- Los primeros síntomas en general son los siguientes:
  - Malestar general
  - Cefalea
  - Cansancio intenso (astenia)
  - Molestias abdominales
  - Dolores musculares (mialgias)
  - Fiebre y escalofríos

CICLO DE VIDA DE LA MALARIA



PAISES AFECTADOS POR MALARIA

Riesgo en aprox. 40%, OMS



DEFINICION DE EVALUACION DE RIESGO

La evaluación del riesgo es la actividad científica para valorar:

- a) las propiedades tóxicas de una sustancia y,
- b) las condiciones de exposición humana a dicha sustancia.

Tanto para cerciorarse de la posibilidad de que los expuestos tengan efectos adversos como para caracterizar la naturaleza de los efectos que puedan experimentar.

Fuente: Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos

Métodos de evaluación de Riesgos

Los métodos de evaluación de riesgos que actualmente tienen amplia difusión son los desarrollados en los Estados Unidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y por la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR).

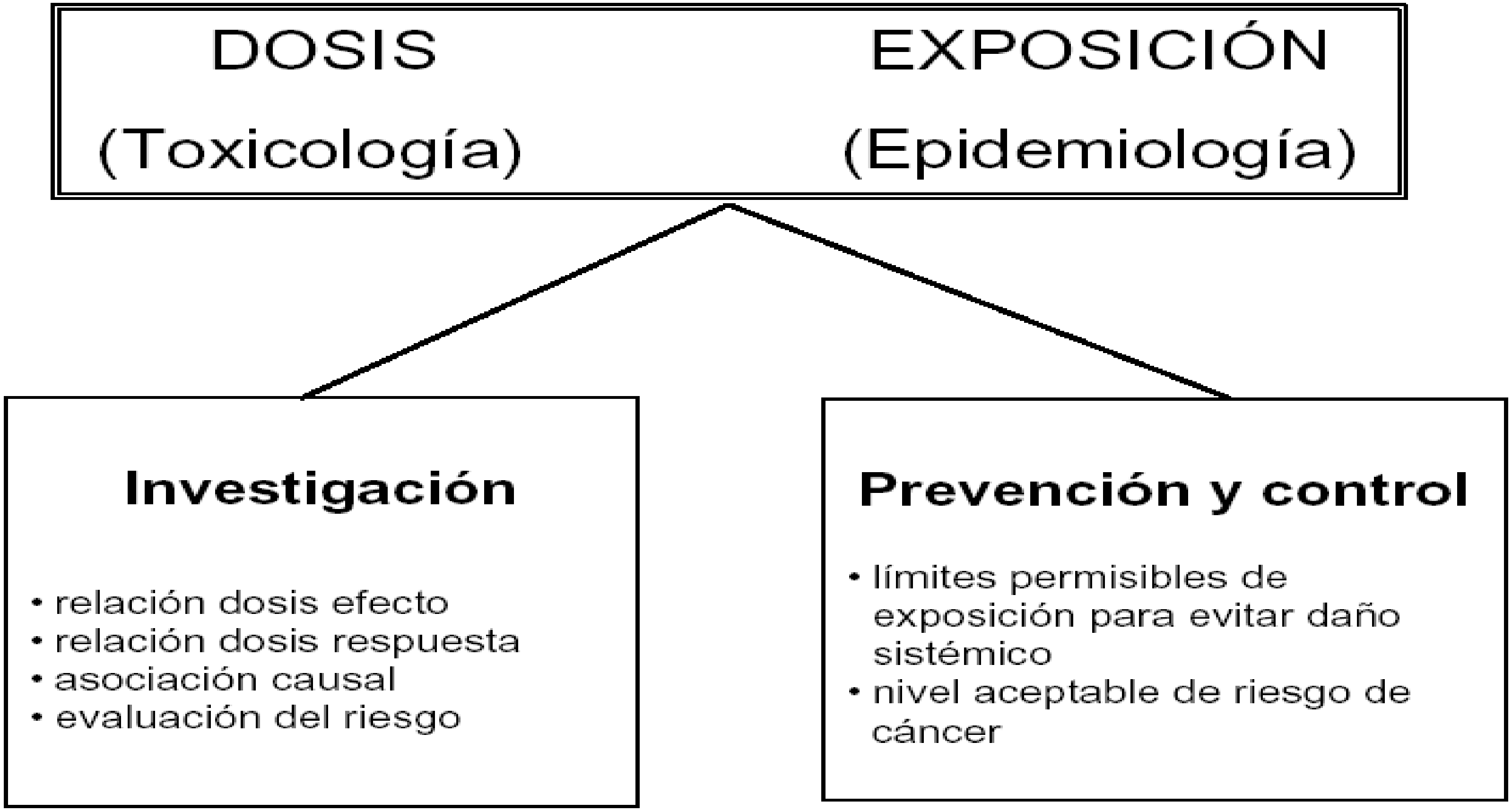
La primera desarrolla un método rigurosamente científico para evaluar el riesgo que puedan representar las sustancias en particular. La segunda desarrolló un método para evaluar una situación particular de riesgo causado por un lugar o sitio preciso que está contaminado con generalmente varias sustancias potencialmente tóxicas.

Componentes de la evaluación del riesgo según el método de la EPA

En esta metodología las principales disciplinas científicas que participan son la toxicología y la epidemiología, cuyos resultados tienen también proyecciones de importancia hacia el área del manejo de riesgos (Figura 1).

El cuadro 2 muestra las principales características de esta metodología.

Elementos científicos en la evaluación de riesgos. Figura 1



DOSIS

(Toxicología)

EXPOSICIÓN

(Epidemiología)

Investigación

- relación dosis efecto
- relación dosis respuesta
- asociación causal
- evaluación del riesgo

Prevención y control

- límites permisibles de exposición para evitar daño sistémico
- nivel aceptable de riesgo de cáncer

Fuente: G. Corey. Material didáctico. ECO/OPS, Metepec, México

Evaluación del riesgo de EPA. Cuadro 2

- ☐ Completa y detallada
- ☐ Intensiva
- ☐ Académica
- ☐ Costosa
- ☐ Orientada al compuesto
- ☐ Cuantitativa
- ☐ Hace cálculos numéricos del riesgo
- ☐ Usa modelos estadísticos y biológicos
- ☐ Se basa en datos toxicológicos y epidemiológicos
- ☐ Centrada primariamente en trabajar sobre el ambiente (dejando los aspectos de salud para otras agencias)
- ☐ Se orienta para fines de controlar riesgos y efectos adversos exagerados o no razonables
- ☐ Apunta a satisfacer exigencias normativas y estatutarias (como consecuencia de un cuerpo legal previamente desarrollado)

Evaluación del riesgo ambiental

La metodología general de evaluación de riesgo ambiental tiene cuatro elementos principales (NRC, 1994):

1. **Identificación del peligro**, para determinar, si un compuesto químico está ligado a un efecto a la salud en particular.
2. **Evaluación de la exposición**, que es el análisis del contacto entre la fuente de riesgo y el objetivo a ser evaluado.
3. **Evaluación dosis - respuesta**, establece la relación entre el grado de exposición y la probabilidad de ocurrencia de efectos a la salud, para varias de las formas de toxicidad que muestra una determinada sustancia.
4. **Caracterización del riesgo**, que es la descripción de la naturaleza y la magnitud del riesgo, surgida de la información anterior.

Proceso de evaluación del riesgo:

1. Identificación del peligro

Incluye la recolección y la evaluación de datos preferentemente de orden toxicológico, sobre los tipos de daños que en los organismos vivos pueda producir una sustancia.

También puede incluir la caracterización del comportamiento de una sustancia dentro del cuerpo humano y las interacciones que tiene con órganos, células o incluso parte de éstas.

La información de este tipo puede ser valiosa para contestar la interrogante esencial de que si las formas de toxicidad que se sabe que una sustancia produce en grupos experimentales, también pudieran producirse en humanos.

La identificación del peligro no es sinónimo de evaluación de riesgo; solo se determina si es científicamente correcto inferir que los efectos tóxicos observados en una especie ocurrirán en otras.

Proceso de evaluación del riesgo:

2. Evaluación de dosis - respuesta

Describe la relación cuantitativa entre la magnitud de la exposición a una sustancia (dosis) y el grado, frecuencia o intensidad del daño tóxico o enfermedad.

Esta relación se expresa bajo la forma de una curva dosis-respuesta (Figura 2). Los datos provienen de estudios de preferencia en animales y, menos frecuentemente, de estudios en poblaciones humanas expuestas.

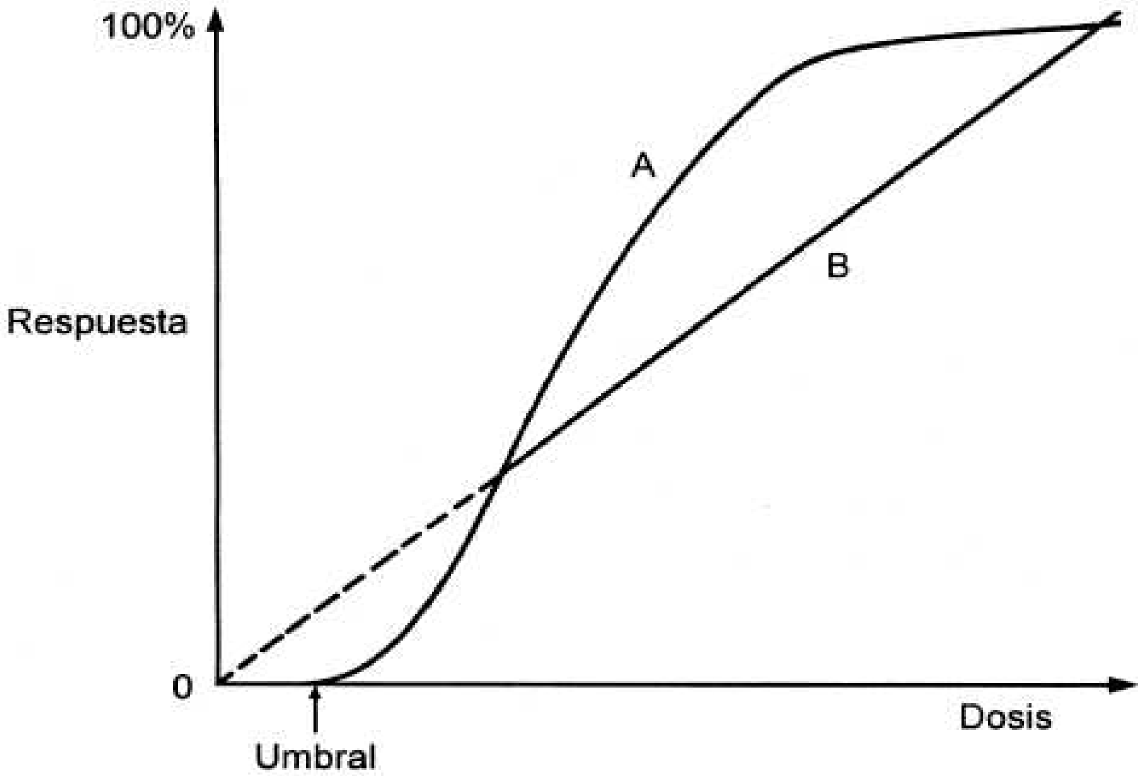
Puede haber tantas curvas diferentes de dosis-respuesta para una sustancia como diferentes efectos tóxicos adversos cause bajo condiciones distintas de exposición.

Los riesgos de una sustancia no pueden verificarse con algún grado de confianza a menos que se cuantifiquen las relaciones de dosis-respuesta, incluso si se sabe que la sustancia es "tóxica".

La curva dosis-respuesta sirve de base para establecer un nivel seguro de exposición humana que se denomina dosis de referencia (DRf) o ingreso diario admisible (IDA) (Figura 3).

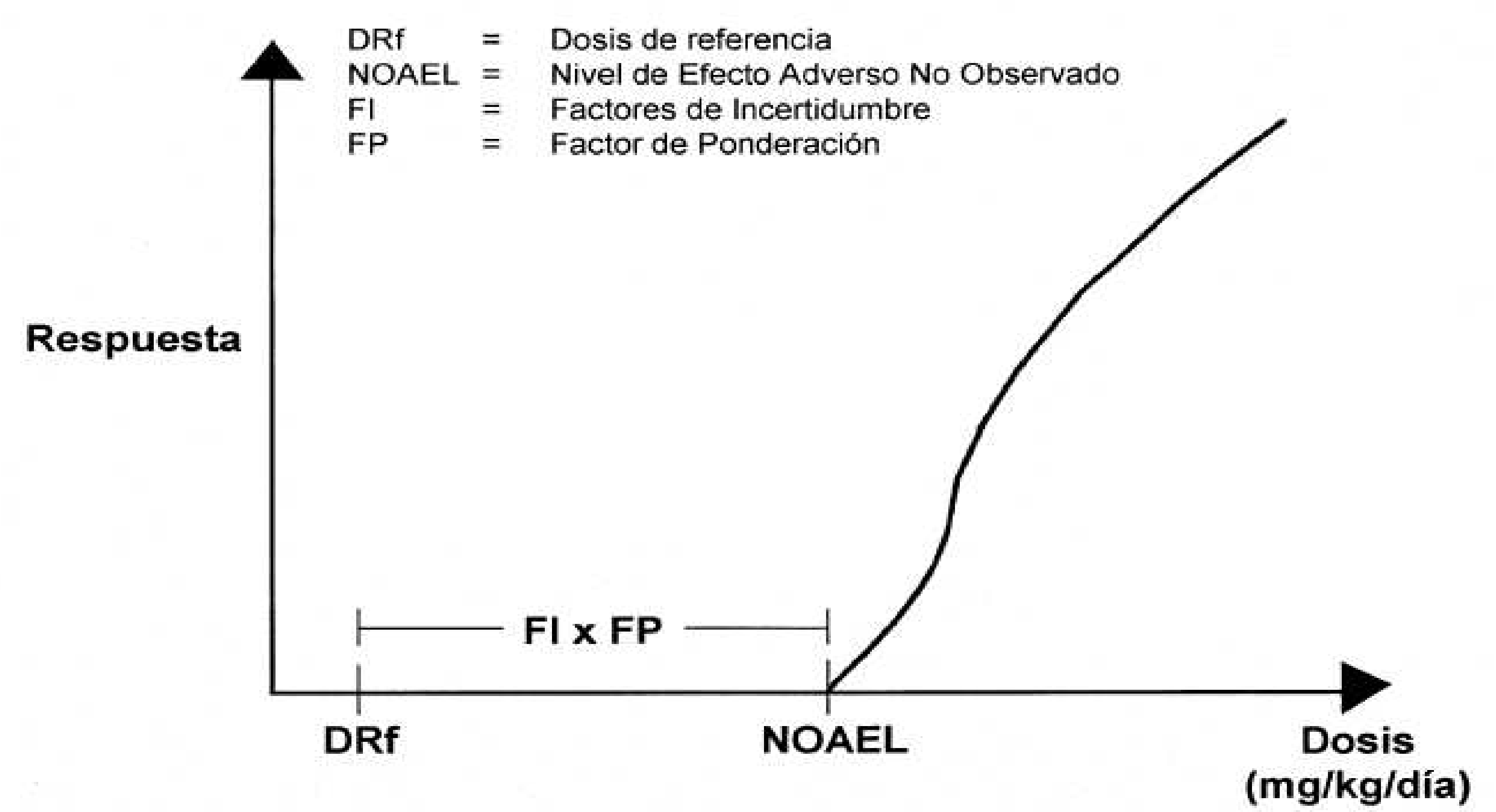
Relación dosis- respuesta. Figura 2 .

(A) agente no carcinogénico
(B) sustancia carcinogénica



Fuente: Herbert E. Stokinger (1992) Concepts of thresholds in standard setting. *Arch Environ Health* 25:155.

Dosis de referencia (Drf). Figura 3



Proceso de evaluación del riesgo:

3. Evaluación de exposición en humanos

Incluye

a) descripción de naturaleza y tamaño de la población expuesta a una sustancia,
b) magnitud y duración de su exposición,
c) así como las condiciones habituales en que se produce la exposición.

La evaluación podría considerar exposiciones pasadas o presentes, o anticipar exposiciones en el futuro. Uno de los objetivos de esta fase del proceso es determinar cuantitativamente la dosis promedio diaria que la población está regularmente recibiendo de la sustancia bajo estudio.

Los pasos a seguir en este proceso de evaluación de exposición, se muestran en Cuadro 3. La fórmula para calcular la dosis de exposición y algunos parámetros usados en ella, se muestran en Cuadro 4.

Cálculo de la exposición. Cuadro 3

1. Medición de concentraciones ambientales de la sustancia
2. Identificación de la ruta ambiental de exposición
3. Establecer duración y frecuencia del contacto humano con el medio (agua, aire, suelo) contaminado
4. Conocer la tasa de absorción para cada vía de exposición
5. Identificar por cuales vías de exposición está ocurriendo el ingreso de la sustancia
6. Asumir los valores estándares para estimar el contacto y el ingreso del medio contaminado al organismo (2 L agua/día, 23 m3 aire/día, etc.)
7. Aplicar las ecuaciones para estimar la dosis diaria

Fórmulas para cálculo de Dosis de exposición. Cuadro 4

$$\text{dosis (mg/kg/día)} = \frac{C \times TI \times TA \times DE}{PC}$$

$$\text{dosis} = \frac{C \times TI \times TA}{PC} \times \frac{DE}{PT}$$

C = concentración del contaminante en el medio (mg/m3, mg/L, mg/kg, etc).

TI = tasa de ingreso al organismo del medio contaminado (m3 aire/día, litros de agua/día, gramos de alimento/día, gramos de tierra/día.

TA = tasa de absorción, expresada en % (0,20; 0,50; etc.)

DE = duración de la exposición, en horas en caso que el cálculo sea para un día; también puede ser en días, meses, años, etc.

PC = peso corporal, en kilos.

DF = número de días en que realmente ocurrió exposición.

PT = ponderación temporal, habitualmente el total de días del período en el cual ocurrieron las exposiciones intermitentes.

Sigue ….. Valores propuestos para los parámetros de la fórmula. Cuadro 4

Ingesta de agua (litros por día):

- adultos 2
- niños 1

Ingesta de tierra/polvo (mg/diarios):

- adultos 50
- niños 50-200

Ventilación pulmonar (m3 diarios)

- adulto 21-23
- niño 10 años 15
- niño 1 año 3,8
- recién nacido 0,8

Peso corporal (kg)

- promedio adulto 70
- percentil 50 niños 1-6 años 16

Proceso de evaluación del riesgo:

4. Caracterización del riesgo

Incluye la integración y análisis de datos de los primeros 3 componentes, para determinar la posibilidad de que los humanos experimenten cualquiera de las diversas formas de toxicidad asociadas con la sustancia.

Para sustancias no carcinogénicas, la dosis calculada al evaluar la exposición se confronta con los valores de dosis de referencia o de ingreso diario admisible ya establecidos para la sustancia en particular y se concluye si el valor de dicha dosis está por debajo de la DRf o IDA (seguridad) o por encima (peligro).

Los indicadores de riesgo que de aquí se derivan se denominan "índice de peligro" y "margen de exposición" (Cuadro 5).

Caracterización del riesgo. Cuadro 5

PROPÓSITO: Caracterizar cualitativamente y/o cuantitativamente el exceso del riesgo en humanos por exposición a sustancias tóxicas.

PARA NO-CARCINÓGENOS

1. Comparar la exposición actual con IDA o DRf (índice de peligro):

$$\text{IP} = \frac{\text{exposición medida}}{\text{IDA o DRf}}$$

2. Estimar el margen de exposición (ME):

$$\text{ME} = \frac{\text{NOAEL (estudio crítico)}}{\text{exposición actual}}$$

PARA CARCINÓGENOS

1. Conocer la “ unidad de riesgo” y la “ unidad de dosis” para la sustancia.
2. Estimar el exceso de riesgo individual de por vida: Unidad de dosis x exposición actual (dosis medida)
Unidad de riesgo x concentración actual de la sustancia en el ambiente
3. Estimar el riesgo poblacional de cáncer: Riesgo individual x población expuesta

Sigue …

Proceso de evaluación del riesgo:

4. Caracterización del riesgo

Para las sustancias carcinogénicas se calcula primero el riesgo individual haciendo uso de los valores de “unidad de dosis” o de “unidad de riesgo”, que son característicos para cada sustancia carcinogénica.

El valor obtenido por alguna de estas dos opciones se multiplica por la población total expuesta para obtener así la incidencia de cáncer en exceso que se espera que ocurra como consecuencia de la exposición a la sustancia en particular (Cuadro 5 y 6).

Las principales preguntas que se hacen en cada uno de estos componentes o fases, se muestran en el Cuadro 7.

Igualmente la Figura 4 muestra la secuencia de estas fases y su relación con las acciones en el momento del manejo del riesgo.

Calculo del riesgo de cáncer. Cuadro 6

RIESGO INDIVIDUAL

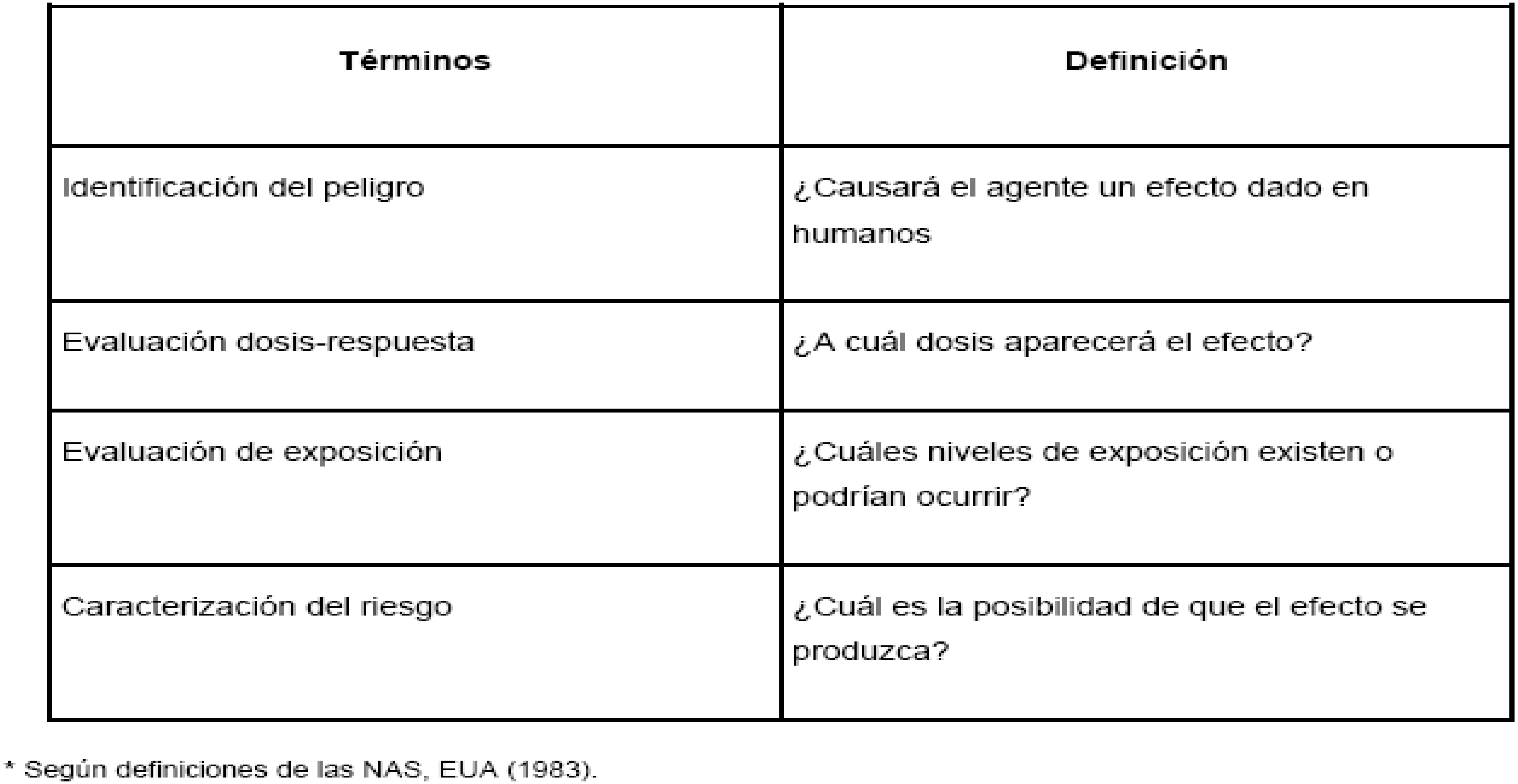
POTENCIA DE SUSTANCIA SEGÚN "UNIDAD DE DOSIS" (FPC) X DOSIS MEDIDA

POTENCIA DE SUSTANCIA SEGÚN "UNIDAD DE RIESGO" (UR) X CONCENTRACIÓN DE SUSTANCIA EN MEDIO ESPECÍFICO

RIESGO POBLACIONAL

INCIDENCIA DE CÁNCER = RIESGO INDIVIDUAL X POBLACIÓN EXPUESTA

Etapas de la evaluación del riesgo. Cuadro 7



Términos	Definición
Identificación del peligro	¿Causará el agente un efecto dado en humanos
Evaluación dosis-respuesta	¿A cuál dosis aparecerá el efecto?
Evaluación de exposición	¿Cuáles niveles de exposición existen o podrían ocurrir?
Caracterización del riesgo	¿Cuál es la posibilidad de que el efecto se produzca?

* Según definiciones de las NAS, EUA (1983).

Componentes de la evaluación del riesgo según el método ATSDR

El Cuadro 8 muestra las principales características de esta metodología.

El Cuadro 9 resume las acciones en los cinco pasos que conforman el método.

El conocer los fundamentos científicos y metodológicos de cómo evaluar los riesgos para la salud por exposición a agentes químicos, tiene utilidad cuando se tiene evidencias de que un brote puede estar causado por uno o varios agentes tóxicos ambientales, especialmente si la situación presenta una evolución prolongada.

Evaluación de riesgos de ATSDR. Cuadro 8.

- Habitualmente aborda un grupo de sustancias diversas
- Preferentemente cualitativa
- Las perspectivas son sopesadas para emitir juicio sobre riesgo para la salud
- Relativamente menos costosa
- Hace uso de criterios y normas establecidas por EPA y otras agencias
- Tarea = evaluar el impacto actual o futuro en salud por presencia de sustancias peligrosas en un lugar dado
- Orientado a un enfoque de salud pública
- Detecta si son necesarios estudios de salud adicionales
- Metodología para aplicar a lugares específicos y precisos (resultados no extrapolables)
- Descansa en recopilación exhaustiva de datos (antecedentes y muestras) relativos al lugar específico.
- Es exigente en cuanto a muestreo, control de calidad y certificación de calidad.
- Depende importantemente del criterio profesional y técnico del evaluador.
- Tipo de recomendaciones:
  - Medidas correctivas sobre el lugar (informe de factibilidad)
  - Estudios epidemiológicos complementarios
  - Programa de vigilancia epidemiológica
  - Registro de enfermedades
  - Metodología susceptible de ser extrapolada a otras realidades socioeconómicas.

Fuente: G. Corey. Material didáctico. ECO/OPS, Metepec, México

Método ATSDR. Cuadro 9

Primer paso	evaluación de la información acerca del lugar (datos físicos, actividades, demográficos, recursos naturales, contaminación).
Segundo paso	determinación de contaminantes de interés (listado, concentraciones, calidad del monitoreo)
Tercer paso	identificar y evaluar rutas ambientales (fuentes, medios contaminados, transporte y destino, transformación)
Cuarto paso	identificar y evaluar rutas de exposición humana (poblaciones expuestas, modalidades de exposición)
Quinto paso	determinar implicaciones para la salud pública (estimar exposición, comparar dosis de exposición con guías o normas, identificación de efectos)

Fuente: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (1992). Evaluación de riesgos en salud por la exposición a residuos peligrosos. USDHHS, Atlanta, Georgia.

PRINCIPALES TIPOS DE EVALUACION DE RIESGOS Y SU ENFOQUE

Riesgos de Seguridad: Baja probabilidad de alto grado de exposición, graves consecuencias, efectos agudos e inmediatos (enfoque en la salud humana)

Riesgos de Salud: Elevada probabilidad exposición de bajo nivel, bajas consecuencias, continuas, crónicas, efectos demorados.

Riesgos ambientales: Cambios sutiles, interacciones complejas, incertidumbre en causa-efecto. El enfoque está basado en impactos al hábitat y ecosistemas.

Riesgos de bienestar público: Percepciones de la comunidad, preocupaciones por el valor de la propiedad. El impacto negativo en las percepciones del público es inmediato.

Riesgos financieros: Viabilidad del negocio, responsabilidad, utilidades en inversiones ambientales, de salud y seguridad.

CALCULO DE RIESGO CONCENTRACIÓN / TOXICIDAD

El propósito de este procedimiento es identificar los químicos por cada medio (agua, suelo, aire) que con mayor probabilidad contribuyen a los riesgos para la salud.

El factor de riesgo R puede ser calculado mediante la fórmula:

$$R = \Sigma (Ci) (Ti)$$

Donde

R = factor de riesgo para el medio (agua, suelo, aire)

C = concentración máxima del químico específico en el medio, o el 95% del límite del valor de confianza superior

T = valor de toxicidad para el químico, factor de la pendiente para carcinógenos, o $1/R_fD$ para no carcinógenos.

Ejemplo de Dosis - Efecto

Es segura o insegura la aspirina?

	Espectro de efectos.
¿Umbral?	Niños menores de 12 años, factor posible en el síndrome de Reye
165 a 325 mg/d (1/2 a 1 tableta)	Mantenimiento preventivo: contra la coagulación sanguínea, ataques cardíacos y anticoagulante.
650 mg (2 tabletas) (2 a 4 veces/d)	Terapéutico- dosis usual para adulto para el dolor de cabeza, y el dolor (analgésico), fiebre y antinflamatorio.
10,000 a 20,000 mg	Tóxico – úlceras pépticas, sangrado, zumbido de oídos, daños al hígado y riñones.
20,000 a 40,000 mg (1 frasco de 100 tabletas)	Dosis fatal (si es ingerida en un periodo corto)

Selección de contaminantes críticos

- La importancia de los niveles de los contaminantes encontrados se puede determinar comparando su concentración contra valores de referencia. El evaluador podría emplear valores nacionales, como las normas que rigen en el país o utilizar referencias internacionales, como las de la OMS, Comunidad Económica Europea, EPA.
- Para estimar la importancia de los contaminantes, se comparará su concentración contra un valor de referencia denominado Guía de Evaluación para Medios Ambientales (EMEG por sus siglas en inglés).
- Estos valores EMEG han sido propuestos por la ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades).

Selección de Contaminantes críticos (continuación)

Fórmula EMEG
(Guía de Evaluación para medios ambientales)

$$EMEG = \frac{MRL \text{ o } RfD \ (mg / kg / dia) \ x \ PC \ (kg)}{TI \ (kg \text{ o } L / dia)}$$

Simbología de Fórmula EMEG

- MRL o RfD = Mínimo Nivel de Referencia o Dosis de Referencia
- La información sobre la RfD de cada sustancia se puede obtener del banco de datos IRIS del sistema TOXNET (EPA); el MRL puede obtenerse de la bibliografía publicada por ATSDR.

- PC = Peso corporal = 10 kg/infante, 14 kg/niño (3-6 años) o 70 kg/adulto.

- TI = Tasa de ingestión o ingreso al organismo del medio contaminado
- Tasa de ingestión diaria de agua = 1 litro/niño y 2 litros/adulto.
  Tasa de ingestión diaria de suelo = 350 mg/niño y 50 mg/adulto.
  Tasa de ingestión diaria de polvo = 35 mg/niño y 5 mg/adulto.

Análisis Dosis Respuesta

- Describe la relación cuantitativa entre la magnitud de la exposición a una sustancia (dosis) y el grado, frecuencia o intensidad del daño tóxico o enfermedad.
- Esta relación se expresa bajo la forma de una curva dosis-respuesta.
- Los datos provienen de estudios de preferencia en animales y, menos frecuentemente, de estudios en poblaciones humanas expuestas.
- Puede haber tantas curvas diferentes de dosis-respuesta para una sustancia como diferentes efectos tóxicos adversos cause bajo condiciones distintas de exposición.
- Los riesgos de una sustancia no pueden verificarse con algún grado de confianza a menos que se cuantifiquen las relaciones de dosis-respuesta, incluso si se sabe que la sustancia es "tóxica".

EJEMPLOS DE CALCULO

Casos de estudio documentados por OMS con auspicio de GTZ:

Revisar ejemplos de cálculo de aplicación de:

- EMEG (agua, suelo, aire, polvo), y
- Concentración de Dosis de Exposición

Fuente: *"EVALUACIÓN DE RIESGOS PARA LA SALUD EN LA POBLACIÓN EXPUESTA A METALES EN BOLIVIA"*

(documento entregado a los estudiantes para copias)

Balances de Materia

El concepto general de la ley de conservación de la materia se ilustra con 3 ecuaciones aplicables a un sistema aislado y cerrado.

- En primer término ENTRADA = SALIDA
- Si el material se acumula dentro del sistema, entonces
  ACUMULACIÓN = ENTRADA – SALIDA
- Además, si se produce o se consume material dentro del sistema, el caso más general puede describirse como

Velocidad de acumulación =

[velocidad de (entrada – salida + producción – consumo]

En donde el término (*velocidad de) hace referencia a los cambios con respecto al tiempo, por lo que son llamados gastos, o velocidades de producción o consumo.*

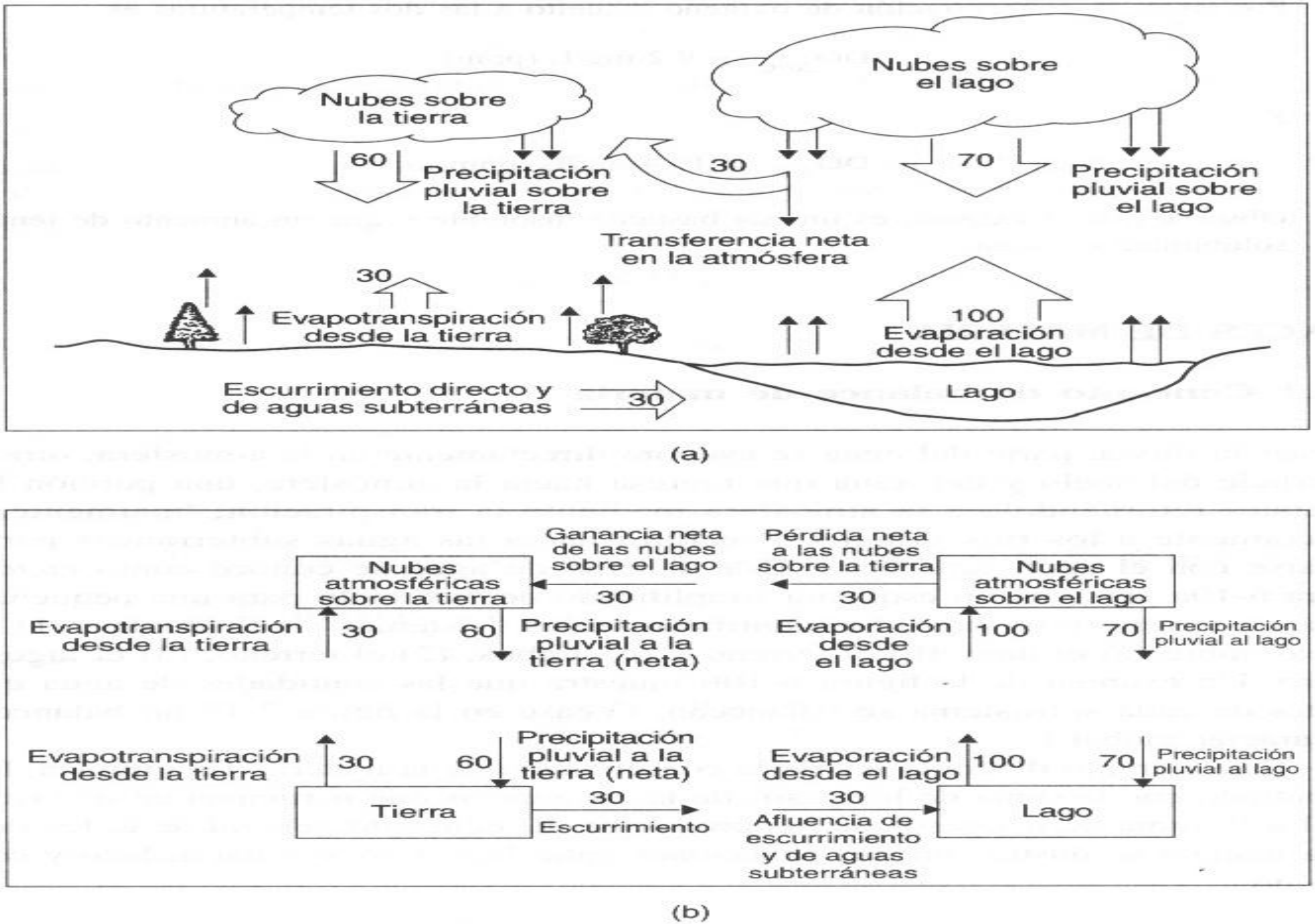


Figura 6–10 Ciclo hidrológico en una pequeña región de tierra con lago: (a) esquema del ciclo hidrológico; (b) balance de materia sobre el ciclo hidrológico.

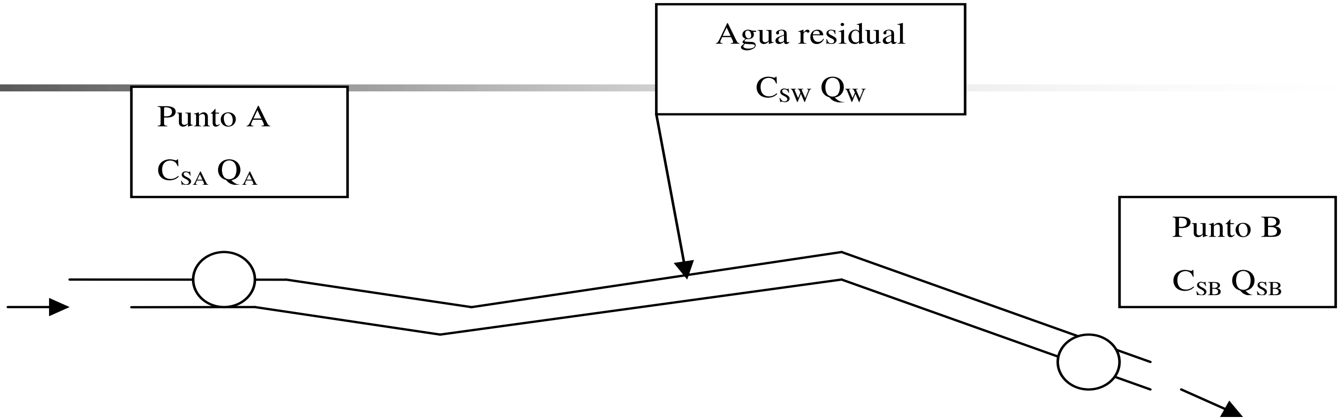
Ejercicio 1.
Cálculo de concentración de contaminantes

Un flujo de agua residual entra a un río de la manera que aparece en el gráfico. La concentración de sodio $C_{S,A}$ en el cuerpo hídrico en el punto A, es de 9 mg/l, y el caudal $Q_A = 25\ m^3/s$ de agua en el río.

La concentración del sodio $C_{S,W}$ en el agua residual es de 300 mg/l, y el caudal $Q_W = 10\ m^3/s$.

- ☐ Determine la concentración del sodio en el punto B, asumiendo que ocurre una mezcla completa.
- ☐ Si el Límite máximo permisible para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran desinfección, es de 200 mg/l, indique si en el punto B se cumple o no con esta reglamentación (TULAS, 2002), y
- ☐ ¿Qué pasará si en época de estiaje disminuye el caudal del río al 10%?

Solución de ejercicio 1, parte a)



Solución:

Parte a):

$C_{S\,B} \times Q_{S\,B} = C_{S,\,A} \times Q_A + C_{S,\,W} \times Q_W$ …… (1)

Cálculo del Caudal en Punto B:

$C_{S\,B} = Q_A + Q_W = (25 + 10)$ m/s = 35 m/s

Reemplazando en ecuación (1):

$C_{S\,B} \times 35$ m/s = 9 mg/l x 25 m/s + (300 mg/l x 10 m/s)

Despejando la concentración de sodio $C_{S\,B}$:

$C_{S\,B}$ = [(9 mg/l x 25 m/s) + (300 mg/l x 10 m/s)] / 35 m/s = 92.14 mg/l

Cálculo de concentración de sodio en el punto B:

$C_{S\,B}$ = 92.14 mg/l, Respuesta de parte a)

Solución de ejercicio 1, partes b) y c):

Respuesta de Parte b): Considerando que $C_{S\,B} = 92.14$ mg/l < 200 mg/l, se cumple

Parte c), en época de estiaje con Q_A al 10%:

$C_{S\,B} \times Q_{S\,B} = C_{S,\,A} \times 10\ \%\ Q_A + C_{S,\,W} \times Q_W$ …… (2)

Cálculo del Caudal en Punto B en época seca (falta de lluvias):

$C_{S\,B} = Q_A + Q_W = (2{,}5 + 10)\ m/s = 12{,}5\ m/s$

Reemplazando en ecuación (2):

$C_{S\,B} \times 28\ m/s = 9\ mg/l \times 2{,}5\ m/s + (300\ mg/l \times 10\ m/s)$

Despejando la concentración de sodio $C_{S\,B}$:

$C_{S\,B} = [(9\ mg/l \times 2{,}5\ m/s) + (300\ mg/l \times 10\ m/s)] / 12{,}5\ m/s = 241.80\ mg/l$

Respuesta de Parte c): 241,80 mg/l > 200 mg/l, no cumple.

Ejercicio 2 . Balance de masas

Asuma que usted esta llenando su bañera pero olvido tapar el drenaje. Si el volumen de llenado de la bañera es de 0.35m3, y el agua esta ingresando a 1,32 litros/ minuto, y al mismo tiempo se está drenando a 0,32 litros/minuto.

a) ¿En cuanto tiempo se llenará la bañera?

b) ¿Cuanta agua será desperdiciada? Asuma la densidad del agua 1000kg/m3.

DATOS:

Q entrada = 1.32 litros/minuto, Q salida = 0.32 litros/minuto, Vol. Bañera = 0.35 m3

Solución

a) ¿En cuanto tiempo t se llenará la bañera?

Q_t = Q entrada – Q salida = 1,32 -0,32 = 1,0 litro/minuto
Q_t = vol. /t donde: vol. = volumen, t = tiempo, 1 m3 = 1000 litros
t = vol. / Q_t= (0.35m3)/(1,0 litro/minuto) = (0,35m3 x 1000 litros/m3)/(1,0 litro/minuto)

Tiempo, t = 350 minutos = (350 minutos/60 min / hora) = 5,83 horas

b) Volumen de agua desperdiciada

Q salida= 0.32 litros/minuto, t = 350 minutos
Volumen, vol. = Q salida x t =0,32 x 350 = **112 litros (Volumen Desperdiciado)**

Ejercicio 3. Problema de dilución

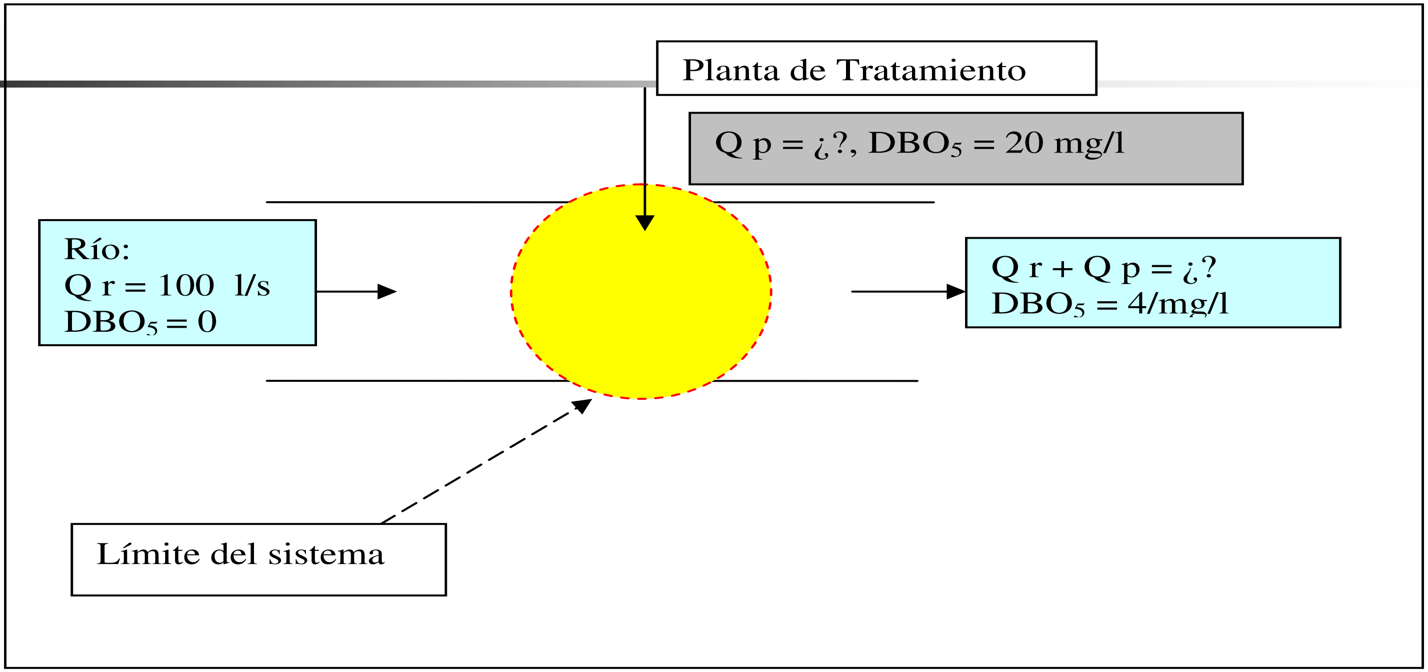
El flujo medio diario de un pequeño río durante el mes más seco es de 100 l/s (litros /segundo). Si una planta de tratamiento de aguas residuales pudiera producir un efluente con una DBO_5 de 20 mg/l, o menor,

¿a qué población podría dar servicio si la DBO_5 en el río después de la dilución, no debe ser mayor que 4 mg/l? Suponga que no hay contaminación río arriba y que el abastecimiento de agua municipal no proviene del río.

Solución:

Suponiendo una mezcla completa, y eligiendo 1 segundo como intervalo de tiempo conveniente, escriba un balance de materia sobre la DBO_5

Solución ejercicio 3



Planta de Tratamiento

Q p = ¿?, DBO_5 = 20 mg/l

Río:
Q r = 100 l/s
$DBO_5 = 0$

Q r + Q p = ¿?
DBO_5 = 4/mg/l

Límite del sistema

$DBO_{\text{aguas arriba}} + DBO_{\text{residuos}} = DBO_{\text{aguas abajo}}$

$Q_{\text{río}} \times 0 + Q_{\text{planta}} \times 20\ \text{mg/l} = (Q_{\text{río}} + Q_{\text{planta}}) \times 4\ \text{mg/l}$

$Q_{\text{planta}} = 4\ Q_{\text{río}} / 16 = (4 \times 100\ \text{litros/s}) / 16 = 25\ \text{litros/s}$

Considere una tasa de 200 litros/persona/d:

Población a 200 l/p/d = (25 l/s x 60 s/min x 60 min/h x 24 h/d)/200 l/p/d

Respuesta: 10.800 personas