

## TEMA 2.6B EPIDEMIOLOGIA AMBIENTAL

### CI41B Ingeniería Ambiental

Profesores D. Rodríguez, R. Muñoz, J. Cornejo y C. Espinoza  
Semestre Otoño 2004

#### 1. INTRODUCCION

La **epidemiología** (del griego: **epi** - desde, **demos** - personas, y **logos** - estudio de) es el estudio de las causas de las enfermedades en las personas. El concepto de **epidemia** describe una enfermedad infecciosa en una comunidad, mientras que **endémico** se refiere a enfermedades que se encuentran continuamente presentes en una población específica. Dado que el objetivo de un estudio epidemiológico es el controlar la expansión de una enfermedad, la determinación del agente etiológico (aquel que causa la enfermedad) y su modo de transmisión son de primordial importancia para alcanzar dicho objetivo.

Sólo en los últimos años se ha determinado que muchas enfermedades no infecciosas son causadas por sustancias tóxicas en los residuos industriales. En este sentido, contaminantes orgánicos e inorgánicos deben ser estudiados en estudios epidemiológicos de larga duración con el propósito de determinar las concentraciones “seguras”, así como los tiempos de exposición tolerables sin que se produzcan efectos ambientales adversos.

#### 2. SANIDAD Y SALUD

Una de las más antiguas teorías acerca de la transmisión de enfermedades suponía que éstas eran propagadas a través del aire. Esta teoría se mantuvo en pie hasta que en el siglo diecisiete fue establecida la teoría de propagación de enfermedades a través de gérmenes. Los microorganismos fueron observados, por primera vez, mediante un microscopio desarrollado por Leeuwenhoek en Holanda.

En 1849, el doctor John Snow publicó un documento titulado *On the mode of Communication of Cholera*. En este documento se planteó un caso específico de contagio de colera entre habitantes de un sector de Londres. En este estudio se demostró que 59 de las 77 víctimas del cólera habían usado agua desde una fuente ubicada en una comunidad. En la misma área había una industria que no presentaba ningún enfermo entre sus operarios y que se abastecía de su propio pozo. Al verificar las condiciones higiénicas del pozo comunitario se detectó que había sido contaminado por los derrames de aguas servidas desde una casa que acogía a uno de los primeros enfermos de esta epidemia. Al cerrar el pozo no se detectaron nuevos contagios de este virus en la localidad. La conclusión de este estudio fue que el grado de saneamiento está relacionado con la posibilidad de contraer enfermedades, lo que se basa en una observación empírica más que en el conocimiento teórico del mecanismo de contagio.

En la segunda mitad del siglo diecinueve, Pasteur, Lister y Koch establecieron la teoría de los gérmenes en forma concluyente. En su investigación ellos aislaron y crecieron cultivos de microorganismos los cuales fueron asociados al contagio de diversas enfermedades. El rol del portador sano (un individuo que no está clínicamente enfermo pero que porta la enfermedad) y el de los insectos en el contagio de ciertas enfermedades fue demostrado con posterioridad. El potencial del agua para expandir masivas epidemias es bien conocido en la actualidad.

### 3. ENFERMEDADES INFECCIOSAS

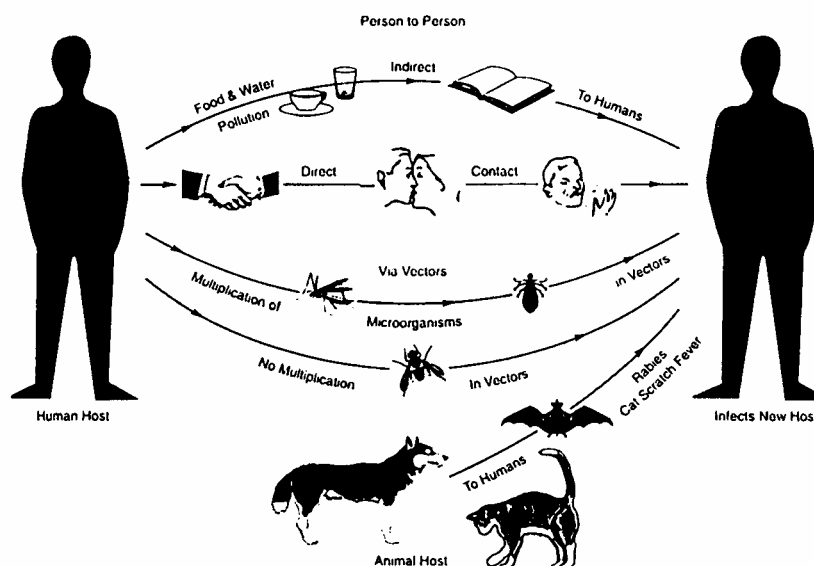
#### 3.1 Patógenos

Un **patógeno** es un agente que causa una infección en un receptor vivo. Este actúa como un parásito dentro de la célula receptora y altera las actividades fisiológicas normales. Esta alteración es la que causa los síntomas de la enfermedad, tales como alta temperatura, un malestar en el proceso digestivo, un cambio en la química sanguínea, y otras indicaciones de infección.

La infección indica, por definición, que un agente productor de enfermedades está creciendo y multiplicándose dentro de la célula receptora, la cual puede o no puede tener los síntomas de la enfermedad. La presencia del agente estimula a la célula receptora a producir anticuerpos para combatir al agente. Dependiendo de la efectividad de los anticuerpos, el resultado puede ser cansancio, recuperación, muerte. La habilidad de los organismos patógenos para producir daño sobre la célula receptora es denominada **virulencia**. Este es un concepto relativo, que compara la habilidad de ataque de los patógenos con la habilidad defensiva del receptor. La virulencia puede ser afectada por factores inherentes al patógeno y al receptor, como también por condiciones ambientales.

Para que una epidemia ocurra deben concertarse una serie de elementos: un receptor infectado, un cierto número de receptores no infectados, y un mecanismo de transferencia entre ambos grupos. Un receptor infectado implica la existencia de un patógeno virulento. El patógeno provoca su propia destrucción al destruir el receptor o al estimular la producción de anticuerpos que destruyen el patógeno. De esta forma, para que una epidemia persista debe existir una cantidad de receptores no contaminados para que los patógenos puedan continuar con su ciclo. La Figura 1 muestra un esquema con los distintos mecanismos de transferencia o contagio de enfermedades.

**Figura 1**  
**Mecanismos de Contagio o Transferencia de Enfermedades**



### 3.2 Enfermedades Transmitidas por el Agua

Las enfermedades transmitidas por el agua son generalmente de origen intestinal. Materia fecal, de receptores infectados o de portadores, puede llegar hasta la zona de suministro de agua o de recreación en un número de formas. La más común es a través de una descarga de alcantarillado en el cuerpo receptor, o a través de roturas en las redes de agua potable y su posterior contaminación con aguas servidas.

Los organismos patógenos no pueden reproducirse o crecer en el agua pero pueden sobrevivir por algunos días. Aquellos patógenos capaces de formar esporas pueden sobrevivir mucho más que algunos días. Por ejemplo, las esporas de *Clostridium tetani*, responsable por el tétano, pueden sobrevivir por años.

Algunos de los tipos de infección más comunes que se contraen por el agua son la salmonelosis, cólera, hepatitis infecciosa, amebiasis y giardiasis.

- **Cólera.** Los humanos adquieren el cólera debido a la ingestión de la bacteria denominada *vibrio cholerae*, la cual se encuentra presente en aguas o alimentos contaminados. La bacteria ingerida se multiplica en el intestino delgado y, luego de 2 a 5 días, causa dolores abdominales, náusea, vómitos y diarrea que puede llevar a deshidratación, shock, y muerte.
- **Hepatitis infecciosa.** Esta es una enfermedad viral que tiene como síntomas característicos fiebre, una falta de apetito y de energía, dolor de cabeza y de espalda. Después de un par de días la fiebre desaparece y el color amarillo, típico de esta enfermedad, puede aparecer. Muy rara vez esta enfermedad es fatal, e incluso se sospecha que existe un gran número de contagiados que no muestran síntomas. Los virus son muy pequeños por lo que pasan a través de los sistemas de filtros. Además, la experiencia ha demostrado que son capaces de resistir la cloración. Por esta razón es conveniente el evitar la contaminación de fuentes de agua que tratan de limpiarla una vez que se ha contaminado.

Como fue explicado anteriormente es impracticable el detectar, diferenciar o enumerar los organismos patógenos que pueden estar presentes en agua o agua servida. Por lo tanto, para monitorear la calidad del agua, el agua es analizada para determinar organismos indicadores que están presentes cuando la contaminación fecal ocurre. El grupo de coliformes es el indicador bacterial más común, y los estándares (requerimientos legales) o guías (objetivos) han sido establecidos para limitar el número de coliformes fecales o totales presentes en el agua para distintos usos. Un ejemplo de esta normativa se presenta en la Tabla 1.

**Tabla 1**  
**Normativa Microbiológica en Agua**  
**(Máximo permitido de coliformes por 100 mL)**

Uso	Total	Fecal
Agua potable	1	0
Agua natural	5000	500
Agua para usos recreacionales	1000	100
Aguas residuales tratadas	-	200

### 3.3 Enfermedades Transmitidas por el Aire

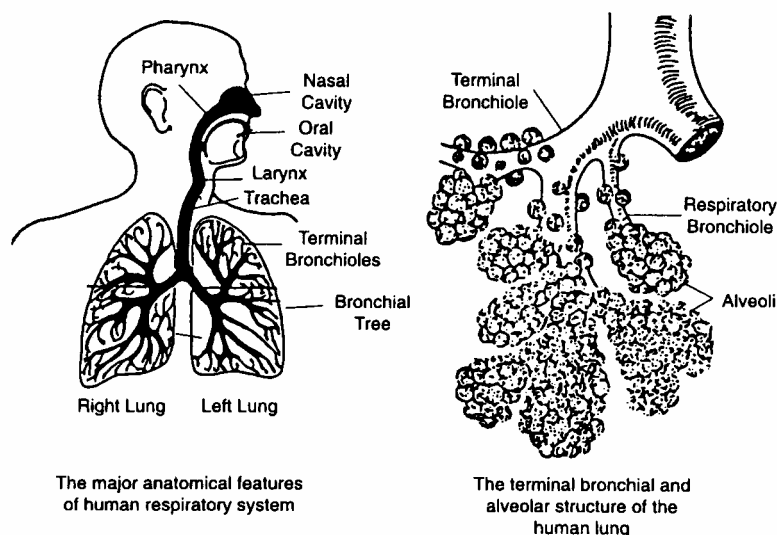
Enfermedades respiratorias tales como tuberculosis pulmonar (bacterial), influenza (viral), y micosis pulmonar (hongos) son transmitidas por aire. Los microorganismos patógenos presentes en los pulmones y bronquios dejan el portador infectado a través de la boca y nariz. Tosiendo, estornudando, e incluso al hablar se producen aerosoles o pequeñas gotas que pueden contener estos organismos. Saliva y descargas nasales pueden ser también transmitidas a través de un contacto de las manos o a través de objetos intermediarios.

Los organismos patógenos responsables de las infecciones transmitidas a través del aire se movilizan en pequeñas gotas, las cuales se resuspenden, circulan por el aire, son llevadas por el polvo, o recirculadas a través de sistemas de ventilación inadecuados. Las partículas son incorporadas en el cuerpo a través del sistema respiratorio (ver Figura 2). El sistema respiratorio superior está compuesto de la cavidad nasal, la traquea, y el árbol bronquial. Su función básica es permitir el paso del aire hacia los pulmones. El sistema respiratorio inferior está compuesto por los bronquios y alveolos pulmonares.

Las únicas partículas que pueden penetrar al sistema respiratorio inferior son aquellas en el rango de 0.1 a 1.0 mm, el que corresponde al rango de tamaños de virus, esporas de hongos y bacterias. Partículas más grandes son removidas por los mecanismos de defensa del sistema respiratorio superior y las inferiores son expulsadas. Infecciones cuyo puerto o lugar de entrada son los alveolos o bronquios deben ser aéreas, ya que de otra manera no podrían penetrar dentro de los pulmones. Ejemplos de estas enfermedades son la tuberculosis pulmonar y la neumonía.

A medida que el aire entra en los pulmones debe sortear una serie de obstáculos en el sistema respiratorio superior. Las partículas más grandes no pueden doblar en los pasadizos internos e impactan contra las paredes.

**Figura 2**  
**Sistema Respiratorio**



## 4. ENFERMEDADES NO INFECCIOSAS

### 4.1 Aspectos Generales

En los países desarrollados las enfermedades infecciosas han sido mantenidas bajo control y en algunos lugares han sido prácticamente erradicadas. Esto es debido a la disposición sanitaria de los desechos, a la desinfección de los suministros de agua, aumento en la preocupación por la limpieza en la preparación de alimentos, así como los avances en medicamentos, inmunización y diagnóstico precoz de personas contagiadas. A pesar de esto, en los mismos países se ha detectado un aumento en la proporción de muertes debidas a enfermedades debilitantes, o enfermedades no infecciosas como cáncer, enfermedades coronarias y enfisema.

Parte de este problema se debe a que la población mundial se ha envejecido y la incidencia de estas enfermedades crece con la edad. La Tabla 2 entrega la distribución porcentual de las muertes ocurridas en dos tipos de sociedad distintos. El modelo A es típico de una población joven en un país en vías de desarrollo, mientras que el modelo B corresponde a una población de mayor edad, característica de países desarrollados.

**Tabla 2**  
**Porcentaje de Distribución de Muertes por Diversas Causas**

<b>Causa de Muerte</b>	<b>Modelo A: estructura de edad joven esperanza de vida 50 años</b>	<b>Modelo B: estructura de edad mayor esperanza de vida 70 años</b>
Todas las causas	100.0	100.0
Infecciones, enfermedades parasitarias	34.1	6.5
Cáncer	5.6	16.4
Enfermedades cardiacas y circulatorias	18.7	46.5
Violencia	4.3	5.2
Otras	37.3	25.4

En general es muy difícil el atribuir un efecto en salud a un contaminante específico presente en el agua o atmósfera. Los efectos sobre la salud de animales, luego de su exposición continua a ciertas dosis de contaminantes pueden ser definidos en experiencias en laboratorio. Sin embargo, en el ambiente los contaminantes existen en muy bajas concentraciones y en combinación con otros elementos y factores, por lo cual es muy difícil atribuir una determinada respuesta a un determinado factor o estímulo.

Efectos en la salud como resultado de exposición a determinados productos orgánicos e inorgánicos son desconocidos. Esto es particularmente cierto en el caso de exposición durante un largo tiempo a bajas dosis de contaminantes tóxicos y peligrosos. Estudios epidemiológicos han estado circunscritos a trabajadores que han estado expuestos a altas dosis de contaminantes específicos durante cortos períodos de tiempo. Estos datos pueden ser usados para extrapolar los efectos de contaminantes específicos sobre la población general y determinar de esta manera límites de exposición adecuados.

## 4.2 Contaminantes Inorgánicos

**Arsénico** es un subproducto de la producción de cobre y plomo, así como oro, plata y cobalto. Es principalmente un contaminante transmitido por el aire, pero está también presente en cuerpos de agua y puede ser acumulado en peces. Es también el componente de algunos pesticidas agrícolas y fungicidas. El principal efecto del arsénico es el envenenamiento de los trabajadores en empresas mineras y la población expuesta debido a la ingesta de arsénico en su agua potable (Antofagasta).

**Asbesto** es usado para la producción de baldosas, recubrimiento y tuberías de asbesto-cemento. Aquellos que trabajan en la extracción de asbesto y en la manufactura de sus productos son los más afectados por sus efectos. En la forma de fibras el asbesto es un contaminante transmitido por el aire, y su ingesta durante un largo período puede ocasionar *asbestosis*, lo que es un severo desgarramiento de los pulmones que obliga al corazón a trabajar en forma más intensa. Esto ocasiona la muerte por fallas cardíacas. El asbesto es un potencial cancerígeno por lo que su ingesta puede resultar en cáncer al pulmón entre la gente expuesta.

**Cadmio** es un elemento muy tóxico que es liberado al ambiente debido a actividades industriales. Como resultado de su descarga al alcantarillado es muy común el encontrar este producto en las aguas servidas domiciliarias. Los casos más comunes de contaminación por cadmio se producen debido a la inhalación de vapores industriales. Su efecto más común es la degeneración de las articulaciones y la producción de cáncer.

**Dióxido de sulfuro** es producido por la quema de carbón y aceites con altos contenidos de sulfuro. Con las condiciones atmosféricas apropiadas (masas de aire estáticas) el  $\text{SO}_2$  puede aumentar hasta alcanzar concentraciones peligrosas. Altas concentraciones de  $\text{SO}_2$ , especialmente si son acompañadas de humo, producen la irritación de las vías respiratorias.

El **material particulado** con un tamaño específico de 0.1 mm (el tamaño de partículas del humo de cigarrillos) puede penetrar profundamente en los pulmones y depositarse. Mientras más material extraño es depositado en los pulmones más difícil se hace la respiración y más cansador es el trabajo para el corazón. La acumulación de material particulado produce una afección crónica sobre el corazón y problemas respiratorios.

**Mercurio** es otro elemento tóxico con un pasado trágico. Un ejemplo típico de contaminación es de la bahía Minamata en Japón. Mercurio inorgánico es usado en la producción de componentes eléctricos, mientras que mercurio orgánico es parte del proceso de limpieza de la celulosa para producir papel de alta calidad. Contaminación por mercurio orgánico causa pérdida en el habla y en la coordinación motriz, parálisis progresiva, coma y muerte. La contaminación con mercurio inorgánico resulta en daños del sistema nervioso central.

Los **nitratos** y **nitritos** se derivan del uso excesivo de fertilizantes. El cuerpo humano es capaz de convertir el nitrato que se ingiere en nitrito. El nitrito puede producir dos efectos diferentes: oxidación de hemoglobina (contiene  $\text{Fe}^{2+}$ ) a metemoglobina (contiene  $\text{Fe}^{3+}$ ), la que es incapaz de transportar oxígeno a la sangre. Esta enfermedad es especialmente grave para los niños. El segundo efecto negativo de los nitritos es que éstos se pueden combinar con aminas (nitrógeno orgánico) en el sistema digestivo para formar *nitrosaminas*, las que son cancerígenas.

**Plomo** está presente en el alimento y agua que consumimos así como en el aire que respiramos. Hasta la llegada de la gasolina sin plomo (autos catalíticos) la combustión de gasolina fue la mayor fuente de contaminación por plomo. El agua puede ser contaminada por

plomo debido a la descarga de residuos tóxicos desde industrias y a la incorporación de derrames agrícolas sobre cauces superficiales. Otra fuente potencial son las uniones usadas en las tuberías interiores de las casas. Los síntomas típicos de contaminación por plomo son dolor de estómago y debilidad física.

#### 4.3 Contaminantes Orgánicos

Numerosos químicos orgánicos son considerados una potencial (y a veces real) amenaza para la salud de muchas especies, incluidos los seres humanos. De estos, DDT, fenitrothion y Mirex fueron diseñados como pesticidas. Otros, como el PCBs (*bifenil policlorinado*), fueron desarrollados para usos benignos, tales como agentes enfriantes en transformadores eléctricos, pero encuentran su camino hacia el ambiente a partir de accidentes.

El **DDT** (*diclorodifeniltricloroetano*) ha sido usado ampliamente a través del mundo como insecticida. En particular, el DDT fue usado durante los años 50 y 60 para la erradicación de la malaria a través de la eliminación de mosquitos portadores. Uno de los grandes problemas con el DDT es su estabilidad, lo que hace que permanezca en el ambiente durante un tiempo muy largo. Es muy poco soluble en agua, pero es muy soluble en grasa y tejidos animales. De esta manera, se puede acumular en las grasas y tejidos de muchas especies, incluyendo los seres humanos. Síntomas de envenenamiento por DDT incluye desórdenes nerviosos y descensos anormales del conteo de glóbulos blancos en la sangre.

La **Dioxina** representa una familia de químicos y es el nombre que se aplica a uno de los compuestos químicos más letales producidos por el hombre (técnicamente se debiera denominar TCDD o *2,3,7,8-tetraclordibenzoparadioxin*). La dioxina aparece como una impureza en la manufactura de varios productos químicos y pesticidas que tienen una base de *triclorofenol*. Síntomas asociados con la exposición a dioxina incluye cambios en órganos internos, cloroacne, desórdenes nerviosos y muerte en el caso de exposición a elevadas concentraciones. El dioxin es un compuesto teratogénico, es decir puede producir defectos de nacimiento, y es también un conocido cancerígeno.

**PCB** (*bifenil policlorinado*) es químicamente inerte, soluble en agua, y no se degrada a temperaturas normales. Por estas características el PCB tiene una serie de usos industriales. Su alta estabilidad lo hace muy persistente en el ambiente. Se ha demostrado que el PCB produce cáncer en ratas de laboratorio. Es también la causa de cloroacne y dolores de cabeza.