



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

CURSOS INSTITUCIONALES

CONTAMINACION AMBIENTAL Y SALUD

Del 21 al 25 de Mayo de 2007

APUNTES GENERALES

CI - 018

Instructora: M. en C. Doraida S. Rodríguez Sordia
SERVICIOS DE SALUD PUBLICA DEL GOBIERNO DISTRITO FEDERAL

MAYO DE 2007

CURSO: CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y SALUD
Profesor: M. en C. Doraida Socorro Rodríguez Sordía

OBJETIVO: *Brindar una panorámica general sobre la importancia de los medios ambientales, las formas en que se contaminan y la repercusión de esta contaminación en el desarrollo, la salud humana y el medio ambiente para sensibilizar a los tomadores de decisiones y personal interesado en el tema.*

DIRIGIDO A: Funcionarios públicos, profesores, investigadores, profesionistas y técnicos relacionados con la salud ambiental y la contaminación.

DURACIÓN: 20 horas

TEMARIO:

Conceptos básicos (ecología, contaminación, contaminantes, biota, ecosistemas, medios ambientales, salud, residuos, afluentes, efluentes, emisiones, peligros, riesgos, exposición, restauración ambiental, reuso, reciclaje, remediación, etc.)

Control del agua

- II.1 Importancia del agua para la vida y el desarrollo
- II.2 Riesgos a la salud
- II.3 Fuentes de contaminación
- II.4 Control sanitario
- II.5 Etapas en el proceso de abastecimiento de agua
- II.6 Enfermedades relacionadas con el agua

Aguas Residuales y reuso

- III.1 Definición de agua residual
- III.2 Consecuencias del uso excesivo del agua y la contaminación
- III.3 El problema de la contaminación
- III.4 Contaminantes Industriales y Municipales
- III.5 Principales tratamientos de aguas residuales
- III.6 Uso de aguas residuales tratadas en agricultura y acuicultura

Residuos sólidos

- IV.1 Tipos
- IV.2 Etapas del manejo del servicio de limpia pública o aseo urbano
- IV.3 Métodos empleados para el relleno sanitario
- IV.4 Celda diaria de residuos sólidos. Componente básico del relleno sanitario
- IV.5 Riesgos al ambiente y a la salud por la exposición a los residuos sólidos

Vectores transmisores de enfermedades. Medidas de Control

- V.1 Clasificación
- V.2 Ciclo de vida de los artrópodos vectores de enfermedades
- V.3 Deficiencias en el saneamiento que influyen en la procreación de vectores
- V.4 Medidas de Control de vectores
- V.5 programas de Control de Vectores

Contaminación del suelo

VI.1 Principales propiedades de los suelos

VI.2 Cálculo de la interfase del suelo necesaria para la remoción de la contaminación orgánica

VI.3 Tecnologías de restauración ambiental de suelos contaminados

VII. Contaminación del aire

VII.1 Causas (fuentes) de la contaminación

VII.2 Naturaleza, orígenes y clasificación de los contaminantes

VII.3 Introducción al estudio de las dioxinas y furanos

VII.4 Medidas de control de las fuentes de contaminación atmosférica

VII.5 Importancia de las áreas verdes en el acondicionamiento de las ciudades

VII.6 Efectos de la contaminación atmosférica (económicos, en la vegetación, en el ambiente, en los animales y de forma fisiológica y psicológica en el hombre).

CAPÍTULO I. CONCEPTOS BÁSICOS

1. **AGENTE CAUSAL:** Cualquier elemento que actúe como causa determinante y sea capaz de producir una desviación de la salud. Constituye el primer eslabón de la cadena de transmisión. Los agentes causales de los procesos infecciosos son agentes biológicos, es decir, organismos patógenos.
2. **AFLUENTES:** En hidrología, un **afluente** corresponde a un curso de agua, también llamado tributario, que no desemboca en el mar sino en otro río más importante con el cual se une en un lugar llamado confluencia. En general se denomina al vertimiento de una corriente líquida en otra o en un almacenamiento.
3. **BIOTA:** En su uso más habitual, el término **biota** designa al conjunto de especies de plantas, animales y otros organismos que ocupan un área dada. Se dice, por ejemplo, *biota europea* para referirse a la lista de las especies que habitan ese territorio.
4. **CADENA EPIDEMIOLÓGICA O CADENA DE TRANSMISIÓN:** Es la forma de representación en un modelo epidemiológico de los factores (eslabones) que intervienen en la génesis de todas las enfermedades transmisibles. Los seis factores básicos que estructuran la cadena son los siguientes: agente causal, reservorio, puerta de salida, vía o mecanismo de transmisión, puerta de entrada y organismo susceptible.
5. **CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS:** Es la determinación cualitativa y cuantitativa de los contaminantes físicos, químicos o biológicos presentes, provenientes de materiales o residuos peligrosos, para estimar la magnitud y tipo de riesgos que conlleva dicha contaminación.
6. **CONTAMINANTE:** Todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental.
7. **CONTAMINACIÓN:** La presencia en el ambiente de una o más sustancias o de cualquier combinación de ellas que perjudique o resulte nocivo a la vida, la salud y el bienestar humano, así como a la flora y la fauna, o que degraden la calidad del aire, del agua, del suelo o de los bienes y recursos en general.
8. **CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA:** Se define como la condición atmosférica en la que ciertas sustancias alcanzan concentraciones o niveles lo suficientemente elevados, sobre su nivel ambiental normal como para producir riesgos, daños o molestias a las personas, ecosistemas o bienes. En las ciudades, la contaminación se produce principalmente por actividades tales como tránsito automotor, combustión de combustibles fósiles y actividad de industrias químicas.

9. ECOLOGÍA: Es el estudio de la distribución y abundancia de los seres vivos, y cómo esas propiedades son afectadas por la interacción entre los organismos y su medio ambiente. El medio ambiente incluye las propiedades físicas que pueden ser descritas como la suma de factores abióticos locales, como el clima y la geología, y los demás organismos que comparten ese hábitat (factores bióticos).

10. ECOSISTEMAS: Se denomina **ecosistema** a un sistema dinámico relativamente autónomo, formado por una comunidad natural y su ambiente físico. El concepto, que empezó a desarrollarse entre 1920 y 1930, tiene en cuenta las complejas interacciones entre los organismos (plantas, animales, bacterias, algas, protozoos y hongos, entre otros) que forman la comunidad y los flujos de energía y materiales que la atraviesan.

11. EFLUENTES: Término empleado para nombrar a las aguas servidas con desechos sólidos, líquidos o gaseosos que son emitidos por viviendas y/o industrias, generalmente a los cursos de agua; o que se incorporan a éstas por el escurrimiento de terrenos causado por las lluvias.

Los productos tóxicos presentes en los efluentes son muy variados, tanto en tipo como en cantidad, y su composición depende de la clase de efluente que los genera. Los desechos que contienen los efluentes pueden ser de naturaleza física, química y/o biológica.

Los efluentes gaseosos son sustancias (gases, aerosoles, material particulado, humos negros, nieblas y olores) que se vierten a la atmósfera a través de conductos o como emanaciones difusas.

12. EMISIONES: Es todo fluido gaseoso, puro o con sustancias en suspensión; así como toda forma de energía radioactiva o electromagnética (sonido), que emanen como residuos o productos de la actividad humana.

13. EXPOSICIÓN: Acercamiento que varía en función de los comportamientos ante una sustancia o evento.

14. HUÉSPED: es el organismo susceptible, que puede ser cualquier hombre o animal sano, capaz de sufrir una desviación de la salud; en las enfermedades transmisibles, el organismo susceptible es cualquier persona o animal que supuestamente no posee resistencia contra un agente infeccioso determinado que lo proteja contra la enfermedad, si llega a estar en contacto con el agente causal.

15. MEDIO AMBIENTE: Se entiende por " medio ambiente " al entorno que nos rodea y que afecta y condiciona especialmente las circunstancias de vida de las personas o la sociedad en su conjunto. Comprende el conjunto de valores naturales, sociales y culturales existentes en un lugar y un momento determinado, que influyen en la vida del hombre y en las generaciones venideras. Es decir, no se trata sólo del espacio en el que se desarrolla la vida sino que también abarca seres vivos, objetos, agua, suelo, aire y las relaciones entre ellos, así como elementos tan intangibles como la cultura.

- 16. PELIGRO:** Propiedad intrínseca de las sustancias o agentes, de tipo corrosiva, reactiva, explosiva, tóxica o infecciosa que, independientemente de su estado físico, si hay exposición de los seres vivos, el ambiente o los recursos naturales se convierte en un riesgo para los mismos.
- 17. RECICLAJE:** Transformación de los residuos a través de distintos procesos que permiten restituir su valor económico, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución favorezca un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos.
- 18. RESERVORIO:** Es la guarida natural donde habita el agente causal y de la cual depende su supervivencia, multiplicación y reproducción; está representado, por el hombre, los animales y excepcionalmente por un elemento inanimado, a partir de los cuales puede ser transmitido a un huésped susceptible. Representa el segundo eslabón en la cadena de transmisión de cualquier enfermedad.
- 19. RESIDUO:** Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final.
- 20. REMEDIACIÓN:** Remoción de contaminación o contaminantes del medio ambiente — suelo, aguas subterráneas, sedimento o aguas de la superficie— para la protección general de la salud humana y del ambiente, o de tierras provistas para el redesarrollo. La remediación es generalmente tema de requerimientos regulatorios y, además, puede estar basado en gravámenes de salud humana y riesgos ecológicos donde no existen estándares legislados o donde los estándares son consultivos.
- 21. RESTAURACIÓN AMBIENTAL:** Al proceso de limpieza ambiental se le da el nombre de restauración, remediación o corrección ambiental. El término restauración se usa cuando los tóxicos que se van a eliminar provienen de contaminación del medio y el término remediación es más amplio, pues incluye los procesos de eliminación de tóxicos naturales.

La restauración ambiental tiene como propósito eliminar, reducir o controlar los riesgos para la salud humana y para el medio ambiente en sitios contaminados.

El proceso de restauración ambiental para proteger la salud humana debe de reducir la concentración de los contaminantes por debajo de los niveles normativos, a costos aceptables y con soluciones permanentes.

- 22. REUSO O REUTILIZACIÓN:** El empleo de un material o residuo previamente usado, sin que medie un proceso de transformación.
- 23. RIESGO:** Probabilidad o posibilidad de que el manejo, la liberación al ambiente y la exposición a un material o residuo, ocasione efectos adversos en la salud humana, en los demás organismos vivos, en el agua, aire, suelo, ecosistemas, o en los bienes y propiedades pertenecientes a los particulares.

- 24. SALUD:** Definida por la Constitución de 1996 de la Organización Mundial de la Salud como el estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades. También puede definirse como el nivel de eficacia funcional y/o metabólica de un organismo tanto a nivel micro (célular) como en el macro(social).
- 25. TRIADA ECOLÓGICA:** Compuesta por los tres factores ecológicos fundamentales o primarios para que se produzca la enfermedad, y que son: el agente causal, la vía de transmisión y el organismo susceptible o huésped. Estos factores son los fundamentales en la cadena de transmisión a cadena epidemiológica.
- 26. VECTOR:** Frecuentemente este concepto se limita a los ártropodos y roedores que toman parte en la transmisión de enfermedades, llevando el agente causal desde el reservorio hasta el hombre susceptible de adquirir la enfermedad.
- 27. VÍAS O MECANISMOS DE TRANSMISIÓN:** Son las distintas formas, modos o mecanismos que tienen que utilizar los agentes biológicos al pasar desde su reservorio hasta el nuevo huésped susceptible.

CAPÍTULO II. CONTROL DEL AGUA

II.1 IMPORTANCIA DEL AGUA PARA LA VIDA Y EL DESARROLLO

Los problemas actuales relacionados con el agua son muy severos en el mundo. En muchas regiones la disponibilidad natural es crítica, la calidad es inapropiada, los servicios son insuficientes, no alcanza la inversión económica para cubrir los rezagos y menos aún para atender la demanda creciente; las actividades productivas compiten por el agua, y el cambio climático incrementa la vulnerabilidad de los ecosistemas y de las personas en un gran número de países¹.

A pesar de que el 70% del planeta está compuesto por agua, sólo 2.5% es agua dulce, y del total de ésta, menos del 1% se encuentra disponible para uso humano y el mantenimiento de los ecosistemas. El potencial de agua naturalmente disponible en México es de 476 km³. En el año 2000, con una población de 97 millones de habitantes, la disponibilidad natural media por habitante se calculaba en 4 900 m³ anuales (CNA, 2000) y para el año 2004 se estimó en 4 547 m³ anuales (CNA). Esta cifra coloca a México como un país de baja disponibilidad natural de agua, lo cual resulta preocupante. En 1955, la disponibilidad natural era de 11 500 m³/habitante por año, considerada alta; sin embargo, se estima que para el año 2025, con el aumento de la población y el deterioro de los cuerpos de agua, seguirá descendiendo hasta 3 822 m³/hab/año. Esta situación se agrava por la desigual ocurrencia espacial y temporal del líquido en el país.

Del total de agua naturalmente disponible, se estima que en el año 2002 se extrajeron de ríos, lagos y acuíferos del país alrededor de 72.6 km³ para los principales usos. De ellos, 62% procede de los escurrimientos superficiales y 38% de los acuíferos. De ese volumen, el uso agropecuario representa 77% de la extracción (56.1 km³), seguido por el

abastecimiento público con 13% (9.6 km³) y la industria autoabastecida con 10% (7.3 km³)¹. Debe tenerse en cuenta que el agua que se extrae para la agricultura y no llega a utilizarse equivale a más de tres veces el volumen que se destina al abastecimiento público, que incluye el uso urbano y doméstico.

El 70% del agua usada para abastecimiento público proviene del subsuelo. La cobertura nacional de agua potable en 2002 fue de 89.2% y de alcantarillado de 77%. En el medio rural 70% de la población tiene acceso al agua potable, pero sólo 37.9% dispone de alcantarillado.

Los 653 acuíferos del país proveen 70% del volumen de agua que se suministra a las ciudades para abastecer a casi 75 millones de personas, así como para regar una tercera parte de la superficie agrícola irrigada del país, por lo que tiene un papel estratégico en la producción de alimentos. Sin embargo la extracción inmoderada ha causado la sobreexplotación de 102 acuíferos.

La contaminación que genera la industria en descargas orgánicas equivale a la de 100 millones de habitantes.

Los problemas de calidad del agua en México son severos. El empleo de aguas residuales sin tratamiento es la principal causa de proliferación de enfermedades transmitidas por agua, en particular porque se utiliza para el riego de cultivos de alimentos que se consumen crudos.

En sus orígenes el agua es pura, prácticamente destilada, no contiene microorganismos ni materias extrañas; pero en su ciclo sobre la tierra se carga de distintos elementos. Este hecho puede ser favorable o perjudicial, porque el agua destilada no sirve para la bebida, ya que le faltan elementos minerales necesarios al organismo humano para su metabolismo; pero también puede recibir sustancias químicas nocivas a la salud o microorganismos patógenos².

Los riesgos a la salud derivados del agua destinada al consumo se pueden clasificar en dos grandes grupos: biológicos y químicos, según la exposición sea originada por microorganismos patógenos o por sustancias químicas presentes en el agua.

II.2 RIESGOS A LA SALUD

II.2.1 Riesgos biológicos relacionados con el agua de consumo

Los principales agentes biológicos transmitidos al hombre mediante el consumo de agua para la bebida o preparación de alimentos pertenecen a las categorías siguientes: bacterias patógenas, virus, parásitos intestinales y otros organismos que dan origen a las denominadas enfermedades de transmisión hídricas.

Cualquier proceso de enfermedad transmisible en una población se deriva de la interacción dinámica entre un agente microbiano, un huésped y el ambiente, con sus complejidades físicas, biológicas y sociales. Para combatir algunas de estas enfermedades basta con romper el eslabón más débil y accesible de la cadena causal; para otras, tal vez sea necesario alterar varios elementos ecológicos del proceso.

Estas enfermedades de origen infeccioso, se caracterizan por presentarse en forma endémico-epidémica. El diagnóstico de epidemia está dado por la aparición de un número de casos confirmados que sea superior a las cifras esperadas, en un período de tiempo limitado y en un área determinada. Junto a estos casos existirá, en mayor o menor grado, un número de casos presuntivos relacionados en forma más o menos evidente con los primeros.

Dentro del extenso grupo de enfermedades de transmisión hídrica merecen destacarse por su importancia: las enfermedades diarréicas agudas, el cólera, la fiebre tifoidea y la hepatitis infecciosa. Otras enfermedades ocasionadas por agentes biológicos, transmitidas por contacto con el agua son la anquilostomiasis, la estrongiloidiasis, la amibiasis, la giardiasis, la leptospirosis y la esquistosomiasis.

II.2.2 Riesgos químicos relacionados con el agua de consumo

Los seres humanos pueden estar expuestos durante la mayor parte de su vida a niveles bajos de una amplia variedad de sustancias químicas ambientales.

Generalmente el grado de exposición es insuficiente para producir signos manifiestos de toxicidad y por esta razón no es posible, en la mayoría de los casos, establecer relaciones de causa-efecto. Además la exposición simultánea a varias sustancias químicas a través de los diferentes elementos del ambiente, hace más difícil la evaluación del grado de peligrosidad vinculado a una sola de ellas.

Cuando un organismo está expuesto a una o más sustancias químicas, la acción continua de éstas puede ser:

- a) **Independiente:** cuando las sustancias producen diferentes efectos o tienen modalidades de acción distinta.
- b) **Aditiva:** cuando la magnitud de un efecto o respuesta producida por dos o más sustancias es numéricamente igual a la suma de los efectos o respuestas que producirían individualmente.
- c) **Sinérgica o de potenciación:** Cuando el efecto es más que aditivo.
- d) **Antagónica o inhibitoria:** Cuando el efecto se disminuye por la interacción entre las sustancias químicas.

Algunos contaminantes químicos, si exceden de cierta concentración o límite, pueden constituir un riesgo tóxico directo cuando se ingieren con el agua, tal es el caso, por ejemplo, de los nitratos, el arsénico y el plomo. Otros elementos del agua, como los fluoruros pueden resultar beneficiosos a la salud, aunque pueden afectarla al variar sus concentraciones en este medio (por exceso o defecto); igual ocurre con otros elementos químicos habituales de la misma.

Existen cuatro grupos de microcontaminantes de gran importancia para la salud:

1. Disolventes clorados
2. Insecticidas y herbicidas
3. Productos no volátiles de la cloración
4. Productos de reacción de otros oxidantes

II.3 FUENTES DE CONTAMINACIÓN

La contaminación de las aguas puede proceder de fuentes naturales o de actividades humanas. En la actualidad la más importante, sin duda, es la provocada por el hombre. El desarrollo y la industrialización suponen un mayor uso de agua, una gran generación de residuos, muchos de los cuales van a parar al agua, y el uso de medios de transporte fluviales y marítimos que, en muchas ocasiones, son causa de contaminación de las aguas.

En este capítulo se consideran las **fuentes** naturales y antropogénicas de contaminación, estudiando dentro de estas últimas las industriales, los vertidos urbanos, las procedentes de la navegación y la de las actividades agrícolas y ganaderas.

1. Naturales

Algunas fuentes de contaminación del agua son naturales. Por ejemplo, el mercurio que se encuentra naturalmente en la corteza de la Tierra y en los océanos contamina la biosfera mucho más que el procedente de la actividad humana. Algo similar pasa con los hidrocarburos y con muchos otros productos.

Normalmente las fuentes de contaminación natural son muy dispersas y no provocan concentraciones altas de polución, excepto en algunos lugares muy concretos. La contaminación de origen humano, en cambio, se concentra en zonas concretas y, para la mayor parte de los contaminantes, es mucho más peligrosa que la natural.

2. De origen humano

Hay **cuatro** focos principales de contaminación antropogénica:

- a. Industria.** Según el tipo de industria se producen distintos tipos de residuos. Normalmente en los países desarrollados muchas industrias poseen eficaces sistemas de depuración de las aguas, sobre todo las que producen contaminantes más peligrosos, como metales tóxicos. En algunos países en vías de desarrollo la contaminación del agua por residuos industriales es muy importante.

TABLA 2.1

PRINCIPALES CONTAMINANTES GENERADOS POR SECTOR

Sector industrial	Substancias contaminantes principales
Construcción	Sólidos en suspensión, metales, pH.
Minería	Sólidos en suspensión, metales pesados, materia orgánica, pH, cianuros.
Energía	Calor, hidrocarburos y productos químicos.
Textil y piel	Cromo, taninos, tensoactivos, sulfuros, colorantes, grasas, disolventes orgánicos, ácidos acético y fórmico, sólidos en suspensión.
Transporte	Aceites lubricantes, pinturas y aguas residuales.
Navales	Petróleo, productos químicos, disolventes y pigmentos.
Siderurgia	Cascarillas, aceites, metales disueltos, emulsiones, sosas y ácidos.
Química inorgánica	Hg, P, fluoruros, cianuros, amoníaco, nitritos, ácido sulfhídrico, F,

	Mn, Mo, Pb, Ag, Se, Zn, etc. y los compuestos de todos ellos.
Química orgánica	Organohalogenados, organosilícicos, compuestos cancerígenos y otros que afectan al balance de oxígeno.
Fertilizantes	Nitratos y fosfatos.
Pasta y papel	Sólidos en suspensión y otros que afectan al balance de oxígeno.
Plaguicidas	Organohalogenados, organofosforados, compuestos cancerígenos, biocidas, etc.
Fibras químicas	Aceites minerales y otros que afectan al balance de oxígeno.
Pinturas, barnices y tintas	Compuestos organoestámicos, compuestos de Zn, Cr, Se, Mo, Ti, Sn, Ba, Co, etc.

b. Vertidos urbanos

La actividad doméstica produce principalmente residuos orgánicos, pero el alcantarillado arrastra además todo tipo de sustancias: emisiones de los automóviles (hidrocarburos, plomo, otros metales, etc.), sales, ácidos, etc.

c. Navegación

Produce diferentes tipos de contaminación, especialmente con hidrocarburos. Los vertidos de petróleo, accidentales o no, provocan importantes daños ecológicos.

Según el estudio realizado por el Consejo Nacional de Investigación de los EEUU, en 1985 se vertieron al mar unas 3.200.000 toneladas de hidrocarburos. A lo largo de la década de los ochenta se tomaron diversas medidas para disminuir la contaminación de los mares y la Academia de las Ciencias de EEUU estimaba que se habían reducido en un 60% los vertidos durante estos años. Se puede calcular que en 1989 se vertieron al océano algo más de 2.000.000 de toneladas. De esta cifra el mayor porcentaje corresponde a las aguas residuales urbanas y a las descargas industriales (en total más del 35%). Otro tercio correspondería a vertidos procedentes de buques (más por operaciones de limpieza y similares, aunque su valor va disminuyendo en los últimos años, que por accidentes) y el resto a filtraciones naturales e hidrocarburos que llegan a través de la atmósfera.

d. Agricultura y ganadería

Los trabajos agrícolas producen vertidos de pesticidas, fertilizantes y restos orgánicos de animales y plantas que contaminan de una forma **difusa** pero muy notable las aguas.

Se llama directos a los vertidos que no se hacen a través de redes urbanas de saneamiento, y por tanto son más difíciles de controlar y depurar.

TABLA 2.2

EQUIVALENTES DE POBLACIÓN

(contaminantes expresados en DBO o similar)

Fuente de desechos	Equivalentes población	Fuente de desechos	Equivalentes población
Hombre	1	Vaca	16.4
Plaza de guardería	0.5	Caballo	11.3
Plaza de escuela	0.6	Gallina	0.014
Plaza de camping	0.7	Oveja	2.45
Plaza de hotel	2.1	Cerdo	3
Plaza de hospital	4.0		

Nota: El equivalente de población es el volumen de agua residual o la carga contaminante producida por una persona en una vivienda normal.

Estudio de Caso: Aguas Subterráneas

Las aguas subterráneas son una de las principales fuentes de suministro para uso doméstico y para el riego en muchas partes del mundo. En muchos lugares en los que las precipitaciones son escasas e irregulares pero el clima es muy apto para la agricultura son un recurso vital y una gran fuente de riqueza, ya que permiten cultivar, productos muy apreciados en los mercados internacionales.

Las aguas subterráneas suele ser más difíciles de contaminar que las superficiales, pero cuando esta contaminación se produce, es más difícil de eliminar. Sucede esto porque las aguas del subsuelo tienen un ritmo de renovación muy lento. Se calcula que mientras el tiempo de permanencia medio del agua en los ríos es de días, en un acuífero es de cientos de años, lo que hace muy difícil su purificación.

Problemas en el uso de las aguas subterráneas

La explotación incorrecta de las aguas subterráneas origina varios problemas. En muchas ocasiones la situación se agrava por el reconocimiento tardío de que se está deteriorando el acuífero, porque como el agua subterránea no se ve, el problema puede tardar en hacerse evidente. Los principales problemas son:

a) Por agotamiento del acuífero

Un buen uso de las aguas subterráneas exige tener en cuenta que, en los lugares en que las precipitaciones son escasas, los acuíferos se van cargando de agua muy lentamente y si se consumen a un ritmo excesivamente rápido, se agotan. Cuando se produce explotación intensiva, sequía u otras causas que van disminuyendo el nivel del agua contenida en el acuífero se derivan problemas ecológicos.

Cuando estos acuíferos se encuentran en la costa, al ir vaciándose de agua dulce, van siendo invadidos por agua salada (intrusión) y queda inutilizados para el uso humano.

b) Por contaminación de las aguas subterráneas.

Se suelen distinguir dos **tipos de procesos contaminantes** de las aguas subterráneas: los "puntuales" que afectan a zonas muy localizadas, y los "difusos" que provocan

contaminación dispersa en zonas amplias, en las que no es fácil identificar un foco principal.

Actividades que suelen provocar **contaminación puntual** son:

- Lixiviados de vertederos de residuos urbanos y fugas de aguas residuales que se infiltran en el terreno.
- Lixiviados de vertederos industriales, jales mineros, depósitos de residuos radiactivos o tóxicos mal aislados, gasolineras con fugas en sus depósitos de combustible, etc.
- Pozos sépticos y acumulaciones de excretas procedentes de las granjas.

Este tipo de contaminación suele ser más intensa junto al lugar de origen y se va diluyendo al alejarnos. La dirección que sigue el flujo del agua del subsuelo influye de forma muy importante en determinar en que lugares los pozos tendrán agua contaminada y en cuáles no. Puede suceder que un lugar relativamente cercano al foco contaminante tenga agua limpia, porque la corriente subterránea aleja el contaminante de ese lugar, y al revés.

La **contaminación difusa** suele estar provocada por:

- Uso excesivo de fertilizantes y pesticidas en la agricultura o en las prácticas forestales.
- Explotación excesiva de los acuíferos que facilita el que las aguas salinas invadan la zona de aguas dulces, por desplazamiento de la interfase entre los dos tipos de aguas.

Este tipo de contaminación puede provocar situaciones especialmente preocupantes con el paso del tiempo, al ir cargándose de contaminación, lenta pero continuamente, zonas muy extensas.

Los acuíferos tienen una cierta **capacidad de autodepuración**, mayor o menor según el tipo de roca y otras características. Las sustancias contaminantes, al ir el agua avanzando entre las partículas del subsuelo se filtran y dispersan y también son neutralizadas, oxidadas, reducidas o sufren otros procesos químicos o biológicos que las degradan. De esta manera el agua va limpiándose.

Cuando la estructura geológica del terreno facilita una zona amplia de aireación, los procesos de depuración son más eficaces. También es muy favorable la abundancia de arcillas y de materia orgánica. En cambio en los depósitos aluviales o las zonas kársticas la purificación del agua es mucho más difícil y este tipo de acuíferos son mucho más sensibles a la contaminación.

Es muy importante, de todas formas, tener en cuenta que las posibilidades de depuración en el acuífero son limitadas y que el mejor método de protección es, por tanto, la prevención. No contaminar, controlar los focos de contaminación para conocer bien sus efectos y evitar que las sustancias contaminantes lleguen al acuífero son los mejores métodos para poder seguir disfrutando de ellos sin problemas.

Cuando un acuífero está contaminado y hay que limpiarlo el proceso es muy difícil y muy caro. Se han usado procedimientos que extraen el agua, la depuran y la vuelven a

inyectar en el terreno, pero no siempre son eficaces y consumen una gran cantidad de energía y dinero

Controlar la calidad de las aguas subterráneas es más caro y difícil que hacerlo con las superficiales.

Los principales problemas de los acuíferos son de contaminación difusa. Principalmente por contaminación con nitratos y por invasión de agua salada. Las contaminaciones puntuales no son un grave problema, exceptuando algunas zonas muy concretas en núcleos industriales o junto a grandes poblaciones.

El exceso de nitratos se da precisamente en las zonas en las que los acuíferos son más utilizados. En zonas cálidas en las que se puede usar agua subterránea para regar, las cosechas pueden ser muy buenas y tempranas, lo que posibilita muy buenos rendimientos económicos. Por eso se cultiva más intensamente y el campo necesita ser fertilizado con nitratos. Si se usa una cantidad excesiva de estos, el agua los acaba arrastrando al acuífero y se establece un ciclo que hace que cada vez haya más compuestos de nitrógeno acumulados en las aguas subterráneas.

El otro proceso preocupante es el de entrada de agua salada en los acuíferos cuando estos son sobreexplotados. Cuando los acuíferos limitan con aguas subterráneas salinas, situadas bajo el mar, y cuando se retira demasiada agua dulce de ellos, la interfase se desplaza, penetrando el agua salina en zonas en las que sólo había agua dulce hasta entonces. Cuando pasa esto no sólo se ve amenazado el suministro de agua para las poblaciones y el regadío, sino que también se producen daños en los ecosistemas que dependían de la descarga de aguas de estos acuíferos.

II.4 CONTROL SANITARIO

El agua se necesita en cantidad y con calidad, y tanto la dotación por habitante por día debe estar regulada como la calidad del producto. La Organización Mundial de la Salud, ha planteado que el 80% de las enfermedades se eliminarían con adecuado abastecimiento de agua y correcto saneamiento (adecuado tratamiento y disposición de residuales líquidos y residuos sólidos).

TABLA 2.3

PRINCIPALES PROBLEMAS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN MÉXICO¹

Deterioro de la calidad

- La mayoría de los cuerpos de agua superficiales reciben aguas residuales sin tratar
- La información existente para tomar decisiones es parcial, escasa e inadecuada
- Se ha privilegiado la cantidad y provisión de servicios sobre la calidad del agua

Indicadores

- Predomina el uso el ICA (Índice de Calidad del Agua) como parámetro de referencia, aún cuando hay indicadores más precisos y actualizados.
- Algunos microorganismos indicadores usados en zonas templadas se reproducen rápidamente en las regiones tropicales del país, y por ello no son los más adecuados.
- El monitoreo de la calidad es deficiente y la medición bacteriológica inconstante

<p>Tratamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Es insuficiente el tratamiento del agua para consumo humano en zonas rurales ● Las aguas mexicanas no son adecuadas para ser desinfectadas sólo por cloración ● Resulta obsoleto tomar decisiones basadas en parámetros inorgánicos ● Los patógenos son resistentes a la mayoría de los desinfectantes ● La información sobre patógenos nuevos y bacterias ambientales capaces de proliferar en sistemas de distribución es escasa. ● La proporción de tratamientos de aguas residuales en ciudades es aún muy baja. ● Los lodos sin tratar podrían convertirse en un grave problema ambiental
<p>Salud</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Presencia recurrente de coliformes fecales en el agua para consumo humano. ● Escaso control de enfermedades transmitidas por agua en zonas recreativas. ● La interacción del cloro para desinfectar con la materia orgánica representa un grave riesgo para la salud humana.
<p>Instrumentos jurídicos</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Algunas disposiciones se sustentan en criterios obsoletos de otros países. ● Las NOM sobre contaminación del agua ignoran importantes aspectos biológicos. ● No hay obligación legal de monitorear parámetros fisicoquímicos.

II.5 ETAPAS EN EL PROCESO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

El proceso de abastecimiento de agua potable está conformado por las siguientes cinco etapas:

1. EXPLOTACIÓN

Las fuentes de abastecimiento de aguas pueden ser divididas en superficiales y subterráneas, el empleo de una u otra fuente está en función de su posibilidad de ser explotada y transportada, así como de su calidad, entendiéndose ésta como el cumplimiento de la serie de normas que han sido diseñadas para cumplir con los parámetros que permitan su aprovechamiento sin riesgo para la salud humana.

Las fuentes superficiales están compuestas por los ríos, arroyos, lagos, lagunas o cualquier otro cuerpo de agua que esté presente sobre la superficie del suelo, entre éstas podemos incluir a los manantiales.

La carencia de aguas superficiales o más aún, la falta de calidad en las existentes obliga a que se realicen mayores trabajos y métodos de aprovisionamiento en la extracción y elevamiento de las aguas subterráneas.

Para realizar un estudio exploratorio de las aguas subterráneas, es necesario un conocimiento básico de los diferentes tipos de formaciones subterráneas que la contienen. Cuando se piensa explotar un acuífero, es necesario distinguir dos tipos: el confinado y el no confinado.

El acuífero no confinado es aquel que está abierto a la infiltración de agua directamente de la superficie del suelo.

Un acuífero confinado es aquel en el que el suelo que contiene al agua, está cubierto con una capa de suelo impermeable.

Básicamente, de un acuífero no puede extraerse más agua de la que entra por la recarga natural. Otra limitante es que el nivel del agua freática no se debe bajar tanto, que el agua contaminada de otros lugares pueda ser arrastrada hacia el acuífero, por lo tanto, el rendimiento asegurado de un acuífero es la extracción máxima permanente que se puede obtener de una fuente de agua subterránea.

2. CONDUCCIÓN

El abastecimiento de agua a cualquier núcleo urbano se hará por medio de una conducción y deberá de proveerse a la población de un caudal con calidad potable que satisfaga las necesidades de este líquido vital.

La línea de conducción es la parte del sistema que transporta el agua desde el sitio de la captación, generalmente hasta un tanque de regularización.

Las líneas de conducción pueden trabajar a superficie libre (canales) o a presión, y las tuberías pueden funcionar por gravedad o por bombeo.

La tubería de la conducción, normalmente se diseña para conducir, de manera constante, el volumen de agua para un día de máximo consumo. Por lo tanto, las variaciones en ese día, serán absorbidas por una instalación que las regularizará (generalmente un tanque).

3. POTABILIZACIÓN

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características físicas, químicas, bacteriológicas y organolépticas.

Con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua de los sistemas, hasta la entrega al consumidor, se debe someter ésta a tratamientos de potabilización.

Debido a esto, la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSAI-1994 establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano que deben de cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya en todo el territorio nacional.

4. REGULARIZACIÓN Y ALMACENAMIENTO

El consumo de agua potable varía a lo largo del día, siendo este mayor durante ciertos periodos del día y mínimo durante otros, esta variación depende del nivel socioeconómico de la población y del tamaño de la localidad. Debido a lo anterior, es necesario regular su gasto ya que sería antieconómico y en algunas ocasiones no factible técnicamente, el seguir las variaciones de la demanda.

Para balancear el gasto constante que proviene de la fuente con la demanda variable de la población, se construyen tanques que tiene el fin de regular el agua. La capacidad de

éstos debe de ser suficiente para cubrir las diferencias acumuladas entre el suministro de la fuente y la demanda.

El cálculo de la capacidad necesaria de regularización puede hacerse por procedimientos analíticos o gráficos, siempre que se conozca la variación de la demanda.

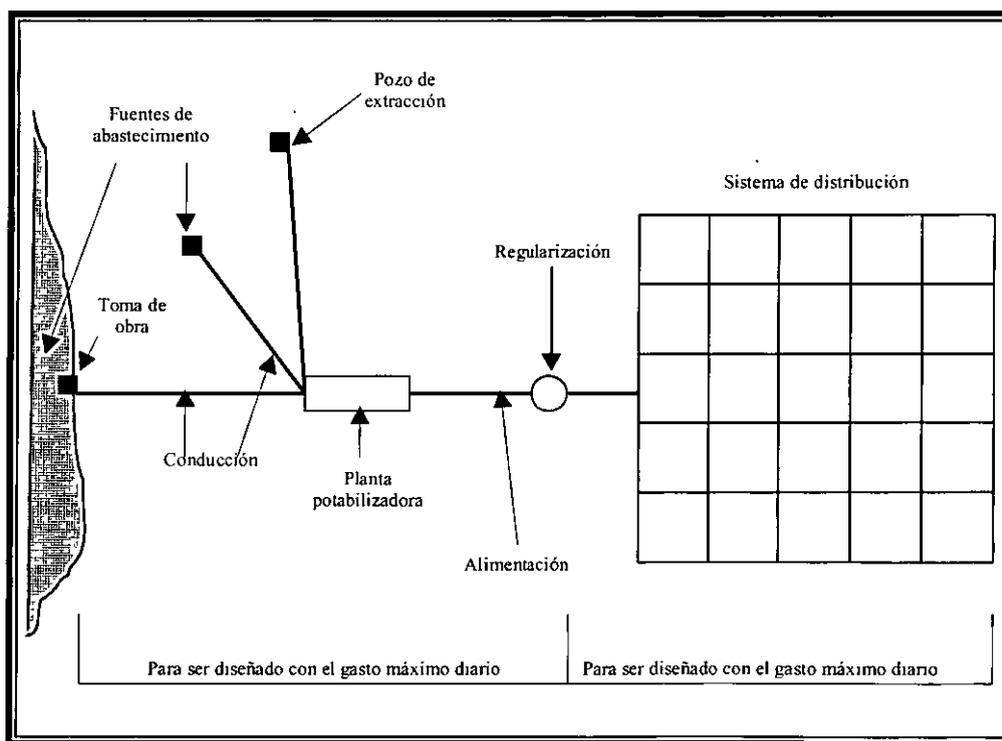
5. DISTRIBUCIÓN

La red de distribución consiste en una serie de tuberías subterráneas que tienen por objeto entregar el agua a los usuarios de acuerdo con un nivel de servicio.

Una red de distribución está compuesta por tuberías, cruceros, válvulas, hidrantes y bombas. Las tuberías de la red de distribución sirven para distribuir el agua y; para efectos de diseño, su funcionamiento hidráulico se define por el gasto que circula por las mismas y las pérdidas de carga por fricción.

Las válvulas sirven para aislar los tramos de tubería cuando se requieren operaciones de mantenimiento y reparación. Las tuberías de la red se dividen en líneas de alimentación, que es la que suministra con agua toda la red; las tuberías principales que siguen en importancia, en cuanto al gasto que por ellas escurra, a la línea de alimentación y las tuberías secundarias que son las líneas de menor diámetro que salen de las tuberías principales para cubrir el resto de las calles y en las cuales se ubican las tomas de los diferentes consumidores.

FIGURA 2.1



Componentes que integran un sistema de abastecimiento.

ETAPAS DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA

II.6 ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL AGUA⁴

II.6.1 Enfermedades transmitidas por el agua (Grupo 1)

Las enfermedades transmitidas por el agua son enfermedades producidas por el "agua sucia" - las causadas por el agua que se ha contaminado con desechos humanos, animales o químicos. Mundialmente, la falta de servicios de evacuación sanitaria de desechos y de agua limpia para beber, cocinar y lavar es la causa de más de 12 millones de defunciones por año.

Son enfermedades transmitidas por el agua el cólera, fiebre tifoidea, shigella, poliomielitis, meningitis y hepatitis A y E. Los seres humanos y los animales pueden actuar de huéspedes de bacterias, virus o protozoos que causan estas enfermedades. Millones de personas tienen poco acceso a servicios sanitarios de evacuación de desechos o a agua limpia para la higiene personal. Se estima que 3,000 millones de personas carecen, por ejemplo, de servicios higiénicos. Más de 1,200 millones de personas están en riesgo porque carecen de acceso a agua dulce salubre.

En lugares que carecen de instalaciones de saneamiento apropiadas, las enfermedades transmitidas por el agua pueden propagarse con gran rapidez. Esto sucede cuando excrementos portadores de organismos infecciosos son arrastrados por el agua o se lixivian en los manantiales de agua dulce contaminando el agua potable y los alimentos. La magnitud de la propagación de estos organismos infecciosos en un manantial de agua dulce determinado depende de la cantidad de excremento humano y animal que éste contenga.

Las enfermedades diarreicas, las principales enfermedades transmitidas por el agua, prevalecen en numerosos países en los que el tratamiento de las aguas servidas es inadecuado. Los desechos humanos se evacúan en letrinas abiertas, canales y corrientes de agua, o se esparcen en las tierras de labranza. Según las estimaciones, todos los años se registran 4.000 millones de casos de enfermedades diarreicas, que causan 3 a 4 millones de defunciones, sobre todo entre los niños.

El uso de aguas servidas como fertilizante puede provocar epidemias o enfermedades como el cólera. Estas enfermedades pueden incluso volverse crónicas en lugares donde los suministros de agua limpia son insuficientes.

A principios de los años noventa, por ejemplo, las aguas servidas sin tratar que se utilizaban para fertilizar campos de hortalizas ocasionaron brotes de cólera en Chile y Perú (115, 174). En Buenos Aires, Argentina, una "villa miseria" sufrió continuos brotes de cólera, hepatitis y meningitis porque sólo 4% de las viviendas tenían agua corriente o servicios higiénicos adecuados, mientras la alimentación deficiente y el poco acceso a los servicios médicos agravaban los problemas de salud.

Las sustancias tóxicas que van a terminar al agua dulce son otra causa de enfermedades transmitidas por el agua. Cada vez más se encuentran en los suministros de agua dulce productos químicos para la agricultura, fertilizantes, plaguicidas y desechos industriales. Esos productos químicos, aun en bajas concentraciones, con el tiempo pueden acumularse y, finalmente, causar enfermedades crónicas como cánceres entre las personas que usan esas aguas.

Los problemas de salud derivados de los nitratos presentes en las fuentes del agua se están convirtiendo en una seria preocupación en casi todas partes. En más de 150 países, los nitratos procedentes de los fertilizantes se han filtrado en los pozos de agua, ensuciando el agua para beber. Las concentraciones excesivas de nitratos causan trastornos sanguíneos. Además, los altos niveles de nitratos y fosfatos en el agua estimulan el crecimiento de algas verde-azules, que llevan a la desoxigenación (eutrofización). Se requiere oxígeno para el metabolismo de los organismos que sirven de depuradores, descomponiendo la materia orgánica, como los desechos humanos, que contaminan el agua. De allí que la cantidad de oxígeno contenida en el agua sea un indicador clave de la calidad del agua.

Plaguicidas como el DDT y el heptaclor, que se utilizan en la agricultura, suelen escurrirse del agua de riego. Su presencia en el agua y en productos alimenticios tienen repercusiones alarmantes en la salud humana pues es sabido que causan cáncer y también pueden causar recuentos bajos de espermatozoides y enfermedades neurológicas. En Dacca, Bangladesh, los residuos de heptaclor en las fuentes del agua han alcanzado niveles de 0,789 microgramos por litro —más de 25 veces el máximo de 0,03 microgramos por litro recomendado por la OMS.

También en un estudio realizado en Venezuela en el que se recogió agua durante la estación lluviosa se encontró que el agua estaba contaminada con varios plaguicidas. Al examinarse a las mujeres embarazadas de la zona se encontró que todas tenían residuos de DDT en la leche —toxinas éstas que pueden pasar al lactante.

La filtración de contaminantes tóxicos en los depósitos de agua subterránea o superficial utilizada para beber o para uso doméstico también causa problemas de salud en los países industrializados. En Europa y Rusia la contaminación del agua pone en riesgo la salud de unos 500 millones de personas. En el norte de Rusia, por ejemplo, medio millón de personas de la península Kola beben agua contaminada con metales pesados, práctica que ayuda a explicar las altas tasas de mortalidad infantil y las enfermedades diarreicas e intestinales allí notificadas.

Prevención y soluciones

El mejoramiento del saneamiento público y la provisión de agua limpia son los dos pasos necesarios para prevenir la mayoría de las enfermedades transmitidas por el agua y las muertes resultantes. En particular, la construcción de letrinas sanitarias y el tratamiento de las aguas servidas para permitir la biodegradación de los desechos humanos ayudarán a contener las enfermedades causadas por la contaminación. Habrá que separar al menos los sólidos de las aguas servidas para que estén menos contaminadas. Es importante que el suministro de agua potable se brinde simultáneamente con las instalaciones sanitarias apropiadas puesto que estos dos servicios se refuerzan mutuamente y limitan la propagación de infecciones.

Numerosos estudios vinculan el mejoramiento del saneamiento y la provisión de agua potable a los notables descensos de la morbilidad y mortalidad relacionadas con el agua. En un examen realizado en 1991 de más de 100 estudios de los efectos del agua potable y el saneamiento en la salud humana se encontró que la reducción media de las

defunciones por enfermedades relacionadas con el agua era del 69% entre las personas con acceso a agua potable y saneamiento apropiado.

La provisión de agua potable y saneamiento contribuye a reducir considerablemente la mortalidad infantil. De acuerdo con un examen de 144 estudios de los años ochenta, las defunciones de lactantes y niños bajaron en promedio 55% como resultado de la provisión de agua potable y saneamiento. En un estudio de países en los que las tasas de mortalidad de niños menores de un año bajaron notablemente -como en Costa Rica, donde descendieron de 68 defunciones por 1.000 nacidos vivos en los años setenta a sólo 20 por 1.000 en los años ochenta- los investigadores atribuyeron tres cuartos de la declinación de la mortalidad a los proyectos de agua y saneamiento provistos como parte de los programas rurales de salud comunitaria.

Si bien es muy costoso construir sistemas de abastecimiento de agua dulce e instalaciones de saneamiento, es asombroso lo que puede costar *no* hacerlo. En Karachi, Pakistán, por ejemplo, un estudio reveló que las personas pobres que vivían en zonas sin ningún saneamiento ni educación sobre higiene gastaban seis veces más en atención médica que las personas que vivían en zonas con acceso a servicios de saneamiento y que tenían conocimientos básicos de higiene doméstica.

II.6.2 Enfermedades con base en el agua (Grupo 2)

En las enfermedades con base en el agua los causantes son organismos acuáticos que pasan parte de su ciclo vital en el agua y otra parte como parásitos de animales.

Estos organismos pueden prosperar tanto en aguas contaminadas como no contaminadas. Como parásitos, generalmente toman forma de gusanos y se valen de vectores animales intermediarios como los caracoles para prosperar, y luego infectan directamente al hombre, penetrando a través de la piel o al ser tragados por éste.

Son enfermedades con base en el agua la dracunculosis, causada por el gusano de Guinea, paragonimiasis, clonorquiasis y esquistosomiasis. Los causantes de estas enfermedades son una variedad de gusanos trematodos, tenias, vermes cilíndricos y nematodos vermiformes, denominados colectivamente helmintos, que infectan al hombre. Aunque estas enfermedades generalmente no son mortales, pueden ser extremadamente dolorosas e impiden trabajar a quienes las padecen, e incluso a veces impiden el movimiento.

La prevalencia de enfermedades con base en el agua suele aumentar cuando se construyen presas, pues el agua estancada detrás de las presas es ideal para los caracoles, huéspedes intermediarios de muchos tipos de gusanos. Por ejemplo, la presa de Akosombo, en el lago Volta, en Ghana, y la alta presa de Aswan, en el Nilo, Egipto, han contribuido al enorme incremento de la esquistosomiasis en estas zonas. También en Mali se encontró en un estudio de 225 aldeas de distintos entornos ecológicos que la prevalencia de esquistosomiasis urinaria era cinco veces mayor en las aldeas con pequeñas presas (67%) que en las aldeas más secas de la sabana (13%).

II.6.3 Enfermedades de origen vectorial relacionadas con el agua (Grupo 3)

Millones de personas sufren de infecciones transmitidas por vectores -insectos u otros animales capaces de transmitir una infección, como los mosquitos y las moscas tsetsé-

que se crían y viven cerca de aguas contaminadas y no contaminadas. Esos vectores infectan al hombre con paludismo, fiebre amarilla, dengue, enfermedad del sueño y filariasis. El paludismo, la enfermedad más extendida, es endémico en unos 100 países en desarrollo, y unos 2,000 millones de personas están en riesgo de contraerla. Se estima que en el África subsahariana el costo del paludismo en concepto de tratamiento y productividad perdida es de US\$1,700 millones anuales.

La incidencia de enfermedades de origen vectorial relacionadas con el agua parece estar aumentando. Hay numerosas razones para ello: la gente está desarrollando resistencia a los medicamentos antipalúdicos; los mosquitos están desarrollando resistencia al DDT, el insecticida que más se usa; los cambios ambientales están creando nuevos lugares de cría; a raíz de la migración, los cambios climáticos y la creación de nuevos hábitats, hay menos personas que desarrollan inmunidad a la enfermedad; y muchos programas de control del paludismo se llevan a cabo a un ritmo más lento o se han abandonado.

La falta de una ordenación apropiada de las aguas y de adopción de medidas de prevención contribuye a la creciente incidencia de paludismo, filariasis y oncocercosis. Los proyectos de construcción suelen ser la causa del aumento de la población de mosquitos, al convertirse los charcos de agua estancada, aunque sean de breve duración, en lugares de cría. Por ejemplo, en África occidental una epidemia de fiebre del Valle del Rift que tuvo lugar en 1987 se vinculó al Proyecto del Río Senegal. En este proyecto se anegó la zona baja del río Senegal, lo que permitió que el tipo de mosquito portador del virus se extendiera tanto que el virus se transmitió a los seres humanos en lugar de permanecer en los huéspedes animales habituales.

Prevención y soluciones

La solución para las enfermedades de origen vectorial relacionadas con el agua parecería ser clara: eliminar los insectos que transmiten las enfermedades. Pero de la teoría a la práctica hay un largo trecho, pues los pesticidas mismos pueden ser dañinos para la salud si pasan al agua para beber o para el riego. Además, muchos insectos desarrollan resistencia a los plaguicidas, y las enfermedades pueden surgir otra vez bajo nuevas formas.

Otras técnicas de control de estas enfermedades son el uso de mosquiteros en la cama y la introducción de depredadores naturales e insectos estériles. En Gujarat, India, por ejemplo, una parte importante de un proyecto de control de vectores de enfermedades era la cría de olominas -peces que comen las larvas de los mosquitos- en masas de agua, mientras simultáneamente se eliminaba por completo el uso de insecticidas. Un método económico para controlar los insectos vectores es el uso de esferas de poliestireno que flotan en la superficie de masas de agua estáticas. Como las esferas cubren la superficie del agua, las larvas de los mosquitos mueren por falta de aire.

Otra forma de controlar los vectores consiste en el saneamiento de las especies mediante métodos biológicos y la ordenación del hábitat para reducir o eliminar los lugares naturales de cría de los vectores de enfermedades. Esos métodos pueden consistir en rellenar y desecar las masas de agua estancada; tapar los contenedores donde se almacena el agua; eliminar los sitios de cría de mosquitos mediante la limpieza periódica de malezas de los canales, embalses y viveros de peces; instalar sistemas de riego por

aspersión y por goteo en lugar de acequias; y revestir los canales para prevenir la formación de depósitos de limo que impiden que corra el agua. Además, la integración de la educación sobre la prevención de enfermedades en los servicios de salud y el estímulo de la discusión sobre la prevención en la comunidad ayudarían a las personas a controlar los vectores y a reconocer y eliminar los sitios de cría poco visibles.

II.6.4 Enfermedades vinculadas a la escasez de agua (Grupo 4)

Se considera que muchas otras enfermedades —inclusive el tracoma, lepra, tuberculosis, tos ferina, tétanos y difteria— están vinculadas a la escasez de agua (también conocidas como enfermedades vinculadas a la falta de higiene) porque prosperan en condiciones de escasez de agua y saneamiento deficiente. Las infecciones se transmiten cuando se dispone de muy poca agua para lavarse las manos. Estas enfermedades, galopantes en la mayor parte del mundo, pueden controlarse eficazmente con mejor higiene, para lo cual es imprescindible tener agua adecuada.

Algunas enfermedades parasitarias que generalmente no se consideran relacionadas con el agua y cuyo alcance era anteriormente limitado han estado extendiéndose rápidamente con el aumento de la población y la contaminación de los suministros de agua. La cisticercosis, por ejemplo, una enfermedad habitualmente producida por las tenias que se encuentran en la carne poco cocinada del cerdo, y limitada a las zonas rurales, se extendió rápidamente en la ciudad de México a principios de los años ochenta. Al crecer desmesuradamente la población de la ciudad, el parásito se multiplicó en el agua sumamente contaminada del río Tula, que suministra gran parte del agua para beber de los asentamientos precarios de las afueras de la ciudad. Decenas de miles de personas que vivían aguas abajo del sistema de alcantarillado de la ciudad se infectaron.

CAPÍTULO III. AGUAS RESIDUALES Y REUSO

III.1 DEFINICIÓN DE AGUA RESIDUAL

Se denomina aguas servidas a aquellas que resultan del uso doméstico o industrial del agua. Se les llama también aguas residuales, aguas negras o aguas cloacales.

Son residuales pues, habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; son negras por el color que habitualmente tienen.

Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales.

En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno.

III.2 CONSECUENCIAS DEL USO EXCESIVO DEL AGUA Y LA CONTAMINACIÓN

El uso excesivo y la contaminación de los recursos de agua dulce del mundo son fenómenos de reciente fecha. Se desconocen las consecuencias a largo plazo, pero ya han infligido grave daño al medio ambiente y presentan riesgos crecientes a numerosas

especies. El agua contaminada y la falta de saneamiento también están incubando una tragedia sanitaria humana. Además, el triste estado de los recursos de agua dulce contribuye a deteriorar las aguas adyacentes a la costa y los mares

Se estima que en 1996 la población humana del mundo estaba usando 54% del agua dulce accesible contenida en los ríos, lagos y acuíferos subterráneos. Según proyecciones conservadoras, este porcentaje ascenderá por lo menos a 70% en 2025, si se tiene en cuenta sólo el crecimiento de la población, y mucho más si el consumo per cápita continúa aumentando al ritmo actual. A medida que la humanidad extrae una proporción creciente de la totalidad del agua, va quedando menos para mantener los ecosistemas vitales de los que también dependemos.

Se necesita una porción considerable del total de agua dulce disponible en el ciclo hidrológico para sostener los ecosistemas acuáticos naturales -ciénagas, ríos, zonas pantanosas costeras- y los millones de especies que albergan. Los ecosistemas naturales sanos son reguladores indispensables de la calidad y la cantidad del agua. Por ejemplo, las llanuras aluviales absorben y almacenan agua cuando los ríos anegan las orillas, reduciendo el daño aguas abajo.

El valor de estos servicios ambientales a la humanidad es inmenso. Robert Costanza, director del Instituto de Economía Ecológica de la Universidad de Maryland, estima que el valor global de las zonas pantanosas se aproximan a los US\$5 trillones por año, basándose en su valor como reguladoras de las inundaciones, plantas de tratamiento de desechos y hábitats silvestres y para la producción y recreación de las pesquerías, entre otros usos. La ciudad de Nueva York está gastando US\$1.000 millones para conservar y proteger las zonas acuícolas de captura en el norte del estado de Nueva York -la fuente de agua para beber de la ciudad.

La alternativa sería gastar \$5.000 millones en una planta de filtración cuya operación costaría otros \$300 millones por año. En prácticamente todas las regiones del mundo, el uso descuidado de los recursos hídricos está dañando el medio ambiente natural. Globalmente, más de 20% de todas las especies de peces de agua dulce corren peligro o son vulnerables, o se han extinguido recientemente. Como lo demuestran los ejemplos siguientes, la utilización excesiva o errónea de los recursos de agua dulce acarrea serias consecuencias para las especies naturales y para las poblaciones humanas:

- La desviación de las aguas del río Nilo, junto con la acumulación de sedimentos atrapados detrás de los diques y presas, ha causado la contracción del fértil delta del Nilo. De 47 especies comerciales de peces, unas 30 se han extinguido o están prácticamente extintas. Las pesquerías del delta que en un tiempo mantenían a más de un millón de personas han sido aniquiladas.
- El lago Chad, en la región del Sahel, en África, que abarcaba 25.000 kilómetros cuadrados, ha quedado reducido a sólo 2.000 kilómetros cuadrados en los tres decenios últimos a causa de las sequías periódicas y las desviaciones en gran escala del agua para el riego. Las ricas pesquerías del lago de una época se han venido completamente abajo.

- Pese a los trabajos de limpieza, el río Rin, que corre a través de la región industrial de Europa Occidental, está tan contaminado que ha perdido 8 de sus 44 especies de peces. Otras 25 especies son ahora raras o están en peligro de extinción.
- En Colombia, la producción pesquera del río Magdalena bajó de 72.000 toneladas métricas en 1977 a 23.000 toneladas métricas en 1992 —una baja de dos tercios en 15 años— como resultado del desarrollo agrícola, urbano e industrial y de la deforestación en la cuenca del río.
- En el Sudeste de Asia, las pesquerías del río Mekong experimentaron una baja de dos tercios de la producción a causa de los embalses, la deforestación y la conversión de 1.000 kilómetros cuadrados de manglares en arrozales y estanques piscícolas.
- El estado de California, en los Estados Unidos, ha perdido más del 90% de las zonas pantanosas. Como resultado, casi dos tercios de los peces nativos de ese estado se han extinguido, o están en peligro o amenazados de extinción, o en declinación.

En muchos países la demanda siempre creciente de productos forestales y tierras agrícolas, estimulada por el rápido crecimiento de la población y el desarrollo está haciendo peligrar cada vez más los recursos ambientales y el suministro de agua mismo.

Los bosques son importantes reguladores del agua. La estructura de las raíces actúa como esponjas de la naturaleza, absorbiendo el agua y liberándola lentamente a lo largo del año, contribuyendo así al mantenimiento del caudal de los ríos, la reposición del suministro de agua subterránea, la reducción de la erosión del suelo y la liberación de la humedad en la atmósfera. Si se sacan los bosques y las tierras agrícolas sufren erosión, la sedimentación obstruye el cauce de los ríos, las inundaciones se vuelven más frecuentes, las reservas de agua subterránea desaparecen y el clima cambia.

III.3 EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN³

La contaminación está muy generalizada. Pocos países, en desarrollo o industrializados, han protegido adecuadamente la calidad del agua y han controlado su contaminación. Muchos países carecen de normas para controlar el agua de manera adecuada, mientras que otros no pueden hacer cumplir las normas de calidad del agua.

Cada vez más, las organizaciones para el desarrollo internacional piden que los países en desarrollo dediquen más atención a la protección y el mejoramiento de la calidad del agua. El mundo desarrollado también debe gastar y esforzarse más para limpiar las corrientes de agua degradadas, o el desarrollo económico se detendrá y la calidad de la vida decaerá.

La agricultura es el sector que más contaminación produce, más aún que las industrias y las municipalidades. En prácticamente todos los países en los que se aplican fertilizantes agrícolas y plaguicidas, se han contaminado acuíferos subterráneos y el agua de superficie. Los desechos animales son otra fuente de contaminación persistente en algunas zonas. El agua que vuelve a los ríos y arroyos después de haberse utilizado para el riego está a menudo seriamente degradada por el exceso de nutrientes, salinidad, agentes patógenos y sedimentos que suelen dejarla inservible para cualquier otro uso

posterior, a menos de tratarla habitualmente a gran costo en instalaciones depuradoras de agua.

En Estados Unidos, los productos químicos usados en la agricultura, los sedimentos de la erosión y los desechos animales han ensuciado más de 278.000 kilómetros de vías fluviales. Se dice que la agricultura es responsable de 70% de la actual contaminación del agua en los Estados Unidos. En la India, que depende de la agricultura de regadío para abastecerse de alimentos, más de 4 millones de hectáreas de tierra de alta calidad han quedado abandonadas a raíz de la salinización y el anegamiento causados por el riego excesivo.

La tremenda producción de contaminantes del mundo pone a prueba la capacidad de las corrientes de agua para asimilar o librarse de la contaminación. Los ingenieros hidráulicos tienen un dicho: "la solución de la contaminación es la dilución". Este axioma está asumiendo dimensiones alarmantes. Todos los años se arrojan a los ríos, arroyos y lagos aproximadamente 450 kilómetros cúbicos de aguas servidas. Para diluir y transportar esta agua sucia antes de volverla a usar se necesitan otros 6.000 kilómetros cúbicos de agua limpia (un volumen igual a unas dos terceras partes del total anual de la escorrentía de agua dulce utilizable del mundo). De continuar las tendencias actuales, a mediados del próximo siglo se necesitaría todo el caudal fluvial estable del mundo sólo para el transporte y dilución de los contaminantes, según estima la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Países industrializados. Europa y Norteamérica confrontan enormes problemas de contaminación del agua. Más de 90% de los ríos de Europa tienen altas concentraciones de nitrato, sobre todo de productos químicos utilizados en la agricultura, y 5% de ellos tienen concentraciones por lo menos 200 veces mayores que los niveles naturales de nitrato comunes de los ríos no contaminados. En Polonia, tres cuartas partes del agua de los ríos del país están demasiado contaminadas aun para uso industrial.

Más de la mitad de los lagos de Europa son eutróficos a causa de la sobrecarga de nutrientes agrícolas y municipales. La eutrofización es un proceso que ocurre cuando un exceso de nutrientes estimula el crecimiento de algas, las que, cuando se mueren y descomponen, quitan oxígeno al agua. En Europa la eutrofización se ha convertido en uno de los problemas más serios que afectan el agua dulce y los ambientes marinos cercanos a la costa.

La contaminación del agua subterránea en Europa está empeorando. Dentro de 50 años es probable que los acuíferos subterráneos de Europa occidental y central estén contaminados con plaguicidas y fertilizantes. De los 1.600 campos de pozos perforados para extraer agua subterránea en Hungría, 600 ya están contaminados, principalmente con productos químicos utilizados en la agricultura. En la República Checa, 70% de las aguas de superficie están sumamente contaminadas, sobre todo con desechos municipales e industriales. Un 30% de los ríos del país están tan sucios con contaminantes que no hay pez que sobreviva. En Estados Unidos, 40% de las aguas de superficie no son aptas para bañarse ni para pescar, y 48% de los lagos son eutróficos.

Países en desarrollo. La contaminación es un problema inquietante en los países donde la población está creciendo rápidamente, las demandas del desarrollo son grandes y los

gobiernos tienen otras prioridades para las inversiones. En los países en desarrollo, 90% a 95%, término medio, de las aguas negras domésticas y 75% de los desechos industriales se descargan en aguas de superficie sin ningún tratamiento de ninguna clase. Considérense estos ejemplos:

- Los 14 ríos principales de la India están muy contaminados. Estos ríos transportan, juntos, 50 millones de metros cúbicos de aguas negras sin tratar por año a las aguas adyacentes a la costa de la India. Todos los días la ciudad de Nueva Delhi arroja 200 millones de litros de aguas negras sin tratar y 20 millones de litros de desechos industriales al río Yamuna, cuando este pasa a través de la ciudad, camino del Ganges.
- En Tailandia y Malasia el agua está tan contaminada que los ríos suelen contener 30 a 100 veces más agentes patógenos, metales pesados y sustancias tóxicas de la industria y la agricultura que lo permitido por las normas de salud del gobierno.
- Más de tres cuartas partes de 50.000 kilómetros de importantes ríos de China están tan llenos de contaminantes y sedimentos que ya los peces no pueden vivir en ellos. En 1992 las industrias de China descargaron 36.000 millones de toneladas métricas de efluentes no tratados o parcialmente tratados en ríos, arroyos y aguas adyacentes a la costa. En secciones del río Liao, que corre a través de una parte sumamente industrializada del norte de China, se murieron en 1986 casi todos los organismos acuáticos dentro de un radio de 100 kilómetros cuando, en un período de tres meses, se arrojaron al río 1.000 millones de toneladas de desechos industriales.
- En el Gran Sao Paulo, Brasil, todos los días se arrojan al río Tieté 300 toneladas métricas de efluentes no tratados de 1.200 industrias al pasar el río por la ciudad. Como resultado, el río contiene altas concentraciones de plomo, cadmio y otros metales pesados. La ciudad también descarga en el río unas 1.000 toneladas métricas de aguas negras por día, de las cuales sólo 12% se someten a algún tratamiento.
- Karachi, la mayor ciudad de Pakistán, ha abrumado por completo la capacidad de sus antiguas instalaciones de depuración de aguas servidas. A raíz de las frecuentes averías y atascamientos de las cañerías, estas instalaciones a menudo operan a 15% de su capacidad como máximo. La mayor parte de todas las aguas servidas se filtran en el suelo circundante, contaminando los pozos de donde sacan agua para beber los residentes de la ciudad.

III.4 CONTAMINANTES INDUSTRIALES Y MUNICIPALES

Aunque la agricultura sigue siendo la fuente más grande de contaminación del agua, los desechos de las industrias y municipalidades han aumentado enormemente en los últimos decenios. Se estima que entre 200 y 400 productos químicos importantes contaminan los ríos del mundo (160). Los contaminantes industriales, como los desechos de las fábricas de productos químicos, suelen arrojarse directamente a las vías fluviales. El agua arrastra también sales y aceites de las calles de las ciudades. En los vertederos industriales y municipales se produce la lixiviación de metales pesados y cloros orgánicos.

Además, contaminantes como el dióxido sulfuroso y los óxidos de nitrógeno, que se combinan en la atmósfera para formar lluvia ácida, han tenido amplios efectos en los ecosistemas de agua dulce y terrestres. La lluvia ácida hace bajar el pH de los ríos y corrientes de agua. A menos que el calcio (contenido en la piedra caliza) las amortigüe, las aguas acidificadas matan a muchos peces sensibles a la acidez, inclusive el salmón y la trucha. En el suelo, los ácidos pueden liberar metales pesados, como plomo, mercurio y cadmio, que luego se cuelan en las vías de agua.

Algunos de los peores contaminantes son las sustancias químicas sintéticas. En el mundo se usan comúnmente unas 70.000 sustancias químicas diferentes . Se estima que *todos los años se introducen 1.000 compuestos nuevos* . Muchos de ellos llegan a los ríos, lagos y acuíferos subterráneos. En los Estados Unidos solamente, se han detectado más de 700 sustancias químicas en el agua para beber, **129** de las cuales se consideran sumamente tóxicas.

Varias sustancias químicas sintéticas, especialmente el grupo conocido como contaminantes orgánicos persistentes (COP), en los que están incluidos los hidrocarburos halogenados, las dioxinas y los cloros orgánicos como el DDT y los PCB (bifenilos policlorinados) tienen larga vida y son sumamente tóxicos en el ambiente. No se descomponen fácilmente en los procesos naturales y tienden, por tanto, a acumularse en la cadena alimentaria biológica hasta que llegan a presentar riesgos a la salud humana. Por ejemplo, las ballenas beluga que nadan en el río St. Lawrence, altamente contaminado, que conecta el océano Atlántico y los Grandes Lagos de Norteamérica, tienen niveles tan altos de PCB en la grasa que, por ley de Canadá, se califican de "vertederos de desechos tóxicos". Las comunidades indígenas que una vez cazaban estas ballenas, no están autorizadas para hacerlo por los riesgos que presentan a la salud.

III.5 PRINCIPALES TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

En el tratamiento de aguas residuales se pueden distinguir hasta **cuatro etapas** que comprenden procesos químicos, físicos y biológicos:

1. **Tratamiento preliminar**, destinado a la eliminación de residuos fácilmente separables y en algunos casos un proceso de pre-aireación.
2. **Tratamiento primario** que comprende procesos de sedimentación y tamizado.
3. **Tratamiento secundario** que comprende procesos biológicos aerobios y anaerobios y físico-químicos (floculación) para reducir la mayor parte de la DBO.
4. **Tratamiento terciario o avanzado** que está dirigido a la reducción final de la DBO, metales pesados y/o contaminantes químicos específicos y la eliminación de patógenos y parásitos.

Algunos ejemplos de sistemas de tratamiento biológico

Los objetivos del tratamiento biológico son tres:

1. reducir el contenido en materia orgánica de las aguas,
2. reducir su contenido en nutrientes, y
3. Eliminar los patógenos y parásitos.

Estos objetivos se logran por medio de procesos aeróbicos y anaeróbicos, en los cuales la materia orgánica es metalizada por diferentes cepas bacterianas.

a) Estanques de lodos activos

El tratamiento se proporciona mediante difusión de aire por medios mecánicos en el interior de tanques. Durante el tratamiento los microorganismos forman flóculos que, posteriormente, se dejan sedimentar en un tanque, denominado tanque de clarificación. El sistema básico comprende, pues, un tanque de aireación y un tanque de clarificación por los que se hace pasar los lodos varias veces. Los dos objetivos principales del sistema de lodos activados son (1º) la oxidación de la materia biodegradable en el tanque de aireación y (2º) la floculación que permite la separación de la biomasa nueva del efluente tratado.

Este sistema permite una remoción de hasta un 90% de la carga orgánica pero tiene algunas desventajas: en primer lugar requiere de instalaciones costosas y la instalación de equipos electromecánicos que consumen un alto costo energético. Por otra parte produce un mayor volumen de lodos que requieren de un tratamiento posterior por medio de reactores anaeróbicos y/o su disposición en rellenos sanitarios bien instalados.

b) Tratamiento anaerobio

Consiste en una serie de procesos microbiológicos, dentro de un recipiente hermético, dirigidos a la digestión de la materia orgánica con producción de metano.

Es un proceso en el que pueden intervenir diferentes tipos de microorganismos pero que está dirigido principalmente por bacterias. Presenta una serie de ventajas frente a la digestión aerobia: generalmente requiere de instalaciones menos costosas, no hay necesidad de suministrar oxígeno por lo que el proceso es más barato y el requerimiento energético es menor. Por otra parte se produce una menor cantidad de lodo (el 20% en comparación con un sistema de lodos activos), y además este último se puede disponer como abono y mejorador de suelos.

III.6 USO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN AGRICULTURA Y ACUICULTURA⁴

El uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura constituye una de las herramientas más valiosas que tienen los países en vías de desarrollo para controlar la contaminación y hacer frente al reto que constituye incrementar la producción agrícola con un recurso hídrico escaso.

Las aguas residuales constituyen un problema sanitario, pero a su vez un recurso muy apreciado para el riego y la piscicultura; de gran valor económico en áreas desérticas o con estiajes prolongados.

Los nutrientes presentes en las aguas residuales tienen valor como fertilizantes y aumentan el rendimiento de los cultivos, estos nutrientes se conservan en el protoplasma de las algas al tratar las aguas residuales en lagunas de estabilización.

Los tóxicos y microorganismos patógenos presentes en las aguas residuales pueden causar efectos nocivos a la salud y/o a los cultivos, si no se utilizan el tratamiento y el manejo adecuados.

Algunas sustancias presentes en las aguas residuales pueden resultar perjudiciales a los suelos, a corto, mediano o largo plazo, si no se toman las medidas correctivas apropiadas.

La aplicación de aguas residuales, crudas o previamente tratadas, al suelo, campos de cultivo, o estanques de piscicultura constituye en sí un tratamiento adicional que mejora la calidad de las mismas.

III.6.1 Usos agrícolas de las aguas residuales

Principales cultivos:

- Silvicultura
- Forrajes, hierbas, alfalfa, etc.
- Maíz, trigo, cebada, caña de azúcar, remolacha
- Menta, algodón, tabaco.

Sólo con buen manejo y alto grado de tratamiento:

- Frutas
- Vegetales

TABLA 3.1
RENDIMIENTO MAYOR DEBIDO A LOS NUTRIENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES
(MÉXICO)

Rendimiento en ton/ha		
Cultivo	Aguas negras	Aguas blancas
Alfalfa	120.0	70.0
Maíz	5.0	2.0
Frijol	1.0	1.3
trigo	3.0	1.8
Cebada	4.0	2.0
Avena forraje	22.0	12.0
Tomate	35.0	18.0
Ají	12.0	7.0

TABLA 3.2
COMPARACIÓN DE LOS RENDIMIENTOS OBTENIDOS EN TACNA, PERÚ EN RIEGO CON EFLUENTES DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN SECUNDARIAS Y EL RENDIMIENTO CON AGUAS BLANCAS

Rendimiento en ton/ha		
Cultivo	Aguas negras	Aguas blancas
Papa	45.0	12.0
Camote	20.0	10.5
Maíz	3.0	2.0
Alfalfa	12.5	10.0
zapallo	20.0	12.5

La aplicación de aguas residuales a terrenos agrícolas puede originar riesgos a la salud humana debido a la presencia de metales, productos químicos orgánicos y otros compuestos tóxicos. Estas sustancias pueden entrar a la cadena alimenticia a través de alimentos para el hombre, o a través de alimentos para animales.

Los principales productos químicos de consideración en las aguas residuales domésticas son los metales pesados. El tratamiento convencional acumula los metales en los lodos reduciendo considerablemente su concentración en el efluente.

El siguiente análisis corresponde a la planta de Ukima, Tokio, Japón.

Concentración en mg/l		
Parámetros	Aguas negras crudas	Lodos (2.5% sólidos)
Fe	4.4	465.0
Cu	1.75	75.0
Zn	4.6	88.0
Cd	0.1	4.2
Hg	0.57	1.62
Pb	19.2	97.0

El Cd es rápidamente absorbido por las plantas y no es fitotóxico. El Cd es muy tóxico al hombre y se acumula en el hígado y en los riñones. La OMS ha recomendado que no se ingiera por personas más de 400 - 500 mg. de Cadmio por semana.

Muchos países han desarrollado normas para la aplicación de aguas residuales y lodos procedentes del tratamiento de las mismas a suelos agrícolas con base en el contenido de Cadmio, o en las cargas de Cadmio aplicadas a los suelos a los cuales se aplican.

Existe poca información sobre la toma por las plantas de compuestos químicos orgánicos sintéticos que estén presentes en las aguas de riego: Los pesticidas y los bifenilos policlorados (PCB) sintéticos están relativamente inmóviles en el suelo y no son absorbidos por las plantas. Sin embargo, pueden ser absorbidos por los animales que están en los pastizales y luego ser encontrados en la leche.

El reuso de aguas residuales sin tratar o con tratamiento inadecuado en la agricultura, implica riesgos de salud para los trabajadores agrícolas y sus familias, lo mismo que para la población en general que consume los productos así obtenidos si se presentan altas tasas de enteritis y otras enfermedades diarreicas, lo mismo que tifoidea y cólera entre parte de la población que genera las aguas residuales. Los gérmenes causantes de estas

enfermedades son por consiguiente diseminadas al ambiente a través de las aguas servidas. El bajo grado de saneamiento ambiental, y el uso de aguas residuales crudas en riego sin control es causa de la alta incidencia de enfermedades entéricas causadas por bacterias (salmonellas, shigellas, Vibrio cholerae), parásitos y virus.

Precauciones recomendadas en la operación de sistemas de riego con aguas residuales

1. Análisis de la calidad del agua servida en relación con los cultivos previstos y el tipo o los tipos de suelo. Investigar existencia de normas.
2. Sustancias tóxicas y detergentes no biodegradables, etc. Tratar de controlarlos en su fuente de origen.
3. Se debe dar preferencia a los suelos con alto contenido de materia orgánica y alcalinos para minimizar la toma de metales pesados por las plantas.
4. Se debe dar preferencia a cultivos que no se coman crudos, que tengan alto valor nutritivo y sean de un consumo de agua moderado.
5. Se debe utilizar el grado de tratamiento que sea requerido según el uso restringido o irrestricto del agua y tomando en cuenta el método de riego que se utilice (subsuelo, atomización, etc.)
6. Para proteger la salud de los consumidores, debe practicarse la cosecha entre 2 y 4 semanas después del último riego con aguas residuales.
7. Tratar de eliminar las posibles molestias causadas por moscas, mosquitos, olores, etc.
8. Salud ocupacional: Proteger la salud de los campesinos. Si el clima y las circunstancias lo permiten, considerar el uso de guantes, botas, etc. Debe existir control médico (Chequeo cada 3 meses) del personal y de sus familiares que vivan en el área de riego.
9. El sistema de riego deberá contar con dispositivos que permitan un buen manejo y dosificación del agua.
10. Deberá contarse con capacidad de almacenamiento del agua servida, efluentes tratados, o tierra agrícola adicional o dispositivos para orientar en forma sanitaria las aguas servidas durante los períodos en que no se necesite o sea necesario suprimir el riego.
11. Debe evitarse la erosión del suelo, la descarga de agua en exceso (excediendo la permeabilidad del terreno) y el deterioro del agua subterránea con patógenos, nitratos, etc.
12. Deberá contarse con dispositivos para medición del flujo y control del efluente. Usar canaletas parshall, vertederos, etc.
13. Especial atención se dará a la etapa de cosechamiento, procurando usar agua de muy buena calidad para el lavado de los productos antes de su envío al mercado.
14. Igual cuidado se tendrá en la conservación higiénica de los productos durante toda la etapa de almacenamiento, transporte y mercadeo.
15. Deberá hacerse un monitoreo sobre calidad toxicológica y microbiológica de los productos procedentes de estas áreas de riego. Como patrón de comparación deberá hacerse el mismo tipo de control con productos procedentes de áreas de riego donde no se utilicen aguas residuales o altamente contaminadas.

III.6.2 Piscicultura

Aunque se ha realizado con buen éxito la cría de peces en lagunas de estabilización de grado superior al terciario, la experiencia indica que es preferible construir lagunas específicas para acuicultura a las cuales se lleve el efluente de las lagunas de estabilización o de campos de riego de acuerdo con los requerimientos nutricionales de los peces.

Las lagunas específicas de piscicultura permiten conciliar los requerimientos de las instalaciones de tratamiento con los de la actividad piscícola. Además facilitan agregar nutrientes complementarios a los peces cuando éstos son necesarios. Por otra parte, permiten dejar de agregar aguas residuales de 4 a 6 semanas antes del cosechamiento, época durante la cual se pueden sustituir éstas por agua y nutrientes de otro origen.

En las lagunas de acabado de San Juan de Miraflores, Lima, Perú, se experimentó con piscicultura encontrándose que la razón de crecimiento de tilapias nilóticas (*Oreochromis niloticus*) fue adecuada. No así en el caso de camarones (*Macrobrachium Roseberg II*) por ser éstos muy sensibles al nitrógeno amoniacal.

La razón de crecimiento de las tilapias fue superior en las lagunas cuaternarias y quinquenarias. En las terciarias ellas fueron afectadas por el bajo contenido de oxígeno y altos niveles de nitrógeno amoniacal.

En las experiencias con policultura de carpas y tilapias se observó, además de un magnífico crecimiento de las carpas (*Cyprinus Carpio*), un mejoramiento en el comportamiento de las tilapias en comparación con el rendimiento en monocultura.

TABLA 3.3
ELIMINACIÓN PREVISTA DE MICROORGANISMOS EXCRETADOS EN VARIOS SISTEMAS DE EMPLEO DE AGUAS RESIDUALES

Proceso de Tratamiento	Eliminación (unidades logarítmicas ₁₀) de			
	Bacterias	Helmintos	Virus	Quistes
Sedimentación primaria				
Sencilla	0-1 1-2	0-2 1-3 ^h	0-1 0-1	0-1 0-1
Con ayuda química ^b				
Lodo activado ^c	0-2	0-2	0-1	0-1
Biofiltración ^d	0-2	0-2	0-1	0-1
Laguna ventilada ^d	1-2	1- ^h	1-2	0-1
Zanja de oxidación ^c	1-2	0-2	1-2	0-1
Desinfección ^e	2-6 ^h	0-1	0-4	0-3
Estanques de estabilización de desechos ^f	1-6 ^h	1-3 ^h	1-4	1-4
Depósitos de fluentes ^g	1-6 ^h	1-3 ^h	1-4	1-4

a. Fuente

b. Se necesitan investigaciones más detalladas para confirmar los resultados.

c. Incluida la sedimentación secundaria

d. Incluidos los estanques de sedimentación

e. Cloración u ozonación

- f. Los resultados dependen del número de estanques en serie y de otros factores ambientales
- g. Los resultados dependen del tiempo de retención, que varía con la demanda
- h. Con un buen diseño y con manejo apropiado es posible cumplir con las directrices recomendadas.

CAPÍTULO IV. RESIDUOS SÓLIDOS

IV.1 TIPOS

Se entiende por residuo el material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final. Existen diferentes tipos de residuos sólidos, de acuerdo a la fuente de generación, pudiendo clasificarse como urbanos o domiciliarios, de manejo especial, incompatibles, agropecuarios, y peligrosos⁵. Dentro de estos últimos se encuentran aquellos que presentan características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o que contengan agentes infecciosos que le confieran peligrosidad; también los envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio.

Los residuos sólidos urbanos⁵ son los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos.

Los residuos de manejo especial⁵ son aquellos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos.

Por su parte los residuos incompatibles⁵ son aquellos que al entrar en contacto o al ser mezclados con agua u otros materiales o residuos, reaccionan produciendo calor, presión, fuego, partículas, gases o vapores dañinos.

También existen residuos de cosechas y pecuarios que deben recibir un manejo adecuado.

IV.2 ETAPAS DEL MANEJO DEL SERVICIO DE LIMPIA PÚBLICA O ASEO URBANO

El Servicio de Limpia consta de 6 etapas básicas, constituidas por el almacenamiento; el barrido; la recolección y el transporte; la transferencia; el tratamiento, aprovechamiento y reciclaje; y la disposición final. En el caso que el tratamiento sea mediante relleno sanitario, éste a su vez constituye la disposición final, no así en el caso de otros tratamientos como la incineración, donde a las cenizas hay que darle una adecuada disposición final después de tratados los residuos sólidos.

Generación y composición de los residuos

La generación de basura domiciliaria varía de 0.3 a 0.6 kg/hab.día. Cuando a las basuras de los domicilios se les agregan otros residuos municipales como los de comercios, hospitales, mercados, barrido y otros, esta cantidad se puede incrementar en un 50%, o sea que la generación bruta puede llegar de 0.6 a 1.2 kg/hab.día, con un promedio de 0.7. La composición de los residuos puede interpretarse como un indicador del ingreso medio familiar y del grado de consumismo existente o del valor de rescate de los residuos para el reciclaje.

1. Almacenamiento en el Hogar y Casos Especiales

Son pocas las ciudades donde se tiene un almacenamiento adecuado en el hogar, los comercios, hospitales y otros puntos de gran generación. En algunas ciudades sólo los estratos de mayores ingresos pueden tener recipientes adecuados, y lo que se hace en otros sectores es proporcionar educación sanitaria para mejorar los recipientes mediante cambios poco costosos.

Existen casos especiales de almacenamiento que representan un riesgo para la salud, como es el caso del manejo de basuras en hospitales. El uso de incineradores que solamente quemen la parte infecciosa de estas basuras, es una adecuada opción, pero requiere de un proyecto de manejo interno que las separe dentro del hospital; esta operación resulta cara y los administradores prefieren llevar la basura a los lugares de disposición final de la ciudad.

Otros problemas típicos de almacenamiento se presentan en los mercados, las industrias y los depósitos comunitarios, clandestinos o tolerados, que se forman en las zonas periféricas donde no hay servicio y la gente acostumbra a colocar su basura en lotes baldíos o en la vía pública de donde los recogen camiones dedicados esporádicamente a este tipo de recolección.

2. Barrido y Limpieza Pública

Se utiliza básicamente en las vías pavimentadas de intensa circulación peatonal. En las ciudades latinoamericanas se tienen rendimientos del personal de 1.0 a 2.5 km/día de calle, se recogen de 30 a 90 kg de basura por km barrido y se requieren entre 0.4 y 0.8 barrenderos por cada 1000 habitantes. Los costos de barrido por kilómetro de calle varían de 5 a 15 pesos según el costo de mano de obra y el grado de dificultad de la vía. El barrido mecánico tiene costos más bajos, pero implica desplazamiento de mano de obra y salida de divisas del país, ya que las barredoras frecuentemente son importadas.

3. Recolección

Ocupa entre 0.2 y 0.4 trabajadores por cada 1000 habitantes, dependiendo de la generación por habitante, la concentración predial y el grado de dificultad de la ruta. En promedio cada trabajador recolecta entre 2 y 5 toneladas/jornada. El equipo más frecuentemente usado es el camión compactador con capacidad de 10 a 15 m³ y que realiza dos viajes de 4 a 8 toneladas por turno. En variadas ocasiones las zonas de altos y medianos ingresos están bien atendidas, pero en las zonas marginales los servicios son

más esporádicos, cuando por el hacinamiento y las condiciones precarias de las viviendas, la recolección debería ser más frecuente.

El uso de contenedores que se cargan mecánicamente con camiones compactadores provistos de izadores baja el costo del servicio. Frecuentemente los costos de recolección fluctúan entre 120 y 250 pesos por tonelada.

4. Transferencia

Las ciudades de la región de Las Américas presentan una tasa de crecimiento del 3 al 5% anual, lo cual ha provocado una expansión acelerada de la población urbana, que hace cada vez más difícil localizar sitios adecuados para la disposición final, tanto por la oposición de los vecinos como por el costo de los terrenos. Las grandes distancias a los nuevos rellenos sanitarios, han obligado al uso creciente de estaciones de transferencia que permiten el acarreo de la basura en unidades de 40 a 60 m³, con costos unitarios de transporte más bajos. Los costos de estos servicios varían de 15 a 35 pesos por tonelada.

5. Tratamiento, aprovechamiento y reciclaje

En los países desarrollados las formas más comunes de aprovechamiento de la basura o de sus propiedades, son el relleno sanitario con aprovechamiento de biogas, la incineración con aprovechamiento de energía, la biotransformación en compost y la producción de combustible auxiliar o RDF (refuse derived fuel). Casi todos estos procesos van precedidos de una selección de materiales reciclables, que puede ser mediante la separación previa en el lugar donde se generan las basuras o en la misma planta donde se lleva a cabo el proceso principal. En estos países los costos crecientes de los terrenos necesarios para construir los rellenos sanitarios, hacen que los procesos de incineración y compostaje sean competitivos.

En México, la alta generación de residuos de las grandes ciudades, hace recomendable el uso de la recuperación de biogas en los rellenos sanitarios, evitando la contaminación ambiental y recuperando un producto de alto valor energético.

En muchas ocasiones la producción de compost mediante procesos simplificados como son el apilado, los biodigestores rotatorios, y últimamente la lombricultura, han tenido poco éxito por no haberse calculado a tiempo los costos asociados que representan estas alternativas ecológicamente aceptables.

El reciclaje ha sido amplia y lucrativamente practicado en algunas ciudades latinoamericanas, siendo el factor más importante en su éxito el mercado de los materiales recuperados, ya que si en las cercanías no hay fábricas que los reprocesen, el reciclaje quedará limitado al reuso.

Se conoce poco sobre el grado de reciclaje de las diferentes ciudades mexicanas, el cual se puede lograr de dos maneras; la primera mediante la separación en el hogar y otras fuentes productoras de los materiales reciclables (papel y cartón, botellas, plásticos y materiales ferrosos), para venderlos a recolectores privados especializados o entregarlos a programas específicos de los municipios. La segunda forma consiste en retirar los reciclables de la basura mezclada, ya sea de los recipientes que el público deja en la

calle, del camión recolector por los operarios del servicio y de las plantas de reciclaje o rellenos sanitarios.

6. Disposición Final: Relleno sanitario

Es el método más recomendado para las ciudades mexicanas, por los altos riesgos que generan los tiraderos a cielo abierto y los altos costos de tratamientos sofisticados como la incineración, que pueden incrementarse hasta en 20 veces en relación a los rellenos sanitarios.

En la Región los costos de operación de un relleno sanitario, fluctúan entre 10 y 30 pesos por tonelada, pudiendo variar según el tamaño y calidad de la operación, la topografía y las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas del sitio seleccionado.

El problema de los pepenadores sigue vigente en casi todas las ciudades, impidiendo en algunos casos, la operación segura y sanitaria del relleno sanitario.

En ciudades de menos de 50 000 habitantes, la economía de escala actúa desfavorablemente por los costos de capital y operación de un tractor para tan poca basura, por lo que se recomienda valorar la construcción de rellenos sanitarios manuales.

IV.3 MÉTODOS EMPLEADOS PARA EL RELLENO SANITARIO

Los principales métodos usados para disponer los residuos sólidos en un relleno sanitario pueden clasificarse como: 1) Trinchera, 2) Área, y 3) Combinado. Las características principales de cada uno de estos métodos se describen de forma resumida a continuación⁶:

Método de Trinchera

Este método es usado normalmente donde el nivel de aguas freáticas es profundo, las pendientes del terreno son suaves y las trincheras pueden ser excavadas utilizando equipos normales de movimiento de tierras.

Este método consiste en depositar los residuos sobre el talud inclinado de la trinchera (talud 3:1), donde son esparcidos y compactados con el equipo adecuado, en capas, hasta formar una celda que después será cubierta con el material excavado de la trinchera y/o con material de préstamo, con una frecuencia mínima de una vez al día, esparciéndose y compactándose el material sobre los residuos.

Método de Área

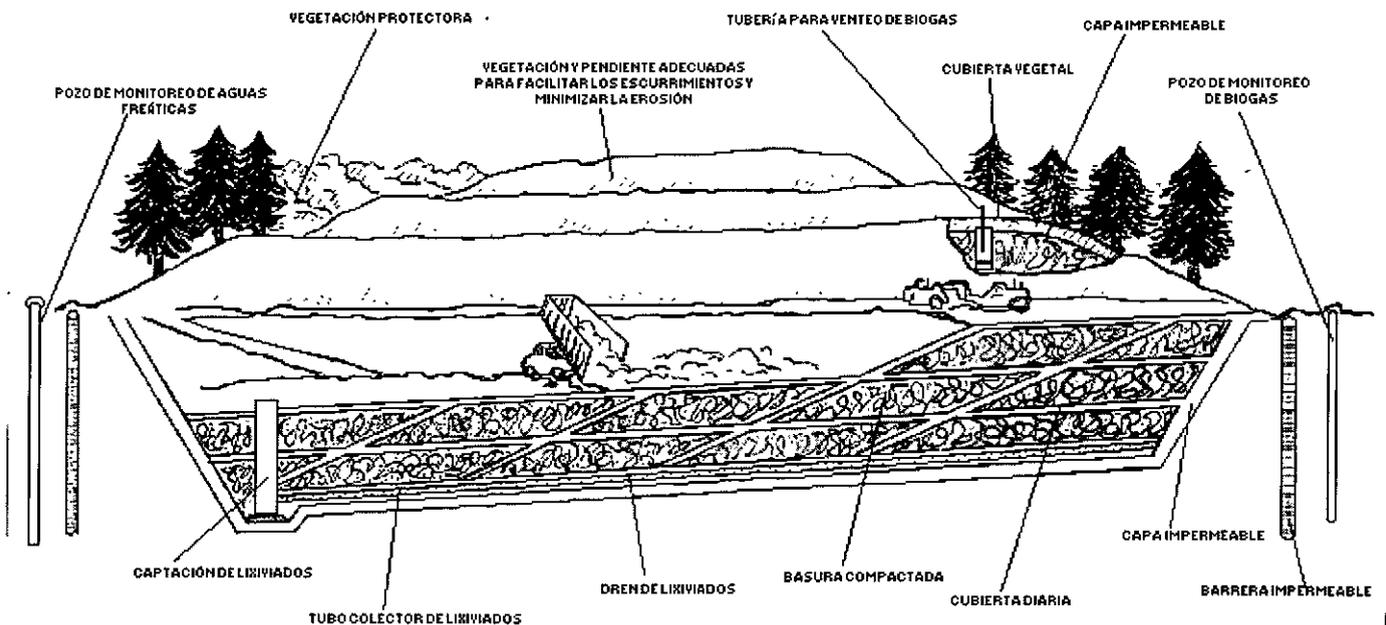
Este método se puede usar en cualquier tipo de terreno disponible como canteras abandonadas, inicio de cañadas, terrenos planos, depresiones y ciénagas contaminadas; un punto importante en este método para que el relleno sea económico, es que el material de cubierta debe transportarse de lugares cercanos a éste. El método es similar al de trinchera y consiste en depositar los residuos sobre el talud inclinado, se compactan en capas inclinadas para formar la celda que después se cubre con tierra. Las celdas se construyen inicialmente en un extremo del área a rellenar y se avanza hasta terminar en el otro extremo.

Método Combinado.

En algunos casos cuando las condiciones geohidrológicas, topográficas y físicas del sitio elegido para llevar a cabo el relleno sanitario son apropiadas, se pueden combinar los dos métodos anteriores, por ejemplo, se inicia con el método de trinchera y posteriormente se continúa con el método de área en la parte superior.

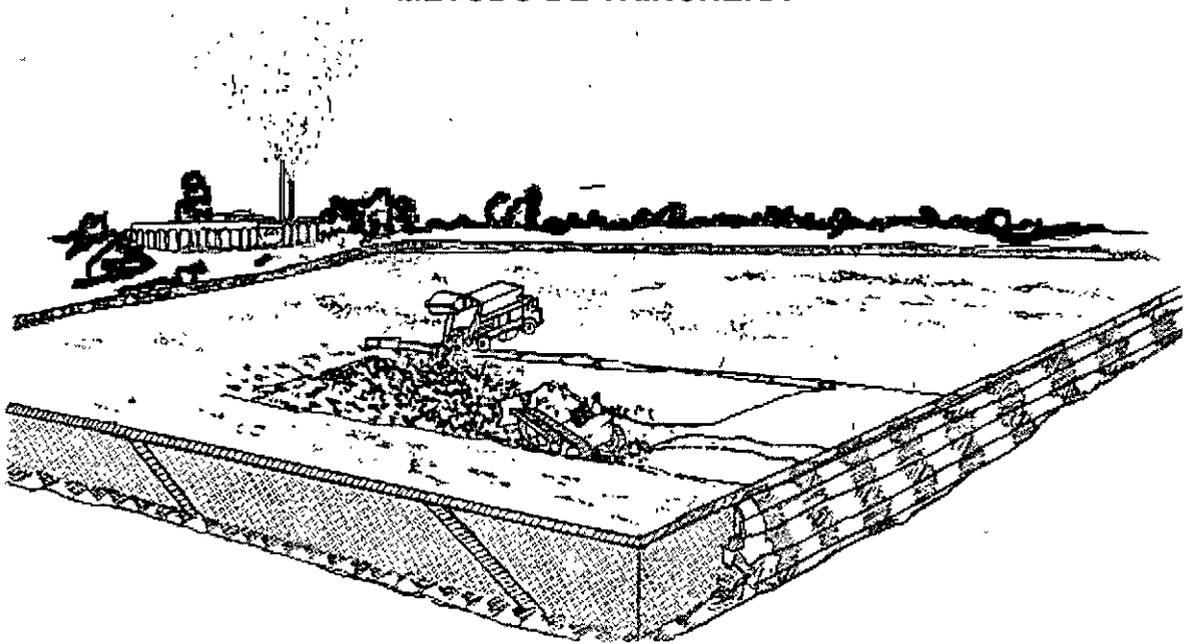
Otra variación del método combinado, consiste en iniciar con un método de área, excavando el material de cubierta de la base de la rampa, formándose una trinchera, la cual servirá también para ser rellena. Los métodos combinados son considerados los más eficientes ya que permiten ahorrar el transporte del material de cubierta (siempre y cuando exista éste en el sitio) y aumentan la vida útil del sitio.

FIGURA 4.1
DIAGRAMA DE UN RELLENO SANITARIO



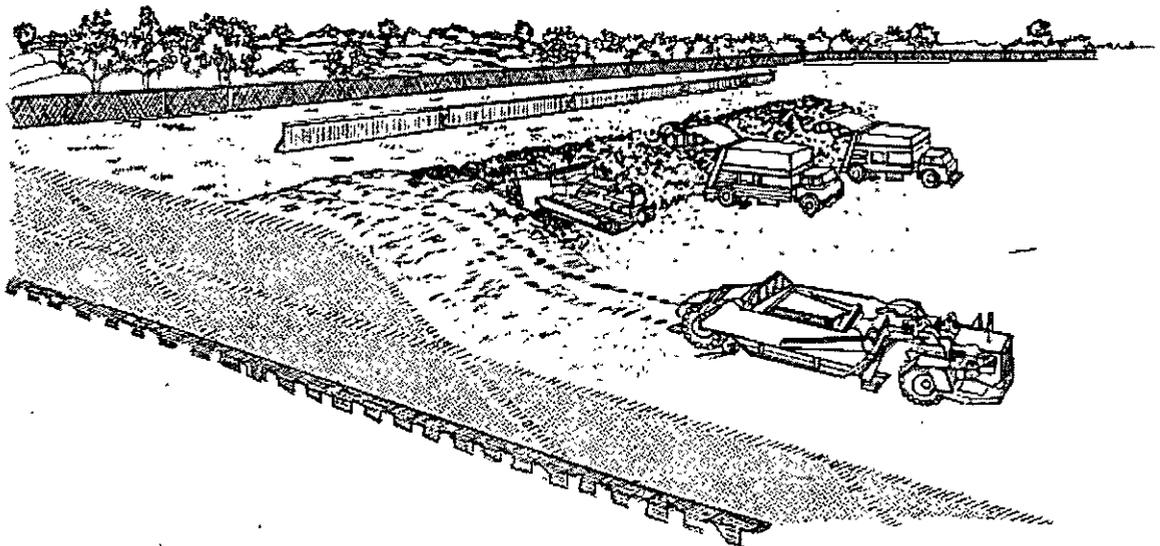
Fuente: Browning-Ferris Industries, Mobius Curriculum, Understanding the Waste Cycle, 1991.

FIGURA 4.2
MÉTODO DE TRINCHERA



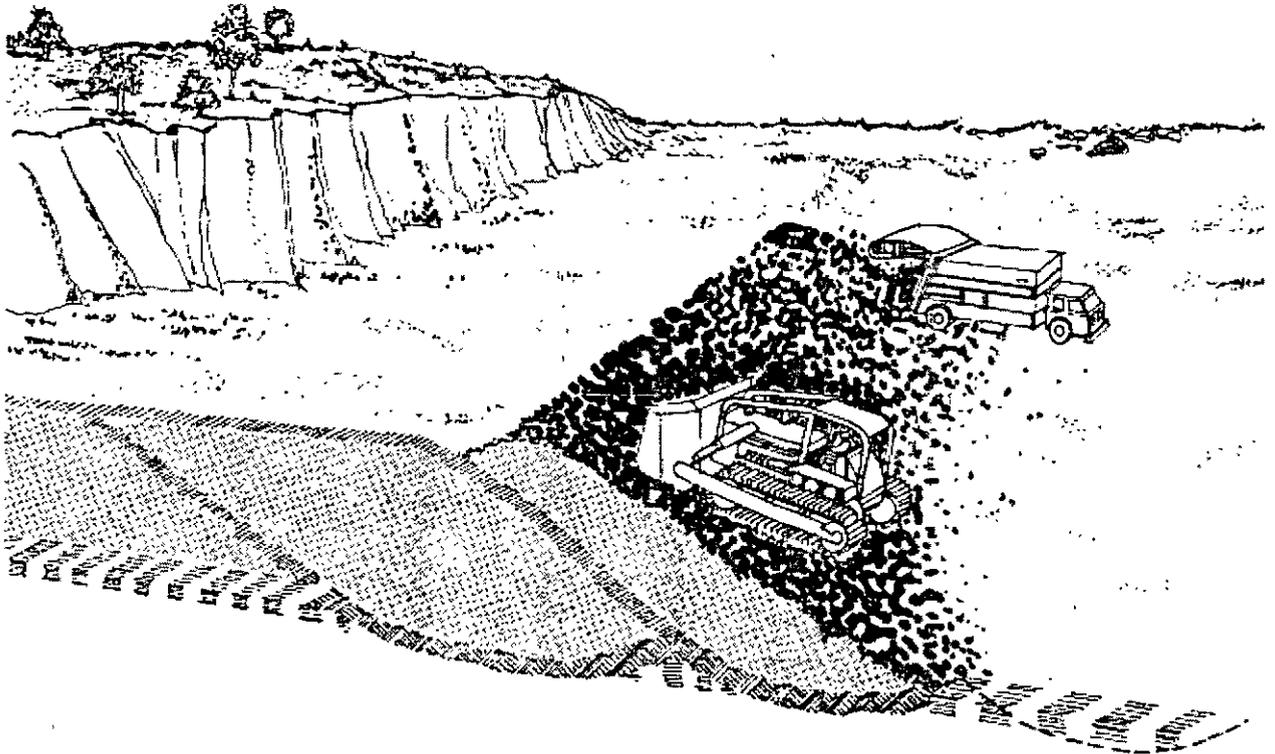
Fuente: Browning-Ferris Industries, Mobius Curriculum, Understanding the Waste Cycle, 1991

FIGURA 4.3
MÉTODO DE ÁREA



Fuente: Browning-Ferris Industries, Mobius Curriculum, Understanding the Waste Cycle, 1991

FIGURA 4. 4
MÉTODO COMBINADO



Fuente: Browning-Ferris Industries, Mobius Curriculum, Understanding the Waste Cycle, 1991

IV.4 CELDA DIARIA DE RESIDUOS SÓLIDOS⁶. COMPONENTE BÁSICO DEL RELLENO SANITARIO

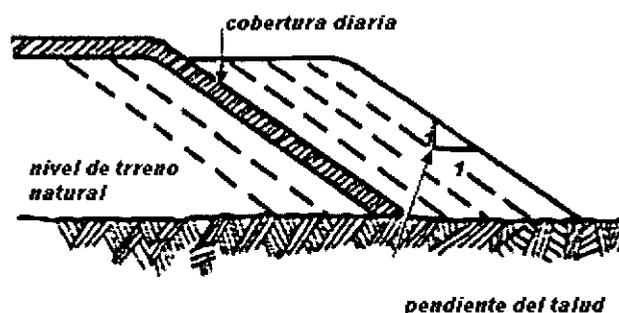
La **celda** diaria constituye el elemento constructivo primario y común de cualquier relleno sanitario. Los residuos sólidos recibidos son esparcidos y compactados en capas dentro de un área perfectamente delimitada y hasta un volumen definido. Al término de cada día de operación, el área ya ocupada con residuos compactados, es cubierta completamente con una capa delgada de tierra, que posteriormente es compactada. De esta forma, los residuos compactados y cubiertos diariamente con este material, constituyen una celda. Una serie de celdas adyacentes en forma lateral o transversal y con una misma altura, forman una **franja**. Una serie de franjas adyacentes y con una misma altura, forman una **capa** y una o más capas, pueden formar el total del área de **relleno sanitario** o una **etapa** del mismo.

Cuando los residuos son confinados en una celda, las posibilidades de que se inicie fuego interno se reducen al mínimo, y en todo caso éste no puede propagarse fácilmente; la fauna nociva como roedores y moscas principalmente, no pueden tener acceso fácil a los residuos para conseguir alimento o madrigueras; también se reduce la cantidad de materiales expuestos a los elementos ambientales con lo que se minimiza la dispersión de residuos, microorganismos y polvos; al igual que se mitigan o eliminan olores y la producción de lixiviados, facilitando finalmente el control de los gases que emanan de las celdas del relleno.

Construcción de celda

Una celda es construida mediante la compactación de residuos sobre una pendiente en capas sucesivas del mismo espesor. Los residuos son depositados al pie del frente de trabajo y empujados sobre el talud. Los pasos adecuados para la construcción de la celda se describen a continuación:

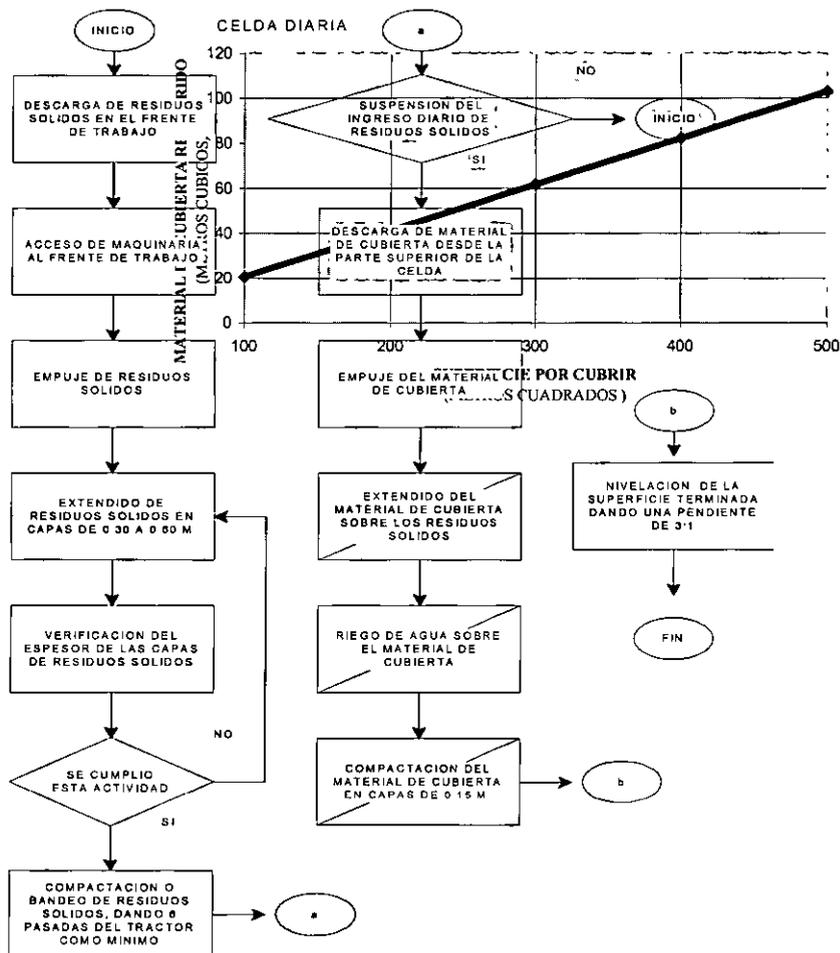
- Descargar los residuos sólidos sobre el área que conformará el correspondiente frente de trabajo del día.
- Usar estacas de nivelación para el control de la altura de la celda y dar la pendiente adecuada para facilitar el drenaje por gravedad. El nivel de la superficie superior de la celda debe ser entre **2 y 5** por ciento, mientras que la altura de celda comúnmente es de aproximadamente **2.4 a 3.5 m**.
- Las dimensiones de la celda están especificadas en el proyecto y pueden consultarse también en el plan de relleno. Estas dimensiones deberán coincidir con el volumen de los residuos compactados en el sitio, al final del día de trabajo.
- Sin embargo, si por alguna razón no se conocen las dimensiones que deberá tener la celda o es necesario modificarlas de manera emergente, algunas recomendaciones útiles son las siguientes; a) el ancho del frente de trabajo depende del número de vehículos que transportan residuos al área de operación y la cantidad de equipo disponible para el esparcido y compactación. Por razones de seguridad, el ancho del frente de trabajo no deberá ser reducido a menos de tres veces el ancho de la hoja topadora del equipo utilizado y no debe exceder los **45 m**, ya que con dimensiones mayores llega a ser muy difícil de manejar, a menos que haya una gran cantidad de equipo disponible y que su operación sea supervisada estrictamente; b) en cuanto a la altura adecuada para las celdas no existe regla alguna, sin embargo, algunos diseñadores prefieren **2.5 m** o menos, presumiblemente porque esta altura no causará problemas de asentamientos severos; c) la densidad recomendable para los residuos sólidos de una celda terminada es superior a **600 Kg/m³**.
- Esparcir los residuos sólidos en el frente de trabajo en capas de **0.30 a 0.60 m** de espesor
- Compactar los residuos sólidos con entre **3 y 5** pasadas sobre el talud.



Fuente: SWANA, Training Sanitary Landfill Operating Personnel, 1993

- Una vez compactados los residuos del día, se descargan sobre los mismos el material para la **cubierta diaria**.
- Esparcir y compactar el material de cobertura, manteniendo un espesor mínimo de **15 cm**. Dependiendo del tipo de suelo de donde provenga el material de cubierta, puede requerir un espesor mayor. Por ejemplo, material suelto tal como la arena puede penetrar dentro de espacios abiertos en los residuos. Por esta razón si los residuos no son compactados adecuadamente se requerirá mayor cantidad de material de cobertura.

En la Figura a continuación expuesta, se ilustra y se presenta un flujograma de las actividades mínimas que se deben realizar para construir adecuadamente una celda de residuos sólidos, componente elemental del relleno sanitario.



Cobertura

Cubierta Intermedia

La superficie que envuelve la celda diaria terminada y que estará expuestas al ambiente por un período de más de una semana, hasta que se coloque una nueva celda sobre ésta, sufrirá los efectos de las condiciones climatológicas y posiblemente el frecuente paso de vehículos. Normalmente estas superficies son cubiertas adicionalmente, con una capa de

0.30 m de espesor de tierra compactada. A esta capa se le conoce como cubierta intermedia y tiene la función de proteger a la cubierta diaria y prevenir la intrusión de agua al relleno por un período más largo.

Para la colocación de la cubierta intermedia, se debe seguir el siguiente procedimiento :

- Una vez que se tiene una superficie rellenada, ya sea una franja o una capa, en la cual no se tenga previsto depositar residuos sólidos por un tiempo largo; se descargará sobre la cubierta diaria, el material para la conformación de la cubierta intermedia.
- Esparcir y compactar el material de cobertura, manteniendo un espesor mínimo de 30 cm.

Cubierta final

Cuando el relleno ha alcanzado el nivel planeado, se deberá colocar una cubierta final de no menos de **60 cm** de espesor. Esta cubierta es necesaria para permitir el tráfico ligero y minimizar los efectos que ocasionan los asentamientos diferenciales, tal como el afloramiento de residuos por el efecto de fracturas y agrietamientos. Esta cubierta, también ayudará a evitar que la lluvia fluya hacia el interior de los residuos confinados:

- Una vez que se tiene una área de una capa, etapa o la totalidad del relleno, terminado; descargar sobre el área por cubrir el material para la cubierta final.
- Posteriormente, se extenderá el material y se compactará el material de cobertura, manteniendo un espesor mínimo de **30 cm**.
- Finalmente esparcir y compactar el material de cobertura, manteniendo un espesor mínimo de 60 cm.

Hay algunas tendencias hacia el uso de geosintéticos como parte de la cubierta final. Para ello es necesario considerar factores de diseño muy especiales que aseguren el funcionamiento efectivo de dicha cubierta.

IV.5 RIESGOS AL AMBIENTE Y A LA SALUD HUMANA POR LA EXPOSICIÓN A LOS RESIDUOS SÓLIDOS

El incremento en la generación de basura, sin una adecuada planeación, organización y operación del servicio, y la existencia de tiraderos a cielo abierto, representan un riesgo a la salud de la población y a la calidad de vida, así como una amenaza para los ecosistemas. Los principales problemas de contaminación ambiental y de salud que afectan a los pobladores de cualquier ciudad, son los siguientes:

- La contaminación del aire por olores, gases, aerosoles y partículas (por arrastres del viento de gases, polvos y humos generados en los sitios de disposición, así como por posibles incendios en los tiraderos y fugas de biogás a la atmósfera)

- La contaminación de las aguas subterráneas y superficiales (por medio de los lixiviados, y arrastres en épocas de lluvias de contaminantes presentes en los suelos de dichos sitios), previa contaminación de los mismos.
- La presencia de fauna nociva y otros vectores como ratas, moscas, mosquitos, cucarachas, etc. transmisores de enfermedades y molestias a la población.
- Los riesgos por exposición ocupacional a agentes contaminantes y a accidentes.
- Deterioro de la imagen urbana

El aumento en la cobertura de calles barridas y en la frecuencia de la recolección, así como la adecuada disposición final, permiten disminuir los índices de infectación de vectores de la ciudad, lo que conllevará a la disminución del riesgo potencial de contraer diversas enfermedades o molestias asociadas a la exposición a los mismos

• Riesgos asociados a los vectores

En la tabla 4.1 se exponen las enfermedades posibles a aparecer en la población en general, por proliferación de vectores, los cuales encuentran un hábitat adecuado en el deficiente manejo de los residuos sólidos en sus diferentes etapas.

• Riesgos asociados a la sobrevivencia de microorganismos patógenos

En la tabla 4.2 podemos observar la sobrevivencia de algunos microorganismos patógenos en los residuos sólidos municipales, e inferir el alto riesgo que representa la no correcta disposición final de estos desechos para el ambiente, los ecosistemas y el hombre.

En la tabla 4.3 se reflejan los máximos tiempos (comunes y absolutos) de sobrevivencia de patógenos en suelos y vegetación.

TABLA 4.1
PRINCIPALES EFECTOS NOCIVOS A LA SALUD HUMANA ASOCIADOS A LA PROLIFERACIÓN DE VECTORES

VECTOR	ENFERMEDAD	AGENTE ETIOLÓGICO	TRANSMISIÓN
Mosca común	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Fiebre tifoidea/Salmonellosis ♦ Shigelosis/Disentería/Diarrhea infantil.Otras infecciones 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Salmonella ♦ Shigella 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Cont. de alimentos ♦ Contaminación de alimentos
Mosquitos	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Paludismo ♦ Fiebre amarilla ♦ Dengue ♦ Encefalitis viral ♦ Tripanosomiasis (enf. de Chagas) ♦ Oncocercosis 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Plasmodium ♦ Flavivirus ♦ Flavivirus (denguevirus) ♦ Gran variedad de virus ♦ Trypanosoma Cruzy ♦ Onchocerca volvulus 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ saliva del mosquito Anopheles ♦ saliva del mosquito Aedes Albopictus ♦ saliva del mosquito Aedes Aegypti ♦ saliva de moscos Hematófagos ♦ mosca Triatómina (tse-tse)

	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Leishmaniasis (úlceras del chiclero) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Leishmania spp. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ mosca género Simulium spp. ◆ mosca género Phlebotomus spp
Roedores	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Peste bubónica ◆ Tifo murino/epidémico ◆ Tularemia ◆ Leptospirosis ◆ Fiebre de Haverhill ◆ Fiebre de Sodoku ◆ Rickettsiosis vesiculosa ◆ Meningitis linfocitaria ◆ Gastroenteritis ◆ Bruselosis ◆ Triquinosis ◆ Rabia ◆ Lepra 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Pasteurella pestis ◆ Rickettsia Typhi ◆ Pasteurella tularensis ◆ Leptospira Icterohaemorrhagiae ◆ Streptobacillus moniliforme ◆ Spirillum minus ◆ Rickettsia akari ◆ Virus linfático coriomeningite ◆ Salmonella, E.Coli, etc ◆ Brucella Melintensis ◆ Trichinella spiralis ◆ Rabdovirus ◆ Micobacterium leprae 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Pulga ◆ Pulga ◆ Mordedura ◆ Orina ◆ Mordedura ◆ Mordedura ◆ Mordedura ◆ Orina/secreción nasal ◆ Heces ◆ Orina ◆ Mordedura ◆ Mordedura ◆ Contaminación de alimentos
Cucarachas	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Cólera ◆ Fiebre tifoidea ◆ Gastroenteritis ◆ Lepra ◆ Infec. intestinales/Disenteria/Intoxicación alimentaria 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Vibrión Cholerae ◆ Salmonella ◆ Rotavirus ◆ Micobacterium leprae ◆ Diversos tipos de virus, bacterias y micro parasitos 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Cont..de alimentos

Fuente: Programa Nacional de Capacitación. The World Bank/SEDESOL/BANOBRAS, 1997

TABLA 4.2
TIEMPO DE SOBREVIVENCIA DE ALGUNOS MICROORGANISMOS PATÓGENOS EN LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

MICROORGANISMO	TIEMPO (días)
<i>Salmonella typhi</i>	29 – 70
<i>Entamoeba histolytica</i>	8 – 12
Ascaris lumbricoides	2 000 - 2 500
<i>Leptospira interrogans</i>	15 – 43
Polio virus – Polio tipo I	20 – 70
Mycobacterium tuberculosis	150 – 180
Protozoarios	25 – 340
Larvas de vermes	24-80

Fuente: K.F. Suberkroop and M. J. Klug, 1993. MINSA. Administración de Residuos Sólidos Hospitalarios. Lima, 1999.

TABLA 4.3
TIEMPO DE SOBREVIVENCIA DE PATÓGENOS EN SUELO Y VEGETACIÓN

ORGANISMO	SUELO		VEGETACIÓN	
	MÁXIMO ABSOLUTO	MÁXIMO COMÚN	MÁXIMO ABSOLUTO	MÁXIMO COMÚN
Bacterias	1 año	2 meses	6 meses	1 mes
Virus	1 año	3 meses	2 meses	1 mes
Quistes de protozoarios	10 días	2 días	5 días	2 días
Huevos de helmintos	7 años	2 años	5 meses	1 mes

Nota: Los períodos pueden aumentar si hay condiciones climáticas favorables.

Fuente: EPA, 1992 (1). (2)

(1) =EPA, Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge, USA, 1992, 152 pp.

(2) = Jiménez Cisneros Blanca E., Producción de biosólidos y su reuso como mejoradores de suelos, revista Federalismo y Desarrollo, 1999, pp. 75-86.

• Riesgos asociados con la salud ocupacional

Son conocidos los efectos nocivos a la salud de tipo directo, que sufren los recolectores y segregadores del servicio de aseo público, debido a su contacto constante con los desechos, los cuales muchas veces ya se encuentran en estado de descomposición cuando son recogidos y en peor situación al ser depositados. Entre las principales afecciones ocupacionales reportadas por estos grupos de trabajadores, se encuentran:

1. Enfermedades infecciosas intestinales (parasitosis intestinales y enfermedades diarreicas agudas)
2. Enfermedades respiratorias
3. Enfermedades de la piel
4. Lesiones en manos, pies, espaldas, etc.
5. Infecciones genitourinarias (incluyendo las de transmisión sexual)
6. Hernias y padecimientos osteomusculares
7. Accidentes

• Riesgos a la salud de la población en general

El adecuado control y vigilancia sobre el manejo integral de residuos sólidos, redundará en beneficios sensibles a la población en general, al eliminar la posibilidad de que animales comestibles y domésticos se alimenten con los residuos; lo que pudiera convertirse en causa de zoonosis de alto impacto en la salud como: triquinosis, cisticercosis, helmintiasis, intoxicaciones alimentarias, etc.

También el no quemar ni tirar inadecuadamente los residuos en sitios sin control, contribuirá de forma eficaz a evitar molestias a la ciudadanía, ya que se disminuye la proliferación de fauna nociva y aves de rapiña y aumenta el bienestar al no existir humos ni partículas producto de la quema indiscriminada e incontrolada.

CAPÍTULO V. VECTORES TRANSMISORES DE ENFERMEDADES. MEDIDAS DE CONTROL

V.1 CLASIFICACIÓN

Se considera **vector** a todos aquellos integrantes del reino animal que intervienen en la transmisión de enfermedades. En la práctica este concepto comprende a las moscas, mosquitos, roedores y otros animales que pueden transmitir directa o indirectamente enfermedades infecciosas a humanos o animales⁷. El vector trasmite la patología, actuando como hospedero intermediario, lo que diferencia este tipo de transmisión de otras, como por ejemplo, en las **zoonosis**, que son enfermedades transmitidas al hombre por un animal enfermo que constituye el reservorio de la enfermedad.

El vector es el portador viviente del agente causal de una enfermedad, que lo lleva hasta el hombre por inoculación, por diseminación, o por ambos mecanismos a la vez.

Los artrópodos vectores pertenecen fundamentalmente a seis órdenes

- dípteros (moscas y mosquitos)
- anopluros (piojos),
- sifonápteros (pulgas),
- ortópteros (cucarachas),
- acáridos (garrapatas y ácaros),
- hemipteros (chinchas, incluyendo los triatomas)

Entre los roedores vectores de enfermedades nos interesan la rata y los ratones domésticos.

Los vectores se **clasifican** en **dos grupos**, según su tipo de transmisión: mecánica o biológica.

1) Vectores mecánicos: son aquellos en que el agente etiológico no se altera ni se multiplica de modo importante dentro del vector o sobre él. El vector se pone en contacto con el agente, trasladándolo en sus patas y en los pelos del cuerpo, como ocurre con las moscas domésticas, cucarachas y ratas en el caso de la fiebre tifoidea y la disenteria bacilar.

Otras veces el vector traslada el agente etiológico en partes contaminadas de su boca, como ocurre con la mosca tsetse en la enfermedad del sueño. También la transmisión mecánica puede efectuarse porque los microorganismos causantes de la enfermedad pasan a través del tubo digestivo del vector sin sufrir alteración, como sucede con las moscas domésticas y cucarachas en el caso de la disenteria bacilar.

2) Vector biológico: es aquel en que el agente etiológico se multiplica dentro del artrópodo, modificándose o pasando por un ciclo antes de ser infectante para el hombre. Esta transmisión biológica puede ser de tres tipos, a saber:

- a. Propagativa:** cuando los agentes se multiplican dentro del vector, pero sin sufrir cambios cíclicos. Ejemplos de esto son: la maduración de los virus de la encefalitis

y de la fiebre amarilla en los mosquitos, y la multiplicación de la *pasteurella pestis* en el intestino de la pulga.

- b. Ciclo-evolutiva:** cuando el agente causal experimenta cambios cíclicos dentro del vector, pero sin aumentar su número, como ocurre en los mosquitos con filarias.
- c. Ciclo- propagativa:** cuando el agente etiológico sufre cambios cíclicos y se multiplica dentro del vector. Como ejemplo podemos citar el *plasmodium* del paludismo en el mosquito anofeles y los tripanosomas causantes de la enfermedad de Chagas en los triatomas.

V.2 CICLO DE VIDA DE LOS ARTRÓPODOS VECTORES DE ENFERMEDADES

Los artrópodos se dividen en varias clases, pero nos interesa desde el punto de vista sanitario principalmente la de los insectos o hexápodos.

El ciclo de vida de los insectos comienza con la fecundación del huevo y se completa al llegar al estado adulto. Pero no todos los insectos tienen un ciclo de vida igual, ya que sufren dos tipos distintos de metamorfosis según el orden a que pertenezcan.

Las metamorfosis son los cambios o alteraciones en forma o estructura de un insecto que ocurren durante su desarrollo. Unos pocos insectos primitivos se desarrollan sin metamorfosis, en este caso los insectos jóvenes poseen todas las estructuras de los adultos y difieren de ellos simplemente en tamaño, color y madurez sexual.

Los insectos de importancia sanitaria sufren dos tipos de metamorfosis: gradual o incompleta y metamorfosis completa.

La **metamorfosis gradual o incompleta** tiene tres etapas: huevo, ninfa y adulto. Los insectos con este ciclo de vida, en el estado de ninfa son sexualmente inmaduros y se asemejan al adulto, excepto por su menor tamaño y por la ausencia de alas en aquellas especies que las tienen, aunque pueden poseer alas sin desarrollar en los últimos estadios de su desarrollo.

Algunos insectos con metamorfosis gradual o incompleta pertenecen a los siguientes órdenes:

- Ortópteros: cucarachas
- Anopluros : piojos
- Hemípteros: chinches y triatomas

La **metamorfosis completa** tiene cuatro etapas: huevo, larva, pupa y adulto. En los insectos de este tipo existe una gran diferencia entre el estado inmaduro y el adulto. De los huevos salen las larvas (como en las moscas) y éstas a los pocos días se convierten en pupas. La etapa pupal del ciclo de vida de estos insectos es un importante eslabón evolutivo durante el cual la larva simple sufre considerables cambios estructurales para convertirse en adulto.

La mayoría de los insectos con metamorfosis completa tienen alas cuando se transforman en adultos; pero algunas especies, como las pulgas, no las poseen. Las alas en embrión aparecen normalmente primero en la etapa de pupa; y cuando el insecto adulto comienza a salir de la cubierta pupal las alas están contraídas y son inútiles, pero la presión hidrostática de la sangre del insecto fuerza las alas hacia afuera y se forma la estructura membranosa definitiva.

Muchos insectos tienen el tipo de metamorfosis completa, pero interesa destacar por su importancia sanitaria algunos pertenecientes a los siguientes órdenes:

- Dípteros: moscas y mosquitos
- Sifonápteros: pulgas

Conociendo las características del ciclo de vida de los artrópodos y los elementos del ambiente en que transcurren las distintas etapas de éste, se podrán orientar mejor las medidas de control sanitario a tomar para su reducción o erradicación.

1. Mecanismos de transmisión de agentes etiológicos por los vectores

La transmisión del agente al huésped susceptible, por los vectores, puede ocurrir por diversos mecanismos que se exponen a continuación:

- Por picadura, con introducción del agente en la corriente sanguínea del hombre, como sucede con los mosquitos transmisores de la malaria, la fiebre amarilla, el dengue y la encefalitis.
- Por regurgitación, como ocurre con la mosca doméstica transmisora de afecciones entéricas y con la pulga en la transmisión de la peste.
- Por rascado de heces infectivas, con puertas de entrada como la piel, los ojos, la nariz o la boca. Por este mecanismo pueden las pulgas transmitir el tifo murino, los piojos el tifo epidémico y los triatomas la enfermedad de Chagas.
- Por contaminación del susceptible con fluidos del organismo de los vectores infectados. Ejemplo de este mecanismo lo tenemos en la transmisión de la fiebre recurrente por espiroquetas liberadas al triturar piojos, vectores de la enfermedad.

2. Factores que intervienen en la transmisión

Los factores que intervienen en la transmisión de enfermedades por vectores son de dos tipos:

- 1) factores propios del vector
- 2) factores ambientales

1) Factores propios del vector⁸

Existen diversos factores dependientes del vector, que condicionan el ciclo de transmisión, y que pueden sintetizarse como sigue:

a) Domesticidad: o sea, la estrecha relación del vector con el hombre, ya que el primero necesita un hábitat contiguo a éste, o al hombre mismo para desarrollarse.

El *Aedes aegypti*, transmisor del dengue y la fiebre amarilla, vive en depósitos de agua limpia en el interior de las viviendas o en su cercanía inmediata; los piojos del cuerpo, transmisores del tifo endémico, viven sobre el hombre mismo; la pulga *Xenopsylla cheopis*, vector de la peste y el tifo murino, es un ectoparásito hematófago de la rata que vive en madrigueras en las viviendas o sus alrededores.

b) Capacidad de infectarse: sólo los mosquitos anófeles son capaces de infectarse con los plasmodios del paludismo.

c) Capacidad de transmitir el agente etiológico al susceptible: algunas especies de anofeles son mejores trasmisoras del paludismo que otras. En Cuba, por ejemplo, el vector era el anófeles *albimanus*, aunque existían en el área palúdica otras especies.

d) Tasa de supervivencia: esto significa que el vector debe tener una longevidad suficiente para que pueda llegar a ser infectante para el hombre; o sea, que puedan ocurrir en el vector la multiplicación o los cambios en el ciclo de vida del agente etiológico de la enfermedad.

e) Capacidad de picar al hombre a repetición: el mosquito *Aedes aegypti*, el *Anófeles albimanus* y la pulga *Xenopsylla cheopis*, entre otros artrópodos vectores, reúnen esta característica que los convierte en transmisores ideales del dengue, el paludismo y la peste respectivamente. Al picar a un hombre enfermo adquieren los agentes etiológicos, que sufren parte de su ciclo o se multiplican en el vector en número suficiente para que se conviertan en infectantes para un hombre sano que recibe una nueva picada.

f) Ecología del vector: gran parte de los resultados que se han obtenido en el control de las enfermedades transmitidas por artrópodos se ha debido a los estudios realizados sobre la ecología de los vectores respectivos, lo que ha permitido actuar sobre una fase determinada del ciclo de transmisión para romper la cadena epidemiológica de la enfermedad.

Las campañas de erradicación del *Aedes aegypti* priorizan la eliminación de criaderos domésticos de larvas del mosquito sobre las demás medidas de saneamiento.

Las campañas de erradicación del paludismo se han basado en un conocimiento amplio de la ecología del mosquito Anofeles transmisor de la enfermedad. Así, en Cuba se comprobó que aunque el *Anofeles albimanus* está diseminado por todas las zonas rurales del país, era sólo en la región oriental donde se producía la transmisión del paludismo; por lo que los esfuerzos principales para romper el ciclo de transmisión eliminando los mosquitos infestados se concentraron en el rociamiento intradomiciliario de insecticidas en todas las viviendas situadas en la zona rural de esa región.

2) Factores ambientales en la transmisión de enfermedades por vectores

Aunque algunos autores expresan que hay muchos factores del ambiente que influyen en la transmisión de enfermedades por vectores, haremos solamente algunas

consideraciones sobre los que tienen una gran importancia: la temperatura y la precipitación pluvial.

a) Temperatura

Según del Puerto² "la malaria no se trasmite, salvo a temperaturas superiores a 15 °C y esta temperatura debe mantenerse durante 1 mes o más para que la enfermedad subsista, aún cuando haya vectores potentes; en consecuencia, los límites extremos de la malaria en el hemisferio boreal están dentro de la isoterma de julio de 15 °C. Los parásitos se desarrollan dentro del mosquito en un declive de temperatura relativamente corto. El desarrollo del parásito se prolonga indefinidamente por debajo de los 19 °C en cuanto al *Plasmodium falciparum*, y por debajo de los 15 °C en cuanto al *Plasmodium vivax*. Las temperaturas altas son letales para el parásito; la proporción de supervivientes disminuye rápidamente en temperaturas superiores a 32 °C".

Pratt⁹, plantea que "los brotes de fiebre amarilla y de dengue solían ocurrir en los Estados Unidos en verano, y duraban hasta el otoño cuando el tiempo frío y las heladas mataban a los mosquitos infectados."

En los trópicos cálidos y secos, los plasmodios del paludismo se desarrollan en los mosquitos anofeles hasta que la temperatura llega a 32 °C. Por encima de esa temperatura hay un marcado descenso en el desarrollo de los agentes etiológicos en los mosquitos y también en el número de casos nuevos de la enfermedad (del Puerto, 1996⁸).

b) Precipitación pluvial

Los brotes estacionales del paludismo coinciden a menudo con la época de las lluvias. En las tierras bajas del Caribe, en la estación seca durante los meses de invierno, ocurren muy pocos casos nuevos de paludismo. Los casos empiezan a aparecer en abril y mayo, poco después del comienzo de la estación de las lluvias, que produce importantes aumentos en las poblaciones de *Anófeles albimanus*, que es el principal vector.

Pratt⁹ cita a la precipitación pluvial como un factor básico a considerar en las tasas de encefalitis en los Estados Unidos. Expresa que la fuerte precipitación, unida a un alto nivel del manto freático y un incremento de la irrigación pueden aumentar los criaderos de *Cúlex tarsalis*, lo que a veces va asociado a epidemias de encefalitis del Oeste y de encefalitis de San Luis.

La baja precipitación pluvial tiende a producir estancamiento de agua en el lecho de los arroyos, con lo que aumentan las poblaciones de mosquitos del género *Cúlex* y se presentan brotes de encefalitis de San Luis en los valles del Mississippi y el Ohio y en el valle del Río Grande en Texas.

3. Los vectores como hospederos intermediarios en la transmisión de enfermedades.

El huésped u hospedero es el que recibe y alimenta a otro; es cualquier animal o planta que proporcione alimento y albergue a un parásito. En muchas enfermedades transmitidas por vectores, los parásitos (agentes etiológicos) pasan su ciclo de vida en dos o más

huéspedes de especies diferentes. Los animales en los que el agente llega a la maduración o pasa su ciclo sexual son los huéspedes primarios o definitivos; aquellos en los que el parásito pasa su fase de larva asexual son hospederos secundarios o intermediarios.

No es posible aplicar estrictamente estas definiciones a las enfermedades causadas por virus, rickettsias, espiroquetas, bacterias o leishmanias, que no tienen formas sexuadas.

Algunos autores prefieren utilizar el término "vertebrado" para el huésped definitivo e "invertebrado" para el hospedero intermediario.

Se designa con el nombre de período de incubación intrínseca al intervalo de tiempo que transcurre entre la penetración del agente etiológico en el huésped vertebrado (generalmente el hombre) hasta que aparecen los signos y síntomas de la enfermedad. Se llama período de incubación extrínseca al intervalo de tiempo necesario entre la penetración del agente etiológico en el huésped invertebrado (vector) y el desarrollo de formas infectantes (en el caso de las rickettsias, organismos unicelulares y helmintos) o la multiplicación del parásito (en el caso de los virus) (Tabla 5.1).

Estos periodos varían según el número de parásitos, la temperatura, la humedad, la nutrición, la estación del año y otros factores. Para controlar las epidemias de enfermedades transmitidas por vectores, es necesario conocer los periodos de incubación de los agentes etiológicos, tanto en el hombre como en el vector.

TABLA 5.1
PERÍODOS DE INCUBACIÓN INTRÍNSECA Y EXTRÍNSECA DE ALGUNAS ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTORES

Períodos de incubación (días)			
Enfermedad	Intrínseca	Extrínseca (en el vector)	Vector
Fiebre amarilla	3-6	8-12	Aedes Aegypti
Paludismo por vivax	10-14	10-14	Anófeles
Encefalitis de San Luis	5-15	14-21	Cúlex
Peste	2-6	15-45	Pulga
Tifo endémico	8-15	5-9	Piojo
Enfermedad de Chagas	7-14	6-15	Triatoma

Fuente: "Epidemiology and control of vector - borne diseases". Pratt, H.: Centro de Enfermedades Transmisibles. Atlanta. E.U.A., 1963.

4. Formas de afectación al hombre por los vectores

Los artrópodos y roedores afectan al hombre de muy variadas formas, entre las cuales las principales son:

a) Afectación económica: los artrópodos y roedores causan graves daños económicos al hombre; sobre todo por la destrucción de cultivos agrícolas o afectando las cosechas con disminución de su valor, así como por la parasitación o destrucción de alimentos listos para el consumo durante su almacenamiento y distribución.

b) Entomofobia: significa temor a los insectos y se manifiesta en personas que sienten repugnancia o miedo hacia ciertos artrópodos. En las labores de saneamiento, un sentimiento moderado de aversión hacia éstos resulta conveniente para los sanitarios, ya que asegura el interés de la población en la eliminación de las plagas.

c) Intoxicación, irritación y alergia: muchos insectos y algunas arañas, escorpiones y ciempiés han desarrollado mecanismos tóxicos que utilizan en defensa propia o para inmovilizar a su presa. Sus picadas y mordeduras suelen ser muy irritantes para el hombre, pero rara vez causan la muerte. Entre los más peligrosos se encuentra la araña viuda negra y algunos escorpiones. Las picadas de las abejas y avispas pueden resultar tóxicas para las personas alérgicas a su veneno. La toxina de los insectos contiene complejos de sustancias proteicas, o ácido fórmico, que pueden producir un shock anafiláctico o la muerte.

d) Miasis: significa la infestación del hombre o animales por las larvas vivas de las moscas, que puede ocurrir con algunas especies ocasionando molestias a los afectados.

e) Transmisión de enfermedades: la transmisión de enfermedades al hombre por los vectores puede ser, como se ha expuesto en otra parte de este capítulo, mecánica o biológica, por lo que no es necesario profundizar más en este tema. No obstante, entendemos oportuno citar algunas enfermedades que se transmiten por vectores, con su agente causal y el mecanismo de transmisión. (Tabla 5.2)

V.3 DEFICIENCIAS EN EL SANEAMIENTO QUE INFLUYEN EN LA PROCREACIÓN DE VECTORES

Entre las deficiencias del saneamiento que influyen en la presencia y multiplicación de los artrópodos y roedores vectores de enfermedades, se pueden citar las siguientes:

a) El inadecuado control de excretas y residuales líquidos que facilita la procreación de moscas, mosquitos, cucarachas y roedores.

b) La disposición de desechos sólidos sin cumplir los requisitos sanitarios, propiciando la aparición de criaderos y guaridas de artrópodos y roedores.

c) Las dificultades en el abastecimiento de agua a la población con la consiguiente proliferación de depósitos para almacenamiento, a menudo sin tapa, que constituyen criaderos reales o potenciales de mosquitos.

d) La existencia de terrenos bajos y de difícil drenaje, que acumulan agua y se convierten en criaderos de mosquitos.

e) El uso de zanjas, arroyos o ríos como destino final de órganos de tratamiento de albañales.

f) El almacenamiento inadecuado de alimentos, que propicia la multiplicación de roedores.

g) Otras muchas situaciones favorecedoras de la procreación de vectores, entre las que se pueden citar por su relativa frecuencia:

- La falta de mantenimiento adecuado de las viviendas y otros locales
- El almacenamiento a la intemperie de artículos que se pueden convertir en focos de vectores (neumáticos en desuso, chatarra, etc.)
- La falta de saneamiento en los solares yermos y otras áreas, con la consiguiente presencia de malezas y la acumulación de escombros y otros desechos.

**TABLA 5.2
ALGUNAS ENFERMEDADES TRANSMITIDAS AL HOMBRE POR VECTORES**

Enfermedad	Modo de transmisión	Agente etiológico	Vector
Disenteria amebiana	Contaminación de alimentos	Entamoeba histolityca	Mosca doméstica, cucaracha, rata
Disenteria bacilar	Contaminación de alimentos	<i>Shigella dysenteriae</i>	Mosca doméstica, cucaracha, rata
Fiebre tifoidea	Contaminación de alimentos	<i>Salmonella typhi</i>	Mosca doméstica, cucaracha, rata
Cólera	Contaminación de alimentos	<i>Vibrio cholerae</i>	Mosca doméstica
Fiebre amarilla	Picadura	Virus	Mosquito <i>Aedes aegypti</i>
Dengue	Picadura	Virus	Mosquito <i>Aedes aegypti</i> , <i>A. albopictus</i> , <i>A. scutellaris</i>
Paludismo (malaria)	Picadura	<i>Plasmodium vivax</i> , <i>falciparum</i> , <i>ovale</i> y <i>malariae</i>	Mosquito anófeles
Filariasis	Picadura	<i>Wuchereria bancrofti</i> y <i>Brugia malayi</i>	Mosquito <i>Cúlex</i> , <i>Aedes</i> , <i>Anopheles</i> y <i>Mansonia</i>
Encefalitis (San Luis, Este y Oeste)	Picadura	Virus	Mosquito <i>Cúlex</i> , <i>tarsalis</i> y otros
Enfermedad de Chagas	Contaminación fecal de la picadura	<i>Trypanosoma cruzi</i>	Triatoma
Oncocercosis	Invasión de la picadura	<i>Onchocerca volvulus</i>	Simúlidos
Peste	Picadura	<i>Pasteurella pestis</i>	Pulga <i>Xenopsylla cheopis</i>
Tifo murino	Contaminación de la picadura o heridas	<i>Rickettsia typhi</i>	Pulga <i>Xenopsylla cheopis</i>
Tifo epidémico	Contaminación de la picadura o heridas	<i>Rickettsia prowazeki</i>	Piojo del cuerpo
Leishmaniasis	Picadura	<i>Leishmania</i>	<i>Phlebotomus</i> (jejenes)
Conjuntivitis	Contaminación de los tejidos oculares	<i>Haemophilus aegyptius</i>	<i>Hippelates pusio</i> y otros jejenes

Fuente: 8

V.4 MEDIDAS DE CONTROL DE VECTORES

El control de vectores se puede definir como el conjunto de medidas que deben ser ejecutadas por los organismos estatales y el pueblo en general, a fin de lograr que la densidad de vectores disminuya a una magnitud tal que deje de ser un problema sanitario. En determinados vectores, como es el caso del mosquito *Aedes aegypti*, esta disminución puede y debe llegar a una cifra igual a cero, situación que de mantenerse, convertiría la actividad en **erradicación de la especie**.

1. Clasificación de las actividades de control

Las **actividades de control de vectores según su localización (donde se realizan)** pueden clasificarse en **dos grandes grupos**:

- **extradomiciliarias**
- **intradomiciliarias**

a) Actividades extradomiciliarias, entre las que podemos señalar:

- el chapeo,
- la canalización,
- las nebulizaciones de insectos,
- el control biológico con peces larvivoros,
- la eliminación de desechos en solares yermos
- las obras de ingeniería sanitaria que se realicen para el saneamiento urbano y rural, tales como:
 - entubamiento de zanjas y arroyos,
 - el drenaje de zonas pantanosas y otras similares.
 -

b) Actividades intradomiciliarias, como su nombre lo indica, son todas aquellas que se realizan dentro de las viviendas y edificaciones públicas, entre las que se puede citar:

- la verificación y el tratamiento de criaderos de vectores en dichos locales.

Es importante destacar que para la solución definitiva del problema de los vectores en una comunidad, es necesario acompañar a las medidas intra y extradomiciliarias con la **educación sanitaria** de la población para que ésta colabore activamente en la erradicación de estos organismos.

Durante los últimos años se ha incrementado la preocupación de la población por el empleo de plaguicidas como método de lucha contra los vectores de enfermedades y las plagas agrícolas. Como resultado de ello se han hecho más estrictas las reglamentaciones sobre la manipulación de dichos productos químicos, incluyendo además, dentro de las legislaciones, todos aquellos aspectos relativos a las cantidades residuales de plaguicidas toleradas en los alimentos.

También se ha dado importancia a los procedimientos de lucha no química, lo que ha favorecido el desarrollo de investigaciones sobre la ecología y comportamiento de los artrópodos y roedores, la búsqueda de medios biológicos para su control y el perfeccionamiento de nuevos métodos y técnicas para evaluar la dinámica de las especies.

2. *Métodos de lucha contra los vectores*

Los principales métodos de lucha contra los vectores se pueden agrupar en:

- a) *educación sanitaria,*
- b) *uso de medios físicos,*
- c) *uso de medios químicos,*
- d) *uso de medios biológicos.*

Un correcto programa de operaciones debe comprender acciones de educación sanitaria, reducción de focos, lucha química, control biológico y todos los demás procedimientos que propician la disminución de la población de vectores.

Si no se intenta al mismo tiempo la eliminación de criaderos, los tratamientos con plaguicidas pueden dar resultados desalentadores. Es por ello que para que el resultado sea eficaz, la lucha contra los vectores debe basarse principalmente en las llamadas **medidas de control permanente**, entendiendo las mismas como aquéllas que van dirigidas a la supresión de criaderos. Ejemplo de ellas son:

- la educación sanitaria,
- el drenaje o relleno de zonas pantanosas,
- la eliminación de desechos a la intemperie,
- la evacuación higiénica de los albañales,
- la disposición sanitaria de desechos sólidos y
- el almacenamiento correcto de alimentos

Muchos de los métodos de lucha han sido empleados en una **zona geográfica y contra un vector determinado**, estando sus resultados en relación directa con las características de dicha zona, como son, por ejemplo, sus **condiciones climáticas**; así como con los **hábitos y otras características del vector**. Las medidas que son de utilidad en un país, deben siempre ensayarse en otro para comprobar su eficacia, antes de realizar cualquier intento por adoptarlas en el orden operativo.

Según sea la cadena epidemiológica de las distintas enfermedades transmitidas por vectores, así serán las medidas a tomar para evitarlas, dirigidas en algunos casos al huésped, en otros al agente etiológico, otras veces al reservorio y otras al vector. Entre las principales medidas a tomar contra los vectores, se destacan:

a) **Saneamiento del medio**, para la reducción o eliminación de criaderos de vectores. También puede realizarse para privar de alimentos y guarida a roedores que son reservorios de la peste y el tifo murino, y para eliminar la vegetación que pueda servir de albergue a garrapatas y niguas vectoras de enfermedades.

b) Reducción del número total de vectores, que se realiza mediante el empleo de insecticidas y rodenticidas en programas o campañas contra la malaria, la encefalitis, el dengue, la fiebre amarilla, el tifo epidémico, la peste y otras enfermedades transmitidas por artrópodos o roedores.

c) Control de vectores infectados para evitar que se pongan en contacto con el hombre susceptible, lo que se puede lograr mediante:

- protección con mallas metálicas y plásticas para impedir la entrada de vectores infectados en las habitaciones,
- ropa protectora para impedir que los vectores infectados piquen a huéspedes no infectados,
- protección personal mediante el empleo de repelentes que impidan a los artrópodos infectados picar al hombre.

d) Protección de los alimentos contra la contaminación por vectores mecánicos como las moscas, cucarachas y ratas.

e) Prevención de la infección en los vectores, lo que puede obtenerse por medio de las siguientes medidas:

- barreras fijas entre los huéspedes infectados y los vectores, como son las mallas metálicas en las habitaciones, el uso de mosquiteros en los enfermos de fiebre amarilla o dengue y el aislamiento o cuarentena de pacientes de peste y de sus contactos
- barreras químicas que impidan la infección del vector

t) Empleo de trampas para controlar los roedores que puedan ser vectores o reservorios de enfermedades transmisibles.

g) Control biológico de insectos mediante el empleo de **peces larvívoros** u otros medios para combatir la procreación de mosquitos, y de roedores utilizando **salmonellas** y **virus** para provocar epidemias entre los mismos.

h) Aislamiento contra los roedores para impedir que penetren en los edificios, mediante el empleo de planchas de metal para reforzar la parte inferior de las puertas, rejillas en los tragantes, y otras medidas.

V.5 PROGRAMAS DE CONTROL DE VECTORES

Las diferentes medidas para el control de vectores referidas con anterioridad, deben estar correctamente estructuradas dentro de un programa con objetivos bien definidos en tiempo y espacio, lo cual permitirá la evaluación posterior del mismo.

1 Elementos básicos

Los elementos básicos a considerar para **los programas de control de vectores** son los siguientes:

- a) Conocimiento de los vectores existentes.
- b) Conocimiento de la biología y ecología de dichos vectores.
- c) Empleo de medidas permanentes de control como las prioritarias dentro del programa, con especial atención a las actividades de saneamiento del medio.
- d) Empleo, siempre que sea posible, de los métodos biológicos de control.
- e) Utilización de las medidas transitorias de control a base de plaguicidas, de forma racional y en base a los requisitos técnicos.
- t) Actividades de educación sanitaria efectuadas en forma permanente, iniciadas antes de la fase de ataque del programa y mantenidas durante todo el desarrollo de éste.
- g) Evaluación periódica, de acuerdo a los objetivos del programa.

2 Etapas

Todo programa de control de vectores es indispensable que se desarrolle en base a las siguientes **etapas** o fases:

1) Etapa Preparatoria: donde se realizan una serie de actividades básicas para lograr el éxito del programa, entre las que se destacan:

- Conocimiento de la magnitud del problema
- Reclutamiento y adiestramiento del personal
- Reconocimiento geográfico del área donde se ejecutará el programa
- Conocimiento de las condiciones de saneamiento existentes
- Realización de encuestas para conocer la infestación por vectores
- Realización de pruebas de sensibilidad-resistencia de los vectores a los plaguicidas que se van a utilizar y comprobación de los métodos de aplicación de dichos productos químicos
- Educación sanitaria de la población
- Realización de actividades de saneamiento básico encaminadas hacia la reducción de los criaderos y guaridas de los vectores.

2) Etapa de ataque del Programa: en la que se desarrollan las actividades fundamentales del mismo, las cuales se enuncian a continuación:

Intensificación de las medidas de saneamiento básico

- Empleo de plaguicidas como medida complementaria. en caso de ser necesario
- Evaluación de los resultados obtenidos, mediante encuestas entomológicas
- Investigación de las causas de la infestación remanente, si existiera

3) Etapa de consolidación v mantenimiento de los resultados del programa: en la que las principales acciones serán:

- Conservación de las condiciones de saneamiento del medio obtenidas en las fases anteriores
- Empleo de plaguicidas, en caso de ser necesario
- Mantenimiento de las actividades de educación sanitaria
- Realización de evaluaciones periódicas

Las perspectivas de éxito de un programa de control de vectores están supeditadas a dos elementos fundamentales:

- Las mejoras que se obtengan en el saneamiento
- Las prioridades que se establezcan en el programa, de acuerdo a los recursos humanos y materiales disponibles y a las dificultades existentes para su realización.

Los programas de control de vectores pueden ser planificados para todo el país, pero generalmente se priorizan las áreas más vulnerables desde el punto de vista epidemiológico o las que son de gran atractivo turístico.

En todos los programas nacionales de control de vectores, deben estar involucrados los organismos estatales, el sector privado y la población, pues estando todos trabajando en conjunto es la única forma de abarcar y atacar la problemática existente y de sugerir las soluciones a corto, mediano y largo plazo.

La existencia de sitios de disposición final de residuos sólidos inadecuados constituye un claro ejemplo de un foco de contaminación por vectores, donde el control de roedores – ratas y ratones- no es tarea fácil, debiéndose realizar el compactado y cobertura diarios de la basura para evitar su proliferación^{10,11}, manteniéndose las zonas de vertido y el entorno libres de desperdicios frescos y procediéndose a trabajos de desratización. En determinadas épocas puede ocurrir también que la población de moscas y mosquitos proliferen de forma alarmante en estos terrenos, lo que implica el uso de insecticidas, en tratamientos de choque mediante productos de alta dispersabilidad y de acción inmediata (con escasa permanencia) sobre las capas de basura, o mediante tratamientos preventivos con productos de elevado índice de residualidad, sobre las zonas próximas al vertido: tierras, matorrales, hierbas, etc.¹⁰ Tanto en el control de roedores como en el de insectos es aconsejable la variación periódica de las materias activas.

Algunos autores recomiendan dentro del control ambiental en un sitio de disposición final de residuos un **programa de control de moscas en el relleno sanitario y uno de control de roedores**¹¹. El primero considera que en el área de trabajo la efectividad de las operaciones para el **control de las moscas** puede medirse por el recuento de las moscas en el lugar donde se está actuando. Además se plantea que la información sobre las necesidades y realizaciones de un programa de control se obtienen mediante una cuidadosa medición de criaderos y de las poblaciones de moscas, tanto antes como después de las labores de control; para lo cual debe tenerse en cuenta la dinámica de la población de moscas, la cual se modifica por reproducción, mortalidad y migración, lo cual varía con la naturaleza del medio.

Con respecto al **control de roedores**, se plantea que el relleno debido a la existencia de residuos domésticos constituye una importante fuente de alimentación para los roedores, lo que acarrea un inconveniente que debe ser tomado con las previsiones necesarias para evitar las posibles consecuencias sanitarias de la población. Para evitar la existencia de roedores en los rellenos se recomiendan dos tipos de prácticas:

- Compactado y recubrimiento diario de los residuos dispuestos
- Empleo de venenos y cebos. El uso de los raticidas es uno de los recursos más importantes en la lucha contra las ratas, pero presenta dificultades originadas en la instintiva desconfianza de los roedores.



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

CURSOS INSTITUCIONALES

CONTAMINACION AMBIENTAL Y SALUD

Del 21 al 25 de Mayo de 2007

ANEXOS

CI - 018

Instructora: M. en C. Doraida S. Rodríguez Sordia
SERVICIOS DE SALUD PÚBLICA DEL GOBIERNO DISTRITO FEDERAL
MAYO DE 2007

CAPÍTULO VI. CONTAMINACIÓN DEL SUELO**VI.1 PRINCIPALES PROPIEDADES DE LOS SUELOS****VI.1.1 Características físicas**

Suelo: agregado natural de granos minerales, materia orgánica, agua y aire, que puede ser separado por medios mecánicos suaves (tamizado, dilución en agua, etc.), y que presenta características físicas y químicas que pueden ser alteradas según el agente externo que actúe sobre el mismo (cargas, vegetación, viento, lluvia, etc.).

Roca: Agregado natural de granos minerales unidos por fuerzas cohesivas permanentes. Generalmente subyace a un espesor de suelo.

TABLA 6.1**PERFIL DE SUELO**

Horizonte de máxima actividad biológica y remoción de materia disuelta o suspendida	A1	15-25 cm	Suelo mineral mezclado con materia orgánica. Es un horizonte oscuro en muchos suelos, que evidencian una actividad biológica máxima.
	A2		Horizonte coloreado solamente por arcilla, ya que otros minerales en suspensión o solución han sido eliminados.
	A3		Horizonte transicional de A a B con más porcentaje de A.
Horizonte de acumulación de materia suspendida de "A" o de máxima acumulación de arcillas	B1	45 a 120 cm	Horizonte transicional de A a B con más porcentaje de B.
	B2		Horizonte de máximo contenido de arcilla o de acumulación de hierro y materia orgánica.
	B3		Horizonte transicional de B a C.
—	C	Varios metros	Generalmente se encuentra el Nivel Freático. Material igual o similar al desarrollado en A o B. Generalmente es la capa de intercambio mayor.
	R		Roca

VI.1.2 Componentes del suelo

- **Materia orgánica:** Materia vegetal o animal que se encuentra en estado de descomposición y puede contener humus, excretas, residuos agrícolas, animales muertos, etc.. La naturaleza química de esta materia es muy compleja, encontrándose entre sus principales componentes: hidratos de carbono, ligninas, proteínas y grasas
- **Formas de vida microbiana:** Se encargan de la degradación de la materia orgánica. El suelo es el elemento que más formas de vida contiene. Sus partículas componentes presentan cargas negativas (por la carga coloidal y de arcilla presentes) lo que permite la remoción de cationes, con preferencia los de mayor valencia y tamaño (estas propiedades son conocidas como capacidad de intercambio catiónico y adsorción).

Las arenas y gravas presentan baja relación superficie/masa

Las arcillas y limos alta relación área superficial/masa (debido a lo pequeño de la partícula), lo que permite que tengan gran capacidad para remover carga orgánica.

TABLA 5.2

NÚMERO DE MICROORGANISMOS PRESENTES POR GRAMO DE SUELO

Microorganismos (μ organismos)	Microorganismos/gramos de suelo (μ organismos/g de suelo)
Bacterias	2 500 000
Actinomicetos	700 000
Hongos	400 000
Algas	50 000
Protozoarios	30 000

- **Agua y sales disueltas:** La **capacidad de campo** de un suelo es la mayor cantidad de humedad que se sostiene antes de comenzar una percolación continua hacia abajo. Un suelo puede drenar aunque no esté saturado. Cuando un suelo satisface su capacidad de campo se satura.

TABLA 5.3**CAPACIDAD DE CAMPO POR TIPO DE SUELO**

Tipo de suelo	Capacidad de campo (mm/m)
Arena fina. No retiene la humedad (el grano grande presenta mayor conductividad hidráulica)	120
Arcilla. Las raíces de las plantas absorben mejor los nutrientes	450

Lixiviado= Precipitación - (evapotranspiración+ agua retenida) $L=P-(E+R)$

La capacidad de campo se toma de todo el estrato disponible (perfil).

Generalmente la lixiviación en un relleno sanitario es de **1 m/año**

Permeabilidad (k): Está en función del estrato de suelo. Propiedad de las distintas capas de suelo de dejar pasar con mayor o menor rapidez los líquidos.

Ejemplo. Calcule la permeabilidad de un suelo que posee las siguientes características:

Espesor(m)	K (cm/seg)
10	1×10^{-6}
8	1.6×10^{-4}
2	2×10^{-5}

$$k \text{ ponderada} = [1 \times 10^{-6}(10) + 1.6 \times 10^{-4}(8) + 2 \times 10^{-5}(2)] / 20$$

TABLA 5.4**VALORES DE K SEGÚN TIPO DE SUELO**

Composición del suelo	K (cm/seg)
Basura	1×10^{-1}
Arcilla	1×10^{-6}

Esta diferencia entre las permeabilidades de la basura, y las capas de suelo por debajo, origina un coeficiente de retardo en el paso del líquido, que hace que se salga por los extremos de la pila de basura depositada, aunque no esté colmatado el suelo subyacente.

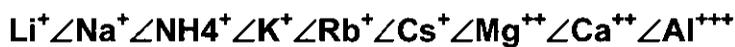
- **Aire.** La composición en volumen de las capas de suelos se muestra en la tabla 5.5

TABLA 5.5**COMPOSICIÓN EN VOLUMEN DE LAS CAPAS DE SUELO**

Componentes	% volumen
Aire	25-40
Agua	5-25
Minerales*	50 (materia orgánica ∠ 4%)

*: En peso los minerales representan aproximadamente el 90%

Los finos en un suelo (arcillas con diámetro $\angle 0.002$ mm) tienen un área superficial enorme con relación a su masa. Son generalmente incrustados por iones de OH y Oxígeno que le imparten generalmente carga negativa, que posteriormente se manifiesta en una alta capacidad de intercambio catiónico. (Eliminación de metales pesados). La tendencia de atracción sigue el siguiente orden:



O sea la fuerza de atracción de cationes (iones positivos) depende de:

- 1) la valencia del catión (como se ha visto anteriormente)
- 2) el tamaño del catión

En la tabla 5.6 se muestran algunos tamaños de cationes.

Cuando un suelo es salino, las sales hacen que las arcillas se expandan y se hagan impermeables (no dejen pasar el agua hacia abajo), esto es malo para la agricultura pues se pueden pudrir las raíces, pero bueno cuando no queremos que pasen contaminantes hacia las aguas subterráneas.

TABLA 5.6
TAMAÑO DE CATIONES

Catión	Tamaño (Amstrong) A°
Al ⁺⁺⁺	0.39
Fe ⁺⁺⁺	0.69
Mg ⁺⁺	0.78
Ca ⁺⁺	1.06
Na ⁺	0.98

- **Componentes minerales solubles como grava, arena, limo y arcilla**

VI.1.3 Principales propiedades de los suelos

1. Color (la humedad interfiere)

Los **suelos oscuros** contienen gran cantidad de humus y son más fértiles que los claros. **Rojos o castaños.** Tienen gran proporción de óxidos de hierro(FeO), son muy buenos y bien drenados. No han sido sometidos a humedad excesiva.

Amarillentos. Ya los FeO reaccionaron con agua, hay mal drenaje y proporcionan escasa fertilidad.

Grisáceos. Presentan deficiencias de fierro y oxígeno. Contienen exceso de sales alcalinas como CaCO₃, calizas, etc.

2. Textura

Está relacionada con el tamaño de las partículas minerales. Específicamente se refiere a la proporción relativa de los tamaños de varios grupos o fracciones en el suelo. Según su tamaño las partículas se clasifican en las siguientes divisiones o fracciones:

TABLA 5.7

CLASIFICACIÓN DE LAS PARTÍCULAS EN EL SUELO

Fracción del suelo	Diámetro (mm)	
	Americana (USA)	Internacional
Gravas	>2.0	>2.0
Arena muy gruesa	2.0-1.0	2.0-0.2
Arena gruesa	1.0-0.5	
Arena media	0.5-0.25	
Arena fina	0.25-0.10	
Arena muy fina	0.10-0.05	0.2-0.02
Limo	0.05-0.002	0.02-0.002
Arcilla	< 0.02	< 0.02

Ejemplos:

1. Determine la textura de un suelo que presenta la siguiente composición, 60% de arena, 25% de limos y 15% de arcilla. R/ Migajón arenoso.
2. Defina la textura de un suelo con la siguiente composición: 33% de arcilla, 40% de arena y 25% de limo. R/ Migajón arcilloso.

3. Estructura. Se refiere a la disposición de las partículas en grupos en forma de agregados que presentan un patrón determinado. La estructura se divide en tres aspectos, que son: **tipo, clase y categoría.**

- **Tipo:** Se refiere a la forma geométrica del agregado
- **Clase:** Se refiere al tamaño del agregado
- **Categoría:** Refleja la estabilidad del agregado

a) Tipo:

a.1 De placa

Las dimensiones horizontales más desarrolladas que las verticales



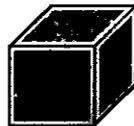
a.2 Prismática

Las dimensiones verticales más desarrolladas que las horizontales



a.3 Blocosa

Sus tres dimensiones son iguales



a.4. Esferoidales

Sus ejes iguales en todas direcciones



b) Clase (tamaño del agregado)

b.1 Muy fino o muy delgado

b.2 fino o delgado

b.3 mediano

b.4 grueso o áspero

b.5 muy grueso o muy áspero

c) Categoría

c.1 Carente de estructura

c.2 Débil

c.3 Moderada

c.4 Fuerte

Para describir la estructura de un suelo, la secuencia es: **Tipo-Clase-Categoría**

Ejemplo: **Blocoso-mediano-fuerte**

De acuerdo al balance de agua (humedad) del suelo, obtengo la cantidad de percolación anual en $m^3/año$, si estuviera trabajando con un relleno sanitario.

Se calculará el espesor de suelo capaz de remover los cationes (iones con carga positiva), presentes en una solución contaminante. Este espesor de suelo estará entre la superficie donde descargue el contaminante y el nivel de aguas freáticas (NAF).

- Paso 1: Se determinará la cantidad de miliequivalentes por litro (meq/l) de la solución contaminante.
- Paso 2: Determinar los gramos de suelo necesarios para remover la concentración catiónica presente en un litro de solución contaminante.
- Paso 3: Determinar los m^3 de suelo necesarios por m^3 de solución contaminante.
- Paso 4: Mediante proporción calcular el espesor de la interfase.

Ejemplo: Determinar la cantidad de suelo necesaria para intercambiar los cationes presentes en $15 m^3$ de desechos líquidos descargados por una industria, si la densidad del suelo es de $1800kg/m^3$, y su capacidad de intercambio catiónico (CIC)=25 meq/100 gramos de suelo.

La composición de la descarga es la siguiente:

Catión	Conc (mg/l)	Peso atómico (mg)	Peso Equivalente (mg/meq)	Conc (meq/l)
Ca ⁺⁺	800	40	20	40 (800/20)
Mg ⁺⁺	1 000	24.3	12.15	82.30
Na ⁺	150	23	23	6.52
Fe ⁺⁺	60	56	28	2.14
Zn ⁺⁺	600	65.3	32.6	18.38
TOTAL				149.34

$$149.34=149 \text{ meq/l}$$

Las sustancias químicas reaccionan de equivalente a equivalente. El equivalente es el peso molecular o atómico, según el caso, dividido por el número de oxidación o valencia.

Capacidad de intercambio catiónico, como su nombre lo indica es referente a los elementos o sustancias con carga positiva (cationes).

Como dato necesito la **densidad del suelo y la capacidad de intercambio catiónico** del suelo.

$$\frac{149 \text{ meq/l de sol. contaminante}}{25 \text{ meq/100 g de suelo}} = \frac{14 \ 900 \text{ g de suelo}}{25 \text{ lt sol.contam.}} = \frac{596 \text{ g de suelo}}{\text{lt de solución}} = \frac{596 \text{ kg suelo}}{m^3 \text{ sol.}}$$

Para calcular los m³ de suelo necesarios

$$\frac{596 \text{ kg suelo/m}^3 \text{ de solución}}{1800 \text{ kg. suelo/m}^3 \text{ suelo}} = \frac{(0.33 \text{ m}^3 \text{ de suelo})}{\text{m}^3 \text{ solución}} (15 \text{ m}^3 \text{ de solución}) = 5 \text{ m}^3 \text{ suelo}$$

Asumiendo que el área receptora de suelo sea de 1 m² con 5m de profundidad podríamos deshacernos de la carga.

Si el nivel freático estuviera muy cerca, aumentaríamos el área a por ejemplo 2.5 m² y entonces con sólo 2 m de profundidad, eliminaríamos la carga contaminante.

Para lixiviados de rellenos sanitarios, se propone una interfase de suelo de 4 veces la calculada.

Esta propiedad del suelo (**CIC**), es el principal mecanismo utilizado para calcular la interfase de suelo necesaria para la remoción de la contaminación por carga inorgánica.

VI.3 TECNOLOGÍAS DE RESTAURACIÓN AMBIENTAL DE SUELOS CONTAMINADOS¹³

Inicialmente la limpieza de un sitio consistía en el traslado del material contaminado a otro lugar donde era confinado o se incineraba. Estas alternativas encontraban gran oposición en las comunidades cercanas a las instalaciones de recepción y cremación.

El desarrollo tecnológico en destoxificación ambiental se ha orientado hacia el diseño de procesos físicos, químicos, biológicos o combinaciones de ellos que tengan las siguientes características:

- a) que transformen los tóxicos ambientales en sustancias menos peligrosas para el hombre, debido a:
 - Los destruya completamente
 - Disminuya su toxicidad
 - Disminuya su concentración en los medios que entran en contacto con las poblaciones humanas
 - Los modifique químicamente y el cambio introducido disminuya la probabilidad de que se produzcan exposiciones efectivas
- b) Los riesgos para la salud durante el proceso de limpieza deben de ser tolerables
- c) Los riesgos remanentes, después de terminada la restauración, deben ser iguales o menores que los establecidos en las metas de restauración.
- d) Que la transformación se lleve a cabo en el sitio mismo donde se encuentran los tóxicos, de ser posible sin tener que desplazar, dentro del sitio, el medio contaminado (técnicas in situ).
- e) Que logren la disminución o eliminación del peligro para la salud en tiempos y costos razonables.

Las tecnologías de restauración se clasifican en dos grandes grupos:

- Técnicas tradicionales o establecidas y
- Técnicas innovadoras

Las primeras son técnicas desarrolladas antes de 1980 y que se han probado que son efectivas y de uso común a escala de campo. Como ejemplo podemos citar la inmovilización por vitrificación y cementación en instalaciones de confinamiento y la incineración de medios contaminados en hornos de cremación de residuos tóxicos.

Las segundas son técnicas propuestas más recientemente y que se pueden encontrar en diferentes etapas de desarrollo, tales como:

- Etapa de concepto (idea, investigación, pruebas de laboratorio)
- Tecnología incipiente (prueba a escala reducida)
- Tecnología utilizable (estudio piloto, estudio de demostración, uso limitado a gran escala).

IV.3.1 Métodos biológicos

1. Biorrestauración: Consiste en el uso de microorganismos para degradar las sustancias tóxicas, de ser posible convirtiéndolas en bióxido de carbono, agua y sales minerales inocuas
2. Fitorrestauración: Consiste en utilizar cultivos de plantas para eliminar tóxicos presentes en agua y suelo. Se han utilizado para eliminar iones metálicos, plaguicidas, disolventes, explosivos, derrames de hidrocarburos y lixiviados de basureros tóxicos.

IV.3.2 Métodos químicos

1. Deshalogenación: Es un proceso por medio del cual se reduce el número de átomos de halógeno que se encuentran en una molécula orgánica. Los compuestos polihalogenados son tóxicos y la disminución del número de halógenos en la molécula disminuye su toxicidad.
2. Muros de tratamiento: El proceso consiste en hacer pasar la corriente de agua contaminada por una pared reactiva permeable. El tóxico disuelto en el agua, al pasar por el lecho, reacciona con el empaque, transformándose en un compuesto no tóxico o en un compuesto insoluble que queda atrapado en el lecho. El resultado es que el agua contaminada que llega a la pared reactiva al salir ya no lleva tóxicos disueltos. Son tres los mecanismos de eliminación: degradación, precipitación y sorción.

IV.3.3 Extracción

Son procedimientos que se pueden hacer *in situ* o *ex situ*, normalmente no degradan el tóxico, sino que lo transfieren del medio contaminado a otro, donde puede ser destruido, utilizando cualquiera de los métodos químicos o biológicos citados anteriormente, o bien pueden incinerarse o confinarse. Normalmente la transferencia de un medio a otro va acompañada de una reducción considerable del volumen a tratar o confinar.

1. Enjuague del suelo in situ: El procedimiento consiste en disolver los tóxicos absorbidos en las partículas de suelo utilizando soluciones de lavado.
2. Extracción de vapores: Consiste fundamentalmente en la extracción por arrastre con aire de los tóxicos volátiles en forma de vapor.

3. Lavado del suelo: Es un procedimiento *ex situ* en el que el suelo contaminado se remueve y se eliminan las partículas mayores (piedras, palos, etc.). El suelo cribado se lava con soluciones acuosas. Lo que se logra con esta técnica es reducir el volumen de material que se procesa o confina.
4. Extracción con disolventes: Es también un proceso de lavado de suelo *ex situ* en el que se usan disolventes orgánicos en lugar de soluciones acuosas. Los tóxicos se distribuyen entre las distintas fases. Los compuestos orgánicos, como los bifenilos policlorados se encontrarán en la fase orgánica, los iones inorgánicos en la fase acuosa o en la fase sólida. La fase orgánica se puede tratar con otros disolventes, hasta que se tengan fracciones que se puedan tratar fácilmente, o se puedan volver a utilizar en los procesos de fabricación de donde provienen o en otros usos.

CAPÍTULO VII. CONTAMINACIÓN DEL AIRE

VII.1 CAUSAS (FUENTES DE CONTAMINACIÓN)

- a) *Fuentes naturales*: El agente de contaminación natural más corriente es el polvo transportado por el viento, aunque las materias biológicas, las esporas, los pólenes y las bacterias pueden a veces producirse en cantidades suficientes para plantear problemas lejos de sus fuentes naturales.
- b) *Fuentes agrícolas y pecuarias* : Las prácticas agrícolas y pecuarias pueden crear materias biológicas contaminadoras, pero los contaminantes más importantes son los insecticidas y herbicidas que se utilizan en la agricultura.
- c) *Fuentes tecnológicas* (fijas y móviles): Se utiliza esta nomenclatura con preferencia al término "industrial", puesto que casi todas las actividades actuales de este tipo son generadoras de agentes de contaminación y también lo es el transporte automotor. Las emisiones más importantes son las que proceden de procesos directos de conversión de energía, cuando se queman carburantes para el transporte, para la producción de energía eléctrica y para la calefacción.

Estos procesos no sólo son los que mayor cantidad de agentes contaminadores producen, sino que además y especialmente en lo que respecta al transporte, son los que más se difunden sobre extensas zonas y no únicamente al centro de las ciudades

VII.2 NATURALEZA, ORÍGENES Y CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES

Los contaminantes del aire pueden presentarse en forma de gases, de partículas sólidas o de aerosoles líquidos. Estas formas pueden existir, ya sea separadamente o combinadas entre ellas; por ejemplo, las partículas o las gotas líquidas pueden absorber los gases. Los agentes contaminantes gaseosos constituyen aproximadamente el 90% de la masa total emitida a la atmósfera, mientras que las partículas y los aerosoles líquidos constituyen el 10% restante.

Los contaminantes gaseosos proceden sobre todo de la combustión de carburantes y de la incineración de desechos. Cuando se trata de óxidos de azufre su principal origen es la combustión de carburantes en fuentes estacionarias. En las zonas donde se utiliza el carbón y los derivados residuales del petróleo para la calefacción pueden producirse altas concentraciones de SO₂. Los vehículos de motor son responsables de la mayor parte de

las emisiones de monóxidos de carbono y de hidrocarburos que resultan de la combustión incompleta del carburante.

Las partículas son emitidas por un grupo de fuentes bastante diversificado, lo que hace que sus dimensiones, formas, densidad y composición química puedan variar considerablemente. La mayor parte de las partículas contaminantes proviene de la utilización de carburantes, de la incineración de desechos y de los efluentes industriales. Aunque las partículas sólo representan aproximadamente el 10% de la cantidad de los agentes contaminantes emitidos a la atmósfera, constituyen un problema importante, ya que pueden influir de forma muy diversa en la salud y el bienestar.

Estos agentes son rápidamente transportados y dispersados por el viento. Las partículas pequeñas permanecen durante largo tiempo en la atmósfera hasta el momento en que desaparecen por la lluvia o se aglomeran en partículas más grandes. En este orden de magnitud se encuentran las partículas respirables, es decir, partículas inferiores a 8 micras. Esta gama también comprende las partículas que aumentan la turbiedad atmosférica, que atenúan la radiación infrarroja que llega a la corteza terrestre y que pueden influir en el clima a nivel mundial..

En condiciones adecuadas determinadas, un gran número de contaminantes emitidos directamente puede intervenir en las reacciones dentro de la atmósfera con producción de nuevos agentes contaminantes tales como los que se encuentran en el "smog" fotoquímico. Otro ejemplo es la combinación de vapor de agua con los anhídridos, que produce un aerosol ácido corrosivo. Las partículas pueden servir de soporte para estas reacciones atmosféricas o contener trazas de metales que actúan como catalizadores. La energía solar, principalmente la parte ultravioleta del espectro, acelera estas reacciones.

Resumiendo, podemos decir que los contaminantes de la atmósfera, atendiendo a su estado físico pueden ser clasificados como: Sólidos, líquidos y gaseosos, mientras que en relación con su origen se clasifican en primarios y secundarios.

La composición media de la capa inferior de la atmósfera (tropósfera) que se produce hasta unos 12 000 metros de altura sobre la superficie terrestre, se expone en la tabla 7.1.

Tabla 7.1
COMPOSICIÓN MEDIA DE LA ATMÓSFERA

Componente gaseoso	Fórmula	Concentración
Nitrógeno	N ₂	78.101 %
Oxígeno	O ₂	20,946 %
Dióxido de Carbono	CO ₂	317 ppm
Neón	Ne	18.2 ppm
Argón	Ar	9.170 ppm
Helio	He	5.24 ppm
Metano	CH ₄	1.5 ppm
Kriptón	Kr	1.14 ppm
Óxido nitroso	N ₂ O	0.3 ppm
Hidrógeno	H ₂	0.5 ppm
Xenón	Xe	0.086 ppm

Además de esos componentes constantes hay otros también de origen natural, cuya concentración puede presentar grandes variaciones. Por ejemplo en el intervalo del 25% al 100% de humedad relativa, el aire caliente puede contener entre 5 000 a más de 230 000 ppm de vapor de agua, mientras que en el aire frío, la concentración puede ser diez veces menor que estas cifras.

Otros componentes gaseosos de origen natural y de concentración variable son los óxidos de nitrógeno producidos por las descargas eléctricas, el dióxido de azufre, el fluoruro de hidrógeno y el cloruro de hidrógeno proveniente de las erupciones volcánicas, el sulfuro de hidrógeno que se escapa de las acumulaciones de gas natural ácido o de los volcanes, y el ozono formado por reacción fotoquímica o por descargas eléctricas.

El polvo y los aerosoles de origen natural que contiene la atmósfera consisten en partículas de sal procedentes del agua de mar, varios tipos de núcleos de condensación, partículas del suelo y de la vegetación transportadas por el aire, polvo meteórico y esporas de bacterias y plem. Las concentraciones de estas sustancias, excepto en las inmediaciones de sus lugares de origen, es extremadamente baja y de ordinario inferior a 1 ppm en el caso de los gases, y de algunos microgramos por metro cúbico en el caso de las partículas sólidas o líquidas.

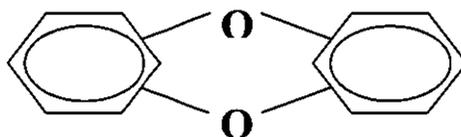
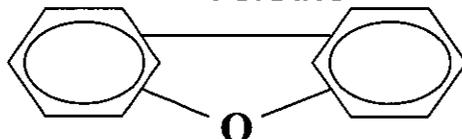
En la estratósfera puede haber concentraciones relativamente altas de ozono, desde 6 a 8 ppm, pero a nivel del suelo, en la mayoría de las zonas donde se han realizado mediciones, la concentración fluctúa entre 0 y 5 partes por cien millones.

VII.3 INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE LAS DIOXINAS Y FURANOS

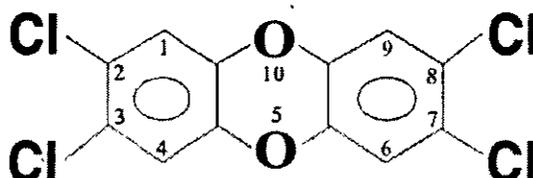
Según la Agencia de Protección Medioambiental de los EE.UU. (USEPA, 2000), los incineradores hospitalarios se consideran las mayores fuentes de dioxinas de los países industrializados. A pesar de representar tan sólo el 0,5% del peso de las basuras hospitalaria, el PVC aporta en los incineradores más del 50% del cloro, la principal causa de formación de dioxinas. De acuerdo con la mayoría de los estudios sobre incineración, cuando se mantienen constantes el resto de los factores, existe una correlación directa entre la entrada de PVC y la salida de dioxinas y furanos. Por ello la política de algunos países, como Dinamarca, es evitar la entrada de policloruro de vinilo a los incineradores.

Incluso si se eliminara todo el PVC y los residuos clorados de la corriente de residuos, la incineración no sería una solución aceptable, sino se controla la continua emisión de metales pesados, hidrocarburos y otras emisiones al aire.

Desde hace varios años la emisión de compuestos orgánicos de la familia de las dioxinas y furanos se ha convertido en uno de los asuntos más complejos y controvertidos del procesamiento térmico de los residuos sólidos urbanos u hospitalarios. México no cuenta aún con la capacidad analítica necesaria para la evaluación ambiental de dioxinas y furanos, debido a los altos costos que representan los insumos y equipos de laboratorio. Las dioxinas y los furanos son los nombres comunes con los que se conocen a ciertas familias de compuestos aromáticos oxigenados. Una molécula de dioxina está formada por una estructura de triple anillo en la que dos anillos de benceno están interconectados por dos átomos de oxígeno. La molécula de furano tiene una estructura similar, excepto que solamente un átomo de oxígeno une los dos anillos del benceno.

Figura No.1
DIOXINA**Figura No. 2**
FURANO

Los enlaces libres de los átomos de carbono para unirse a átomos de hidrógeno o cloro se numeran para identificar el tipo de isómero que se forma. Si existe cloro presente en la descomposición de materiales expuestos a altas temperaturas, combustión u otras reacciones, las dioxinas o furanos pueden tomar átomos de cloro para formar CDD's (Cloro Dibenzo-p-Dioxinas) y CDF's (Cloro Dibenzo Furanos). Estos compuestos son generalmente considerados altamente tóxicos y fuertemente persistentes en el ambiente.

Figura No. 3
2,3,7,8-TCDD (2,3,7,8-tetracloro-dibenceno-p-dioxina)

Las dioxinas constituyen un grupo de 75 compuestos diferentes (isómeros) con la misma estructura química básica, formadas por 3 anillos unidos con carbono, hidrógeno, oxígeno y átomos de cloro (Cl) enlazados en diferentes posiciones de los anillos. Las dioxinas son frecuentemente discutidas junto con los furanos, los cuales forman un grupo de 135 compuestos con estructura y propiedades similares. Las abreviaciones generales para los 210 compuestos de dioxinas y furanos son PCDD / PCDFs (Dibenzo-p-dioxinas policloradas y Dibenzofuranos policlorados).

Las posiciones numeradas representan átomos de carbono donde los enlaces están libres para unirse a átomos de hidrógeno o cloro. En la notación química se refiere a estos isómeros por el número de posición del átomo de cloro. Por ejemplo, el 2,3,7,8-TCDD (2,3,7,8-tetracloro-dibenceno-p-dioxina) es un PCDD con cuatro átomos de cloro localizados en las posiciones 2,3,7 y 8. (figura No.3). Este compuesto es considerado como el de mayor toxicidad de acuerdo a pruebas realizadas con animales y a partir de él se establece el nivel de toxicidad de los otros compuestos de la misma familia.

Las dioxinas y furanos son parte de un amplio grupo de químicos conocidos como compuestos orgánicos clorados (COPs). Estos compuestos pueden tener una estructura de anillo o aromáticos (PCDD/PCDF) o de cadena lineal (pesticida/insecticida, DDT).

Las dioxinas se generan por el llamado De Novo Synthese entre las temperaturas de 200 y 400 grados Celsius a partir de carbono e iones de cloro, ayudando como catalizador la presencia de CuCl_2 , por lo que es fácil que se formen en la salida de la caldera y en la primer separación del polvo, creando así los tetracloro-dibenzo-dioxinas (TCDD's) y los tetracloro dibenzo-furanos (TCDF's).

Entre 600 Y 800 grados se encuentran los compuestos orgánicos volátiles (moléculas orgánicas no incineradas) que son precursores de la formación de nuevos compuestos. A más de 800°C los TCDD's y TCDF's se destruyen con una presencia de oxígeno mayor al 6%.

Las principales fuentes de formación de dioxinas y furanos son los procesos de producción del clorofenol y sus derivados, los procesos de combustión incompleta en presencia de ciertos compuestos clorados y ciertas reacciones enzimáticas que se producen en procesos biológicos.

Los PCDD's/PCDF's nunca se han producido de forma intencional y nunca han tenido ninguna aplicación útil, éstos se forman como productos secundarios indeseables en numerosos procesos industriales y de combustión, a diferencia de lo que sucede con otros COPs como por ejemplo. los bifenilos policlorados (PCB) o el DDT.

La importancia de las familias PCDD's y PCDF's de compuestos orgánicos, radica en que algunos de sus isómeros se encuentran entre las sustancias más tóxicas que existen, pues tienen propiedades cancerígenas (causan cáncer) en animales. Se sabe que estas sustancias son emitidas en bajas concentraciones desde los sistemas de incineración que queman residuos sólidos urbanos y hospitalarios.

Recientemente se han propuesto tres fuentes en las emisiones procedentes de la incineración:

1. La presencia de dioxinas y furanos en los mismos
2. Su formación durante la combustión debido a los compuestos clorados precursores aromáticos
3. Su formación durante la combustión procediendo de los hidrocarburos y el cloro

Las dioxinas pueden entrar en el flujo de residuos como contaminantes en compuestos químicos, tales como los clorofenoles y clorobenzenos que se utilizan en pesticidas, papeles y preservantes de la madera. También se ha sugerido que el clorofenol podría actuar como compuesto precursor en la formación de PCDD y PCDF. Otra hipótesis consiste en que los PCDD y PCDF se sinteticen en el mismo sistema de combustión mediante reacciones entre las ligninas (componentes de la madera y el papel), y los compuestos de cloro derivados del policloruro de vinilo (PVC), o de compuestos inorgánicos como NaCl.

Sin ignorar el riesgo que representan estos compuestos que, según la EPA (Agencia del Medio Ambiente de los EE.UU.) son cancerígenos y pueden además provocar alteraciones en los sistemas inmunitario, reproductor y endocrino, hay que tener presente que no todas las dioxinas presentan toxicidad, por lo cual deben ser clasificadas en las emisiones de los incineradores.

VII.4 MEDIDAS DE CONTROL DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA¹⁴

La reducción o dilución de los contaminantes del aire se obtiene con la utilización de métodos para el control de la emisión de partículas y para el control de las emisiones gaseosas.

a) *Control de la emisión de partículas*

El humo es el contaminante del aire que siempre ocasiona más molestias y por consiguiente protestas de la población. Las partículas de carbón contenidas en el humo se deben a una combustión incompleta, y por tanto, los humos que arrojan las chimeneas indican la ineficiencia del proceso de conversión del combustible en energía útil. La prevención del humo no significa evitar la contaminación de la atmósfera, pues por las chimeneas se emite, además CO₂ y partículas de cenizas. Las chimeneas sirven para la diseminación de los contaminantes, pero no pueden considerarse como medida preventiva.

La elección de dispositivos para captar las partículas depende de la eficacia requerida en las condiciones locales, del grado de dispersión del polvo, de su capacidad de agregación, del peligro de explosiones, de la temperatura y humedad de los gases y de otros factores.

Los principales métodos para eliminar la materia en suspensión expulsada con los gases a la atmósfera pueden agruparse en cinco tipos básicos:

1. Cámaras de sedimentación
2. Separadores inerciales
3. Purificación por vía húmeda
4. Filtración
5. Precipitación electrostática

1. Las cámaras de sedimentación se basan en el principio de pasar primero el gas por la cámara con disminución de la velocidad, con lo que debido a la gravedad se sedimentan las partículas de mayor peso y diámetro. Posteriormente se realiza la separación por acción de la inercia.

2. Los separadores inerciales son colectores de tipo seco en los cuales se incrementa la velocidad del gas portador, al que se imprime un cambio de dirección con el fin de no afectar la separación de partículas por acción de la inercia. Se pueden utilizar dos tipos principales de separadores: los ciclónicos y los de impactación.

Los separadores ciclónicos son cámaras cilíndricas en su parte alta y cónicas en la parte baja, en los que penetra el gas portador tangencialmente al cilindro y sale por un tubo colocado al centro de la capa superior, El movimiento de rotación del gas ocasiona el desplazamiento en espiral de las partículas, su proyección contra la pared del cilindro y su caída a la base del ciclón para su eliminación. Estos separadores son eficientes para partículas mayores de 10 micras y a veces hasta 5 micras.

Los separadores por impactación se basan en el cambio brusco de la dirección del gas portador, lo que produce el desplazamiento de las partículas y permite su recolección sobre una superficie adecuada. Su eficiencia es apropiada para partículas mayores de 10 ó 20 micras.

3. **La purificación por vía húmeda** se realiza por diversos procedimientos que utilizan generalmente el agua como líquido fundamental, pero es frecuente que se añadan sustancias caústicas o detergentes con alcalinos, si se desea neutralizar vapores ácidos. La experiencia ha demostrado que para separar el polvo de los gases no corrosivos, los lavadores de gases a base de espuma son muy eficaces, se montan fácilmente y funcionan con seguridad. También se pueden emplear con resultados positivos para separar el polvo de plomo del aire de ventilación en las imprentas, con una eficiencia del 85%.
4. **La filtración** es uno de los métodos más antiguos utilizados para remover polvos, nieblas y humos. Los filtros son esencialmente eficientes para extraer material particulado de los gases producidos en las operaciones industriales, ya que por lo común la recolección se efectúa de forma satisfactoria con un moderado consumo de energía.

Los filtros pueden ser de algodón, lana, fibras sintéticas, metálicas, etc., y su calidad, naturaleza y espesor dependen de las condiciones de operación. Los filtros de tejidos son capaces de retener una gran cantidad de partículas contenidas en los gases, y se utilizan mucho en la industria en operaciones de recuperación de materias primas y para el control de la contaminación del aire por partículas. Estos filtros son empleados, sobre todo, en la industria del carbón, del cemento, de la arcilla y en la de productos farmacéuticos

5. En **los precipitadores electrostáticos**, el gas que contienen las partículas pasa entre dos electrodos, entre los cuales se establece un elevado potencial electrostático que crea un campo de ionización poderoso; a medida que las partículas pasan por el campo se cargan eléctricamente y migran hacia el electrodo colector de carga contraria, ceden su carga y quedan adheridas a su superficie, de donde son removidas mecánicamente por vibración, raspado o lavado, hacia una tolva ubicada en la parte baja del aparato.

Los precipitadores electrostáticos son muy eficaces para retener partículas, y la experiencia práctica ha demostrado que con ellos se puede conseguir la desaparición casi completa de los sólidos suspendidos en los gases. Su eficiencia de colección casi siempre es mayor de 95% para partículas hasta de 0.05 micras.

b) Control de las emisiones gaseosas

Para el control de las emisiones gaseosas en la industria se pueden utilizar diversos métodos, entre los cuales los más empleados son:

1. Combustión
2. Absorción
3. Adsorción

1. **La combustión** se emplea cuando el contaminante es de naturaleza oxidable, así muchos agentes orgánicos pueden ser destruidos a temperaturas altas, pero esta temperatura de operación se puede reducir mediante el empleo de un catalizador.
2. **Los equipos de absorción** tienen como finalidad transferir las moléculas del contaminante a una fase líquida por difusión, lo que depende de las concentraciones del afluente, del líquido y de la interfase gas-líquido. El gas absorbido debe ser soluble

en la fase líquida que se utiliza, y si fuese menos soluble, se puede emplear una sustancia neutralizadora en el medio líquido para reducir su tensión de vapor.

3. **El método de adsorción** se basa en la propiedad que presentan algunos sólidos de fijar de modo superficial volúmenes relativamente grandes de un gas, en proporción con su masa. El paso de un afluente gaseoso a través de un lecho formado por el material adsorbente, permite separar selectivamente ciertas sustancias. Así el carbón activado muestra una elevada capacidad de adsorción de numerosos compuestos orgánicos que tienen propiedades desagradables para el hombre.

A continuación se exponen algunas consideraciones sobre el control de las emisiones de algunos gases de gran importancia como contaminantes de la atmósfera.

- **Monóxido de carbono:** el único método realmente eficaz para reducir la emisión de este gas a la atmósfera es su combustión y transformación en dióxido de carbono, pero sólo resulta viable y práctico cuando su concentración es elevada, en otro caso se deben emplear catalizadores.
- **Óxidos de nitrógeno:** para eliminarlos, en algunas industrias de productos químicos se lavan los gases con lejía cáustica con objeto de absorberlos. A veces se emplean para la separación suspensiones alcalinas más baratas de óxido de calcio y óxido de magnesio.
- **Dióxido de azufre:** existen muchos métodos para eliminarlos de los gases residuales, como son: la separación y transformación subsiguiente en ácido sulfúrico y en sulfatos y sulfitos, la separación seguida de la obtención de dióxido de azufre concentrado y de subproductos (métodos combinados), y la separación seguida de obtención de dióxido de azufre concentrado sin formación de subproductos (métodos cíclicos)
- **Disolventes orgánicos** estos productos se eliminan de las emisiones a la atmósfera por recuperación, entendiéndose como tal su separación de los desechos industriales con objeto de introducirlos de nuevo en el proceso productivo.

Los principales métodos que se utilizan para la recuperación son la absorción de los vapores en un líquido absorbente y su posterior desabsorción (desorción), y el método de la adsorción, por el que los vapores son adsorbidos en adsorbentes sólidos, y su posterior desadsorción. Este último es el método más frecuentemente utilizado, usando como adsorbente el carbón vegetal activado, y en menor grado el gel de sílice y otras sustancias.

VII.5 IMPORTANCIA DE LAS ÁREAS VERDES EN EL ACONDICIONAMIENTO E LAS CIUDADES

Las áreas verdes y la vegetación constituyen pilares básicos de la supervivencia de la vida en todas sus manifestaciones. Sin la fotosíntesis la mayoría de las especies vivas de animales y plantas no existirían. En el medio urbano los espacios verdes proporcionan confort, descanso y variados efectos benéficos.

A continuación exponemos algunos de los principales aportes de las áreas verdes:

1. Absorben dióxido de carbono y proporcionan oxígeno
2. Adsorben gran cantidad de partículas y aerosoles en sus hojas y superficie, disminuyendo la contaminación atmosférica por las mismas

3. Mediante sus raíces recargan los acuíferos
4. Mantienen la capa vegetal de los suelos, entorpeciendo los procesos de erosión por aguas o vientos
5. Proporcionan madera, alimentos y medicinas
6. Sirven de hábitat a la fauna
7. Reducen el efecto de las radiaciones
8. Proporcionan sombra
9. Aportan belleza y color
10. Ayudan a controlar la temperatura y la humedad
11. Mejoradores del clima
12. Contribuyen a la salud física y psicológica de las personas
13. Rompen la monotonía de algunos paisajes
14. Sirven como cortinas rompevientos
15. Mejora de la imagen urbana

VII.6 EFECTOS PRODUCIDOS POR LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA¹⁵

La contaminación atmosférica afecta a millones de personas de todo el mundo, especialmente a aquellas que viven en los grandes núcleos urbanos y en áreas fuertemente industrializadas, con denso tráfico de vehículos. Las emanaciones de polvos y gases corrosivos deterioran el medio ambiente dando lugar a olores desagradables, pérdida de visibilidad y daños para la salud humana, para los cultivos y otras formas de vegetación y sobre los materiales de construcción.

La contaminación atmosférica apareció primero como una molestia grave pero, posteriormente, se ha convertido en una amenaza para la calidad de la vida, ya que una contaminación excesiva puede poner en peligro la salud y llegar a convertir algunas zonas en lugares no aptos para ser normalmente habitados.

Los efectos producidos por la contaminación atmosférica dependen principalmente de la concentración de contaminantes, del tipo de contaminantes presentes, de tiempo de exposición y de las fluctuaciones temporales en las concentraciones de contaminantes, así como de la sensibilidad de los receptores y los sinergismos entre contaminantes. Hay que tener muy en cuenta la graduación del efecto a medida que aumentan la concentración y el tiempo de exposición.

VII.6.1 Efectos sobre los materiales

Cada vez se está prestando más atención, tanto por sus repercusiones económicas como por los daños irreparables que causa sobre los objetos y los monumentos de alto valor histórico-artístico, a los efectos que la contaminación atmosférica produce sobre los materiales.

La acción de los contaminantes atmosféricos sobre los materiales puede manifestarse por la sedimentación de partículas sobre la superficie de los mismos, afeando su aspecto

externo, o por ataque químico al reaccionar el contaminante con el material. Los SOx causan daños a muchos tipos de materiales, bien directa o indirectamente. Un alto contenido de SOx en el aire produce la aceleración de la corrosión de los metales tales como el acero al carbono, zinc, acero galvanizado, compuestos del cobre, níquel y aluminio. Esta aceleración se ve favorecida por la presencia de partículas depositadas por la humedad y por la temperatura.

En general, puede señalarse que la corrosividad de una atmósfera depende de condiciones meteorológicas y factores de contaminación. Se han observado correlaciones entre tasas de corrosión en metales y concentraciones de SO₂ en la atmósfera, dándose las tasas altas de corrosión más altas en zonas industrializadas. Las nieblas de ácido sulfúrico procedentes de la conversión catalítica del SO₂ a SO₃ en la atmósfera, atacan a los materiales de construcción como el mármol, la caliza y la argamasa, convirtiendo los carbonatos en sulfatos solubles en el agua de lluvia. Esto unido a que el volumen específico de los sulfatos es mayor que el de los carbonatos, hace que en la piedra aparezcan escamas y se debilite mecánicamente.

Los compuestos de azufre pueden producir daños en pinturas plásticas, papel, fibras textiles y sobre los contactos eléctricos de los sistemas electrónicos, dando lugar a deficiencias en su funcionamiento. La acción de los oxidantes fotoquímicos se produce sobre todo en los cauchos y elastómeros en los que causan un rápido envejecimiento y agrietamiento. Los óxidos de nitrógeno decoloran y estropean las fibras textiles y los nitratos producen la corrosión de las aleaciones de cupro-níquel.

VII.6.2 Efectos sobre las plantas

Las plantas muestran una especial sensibilidad a la mayor parte de los contaminantes del aire, y sufren daños significativos a concentraciones mucho más bajas que las necesarias para causar efectos perjudiciales sobre la salud humana y animal.

Es muy difícil establecer valores límites de la contaminación atmosférica a partir de los cuales los efectos negativos se empiezan a manifestar, ya que estos dependen de la constitución de la planta y de la especie de que se trate, es decir, hay una especificidad de respuestas.

Por otra parte, los efectos producidos por la contaminación atmosférica se pueden manifestar por la alteración de diversos mecanismos vitales de las plantas. Así, las funciones metabólicas y los tejidos vegetales se pueden ver afectados como consecuencia de la acción de gases como el anhídrido sulfuroso, el monóxido de carbono y los compuestos de flúor. Los daños causados se manifiestan en forma de necrosis foliar en áreas localizadas que presentan un color marrón-rojizo-blanco, de clorosis, adquiriendo el tejido una coloración verde pálida o amarilla, o por la aparición de manchas puntuales necróticas. Si la acción del contaminante es muy fuerte puede llegar a paralizar el crecimiento de la planta.

Entre los distintos contaminantes que se presentan generalmente en el aire ambiente, el SO₂ es el que tiene mayor importancia debido a la gran toxicidad que tiene para la vegetación. Los daños producidos por el SO₂ a las plantas obedecen a la exposición a altas concentraciones durante períodos cortos; o por la exposición a concentraciones relativamente bajas durante largos períodos.

Los daños agudos se producen como consecuencia de exposiciones cortas a concentraciones elevadas. Exposiciones medias diarias de 130 microgramos de SO₂ por metro cúbico de aire durante el período de crecimiento, pueden causar daños en las coníferas más sensibles. Estos daños se caracterizan por la aparición de necrosis apicales de color rojo o anaranjado.

La exposición a menores concentraciones durante tipos de exposición más largos ocasiona lesiones crónicas. Exposiciones medias anuales de anhídrido sulfuroso de 50 microgramos por metro cúbico de aire pueden causar daños a especies forestales sensibles. Éstas se manifiestan por un gradual amarillamiento de la hoja que se va extendiendo desde la zona apical a la base de la misma, causada por dificultades en el mecanismo sintetizador de la clorofila. En las plantas dañadas se encuentran grandes cantidades de sulfato en las hojas con síntomas crónicos.

Las brumas de ácido sulfúrico, causadas por la presencia en el aire de los óxidos de azufre, producen daños en las hojas, caracterizados por la aparición de manchas producidas por las gotas de ácido depositadas sobre las hojas humedecidas por el rocío o la niebla. Concentraciones relativamente bajas de SO₂ pueden causar daños importantes en la vegetación sensible, como consecuencia de la acción sinérgica de este contaminante con el ozono y los óxidos de nitrógeno, aunque éstos se presenten en bajas concentraciones en el aire.

El flúor y sus derivados son contaminantes del aire que se caracterizan por ser tóxicos en general para las plantas a muy pequeñas concentraciones. La sensibilidad de las plantas a la acción del flúor varía, como en el caso del SO₂, según las especies y las condiciones del medio, siendo especialmente sensibles a este contaminante las viñas y las plantaciones frutales, especialmente las de frutos con hueso (como el melocotón o durazno). En el medio forestal, las resinosas son las especies más sensibles al flúor, ya que al tener hojas perennes y tener el flúor un efecto acumulativo sobre los tejidos, se va almacenando hasta sobrepasar los umbrales de toxicidad, lo que da lugar a la aparición de necrosis que pueden llegar a producir la muerte de grandes masas forestales.

Un aspecto importante del efecto acumulativo del flúor es su transmisión a través de las cadenas alimentarias. El mecanismo es el siguiente: el flúor presente en el aire se acumula en los pastos y de éstos pasa a los animales, siendo los bovinos los más afectados. La acumulación del flúor en los tejidos puede causar la aparición de la fluorosis, enfermedad que se presenta sobre todo en el ganado vacuno. Observaciones realizadas muestran que la ingestión de pastos puede ser tolerada sin efectos negativos, cuando su concentración en flúor no supera los 40 ppm como media durante todo el año.

Se ha observado la aparición de lesiones visibles sobre las hojas después de una exposición durante un día a concentraciones de flúor en el aire de 3 a 10 microgramos por metro cúbico. Para concentraciones entre 0.5 y 3 microgramos/metro cúbico los efectos se manifiestan cuando transcurren períodos de exposición superiores a un mes.

Entre los óxidos de nitrógeno solo el NO₂ es tóxico para las plantas, a pequeñas concentraciones y largo tiempo de exposición. Los daños se manifiestan por la aparición de necrosis y clorosis de color negro o marrón rojizo en las hojas. Los sinergismos de NO₂ y SO₂ provocan a bajas concentraciones alteraciones en la vegetación. Este hecho se ha observado en las zonas urbanas.

La contaminación atmosférica fotoquímica (PAN) produce daños en la vegetación a concentraciones que ya se están alcanzando en algunas ciudades. El ozono y el PAN son

los principales causantes de estos daños. Las lesiones producidas por el ozono se manifiestan como manchas blancas o punteados claros sobre el haz de las hojas. Los daños producidos por los PAN se presentan como graves lesiones foliares caracterizadas por una tintura plateada o vidriosa en el envés de la hoja, así como por un ataque general en las hojas jóvenes.

La radiación gamma produce numerosos efectos biológicos sobre las plantas, incluyendo daños a los ácidos nucleicos, citocromos, mitocondria y membranas celulares. Una irradiación crónica en una amplia zona produce una disminución gradual de la diversidad de plantas. Poco a poco los bosques van muriendo, empezando por los árboles más sensibles como los pinos.

VII.6.3 Efectos sobre visibilidad

La presencia de contaminantes en la atmósfera produce la absorción y dispersión de la luz solar, acompañados de una notable reducción de la visibilidad. Los aerosoles de tamaños comprendidos entre 1.4 y 0.8 micras son los que tienen una mayor influencia en la dispersión de la luz solar, debido a la proximidad de su tamaño a la longitud de onda de la luz visible.

Se ha observado una estrecha relación entre la disminución de la visibilidad y la presencia de sulfatos en la atmósfera. Una experiencia realizada en Suecia, ha demostrado que los períodos de mínima visibilidad se corresponden con concentraciones máximas de sulfatos y nitratos presentes en la atmósfera.

Los gases presentes normalmente en la atmósfera no absorben la luz visible. El NO₂ en concentraciones altas puede tener un efecto significativo ya que absorbe la franja azul-verde del espectro visible de la radiación solar. Consecuencia de esta absorción es el que la atmósfera de las grandes ciudades adquiera una coloración amarilla-parduzca-rojiza cuando se presentan concentraciones de NO₂ elevadas.

VII.6.4 Efectos sobre la salud humana

Las relaciones existentes entre las enfermedades humanas y la exposición a la contaminación no son sencillas ni se conocen con exactitud. No obstante, existen pruebas abundantes de que en general, las concentraciones elevadas de contaminantes en el aire son peligrosas para los seres humanos (y animales).

Los efectos que producen sobre la salud se ponen claramente de manifiesto, como se ha observado en Londres, Nueva York y Osaka entre otras ciudades, por el aumento de la mortalidad, sobre todo en las personas de edad avanzada o en los individuos más sensibles por cualquier razón. Más difíciles de discernir son los efectos que, a largo plazo, pueden producir las exposiciones episódicas a elevadas concentraciones medias y bajas de contaminantes.

Se ha comprobado la relación existente entre la contaminación atmosférica, producida por partículas en suspensión y anhídrido sulfuroso, y la aparición de bronquitis crónica caracterizada por la producción de flemas, la exacerbación de catarros y dificultades respiratorias tanto en los hombres como en las mujeres adultas. Se ha observado igualmente, que cuando las concentraciones tanto de SO₂ como de partículas en suspensión superan los 500 microgramos/metro cúbico de aire, como promedio de 24

horas, se produce un aumento de la mortalidad en la población en general, siendo los grupos más sensibles los individuos con procesos cardíacos o pulmonares. Con promedios diarios de 250 microgramos/metro cúbico de SO₂ y de humos se ha registrado el empeoramiento en los enfermos con afecciones pulmonares.

Es de destacar que las concentraciones de partículas en suspensión y de SO₂ que pueden provocar la aparición de efectos sobre la salud, pueden variar de un lugar a otro según cuáles sean las características físicas y químicas de las partículas, y en función de la presencia en el aire de otros contaminantes que puedan producir efectos sinérgicos con aquéllos.

La presencia en el aire de elevadas concentraciones de monóxido de carbono (CO) representa una amenaza para la salud. El CO inhalado se combina con la hemoglobina de la sangre, dando lugar a la formación de carboxihemoglobina, lo que reduce la capacidad de la sangre para el transporte de oxígeno desde los pulmones hasta los tejidos.

Se ha comprobado que una saturación de carboxihemoglobina por encima del 10% puede provocar efectos sobre la función psicomotora que se manifiesta con síntomas de cansancio, cefaleas y alteraciones de la coordinación. Por encima del 5% de saturación se producen cambios funcionales cardíacos y pulmonares y se aumenta el umbral visual. No se han encontrado pruebas que indique efectos significativos con una concentración de carboxihemoglobina inferior al 2%.

Los óxidos de nitrógeno, NO_x, son contaminantes igualmente peligrosos para la salud. La mayor parte de los estudios relativos a los efectos de los NO_x se han ocupado, sobre todo, del NO₂ ya que es el más tóxico. Los efectos producidos por el NO₂ sobre los animales y los seres humanos afectan, casi por entero, al tracto respiratorio. Se ha observado que una concentración media de 190 microgramos de NO₂ por metro cúbico de aire, superada el 40% de los días, aumenta la frecuencia de infecciones de las vías respiratorias en la población expuesta.

Otros tipos de contaminantes que afectan a la salud humana son los oxidantes fotoquímicos. Se han realizado estudios epidemiológicos en la ciudad de Los Angeles y no se descubrió ningún aumento de mortalidad como consecuencia de episodios de contaminación fotoquímica, cuando las concentraciones de oxidantes variaban entre 0.5 y 0.9 partes por millón. No obstante, se ha observado que los oxidantes fotoquímicos tienen efectos nocivos sobre la salud, produciendo irritación de los ojos y mucosas. Los oxidantes fotoquímicos afectan especialmente a las personas con afecciones asmáticas y broncopulmonares, en los que se han observado crisis asmáticas y disminución de la función pulmonar cuando las concentraciones atmosféricas de oxidantes eran superiores a 500 microgramos por metro cúbico de aire.

Los metales tóxicos presentes en el aire representan una amenaza para la salud humana cuando se inhalan en cantidades suficientes, debido a la tendencia que presenta el organismo a su acumulación. Por su importancia, destacaremos los efectos producidos por el plomo sobre la salud humana.

Los compuestos inorgánicos del plomo atmosférico son absorbidos por los humanos, principalmente a través del sistema respiratorio, alcanzando el torrente sanguíneo aproximadamente el 35% del plomo inhalado por los pulmones. Una vez incorporado el plomo a la corriente sanguínea, una parte se almacena en los huesos y otra se expulsa por la orina, en una continua fase de renovación en el organismo. A partir de ciertas cantidades puede producir efectos adversos en el comportamiento, afectan la inteligencia

de los niños y ser causa de anomalías en los fetos de madres gestantes. Los adultos, por lo general, son menos sensibles que los niños a los efectos del plomo, pero una acumulación excesiva en el organismo puede producir serios e irreversibles daños en su sistema nervioso.

Otras sustancias tóxicas presentes en el aire tales como el cadmio, amianto, el cloruro de vinilo, el benzo-a-pireno, varios compuestos orgánicos halogenados y el benceno, pueden provocar modificaciones genéticas y malformaciones en los fetos, siendo algunos de ellos cancerígenos.

VII.6.5 Efectos Globales

Cada vez está más admitida la necesidad de realizar estudios sobre los posibles efectos que a largo plazo puede producir la contaminación atmosférica sobre los distintos ecosistemas, sobre el clima y sobre la estratosfera. Tanto las modificaciones de las características de los suelos, debidas al lavado de los elementos del mismo por las lluvias ácidas, como los cambios producidos en las grandes masas de agua por el aumento de la concentración de metales tóxicos, pueden tener consecuencias ecológicas irreversibles.

El aumento de las concentraciones de dióxido de carbono y de otros contaminantes en la atmósfera puede dar lugar a una elevación general de la temperatura del globo, por «efecto invernadero», que modificaría el régimen de lluvias, lo que produciría alteraciones sobre las tierras cultivables y la extensión de los desiertos.

Por otra parte, los sulfatos y las partículas finas que disminuyen la visibilidad pueden igualmente reducir la intensidad de la radiación solar. Los hidrocarburos halogenados y los óxidos de nitrógeno emitidos por los aviones supersónicos pueden provocar una disminución de ozono en la estratosfera con el consiguiente aumento de la radiación ultravioleta que llegaría a la Tierra.

- **Efectos sobre los ecosistemas (lluvias ácidas)**

Los primeros efectos producidos por las precipitaciones ácidas se detectaron en cientos de lagos de Escandinavia, alrededor de los años 60. En la actualidad, más de 18,000 lagos están acidificados; en Suecia alrededor de 6,000 de ellos muestran graves daños sobre la biología acuática, y unos 2,000 de los situados en la zona meridional y central han perdido sus poblaciones piscícolas.

La acidificación de las aguas interiores tiene efectos muy graves sobre los ecosistemas acuáticos. Se ha demostrado que todos los tipos de organismos integrantes de los ecosistemas de agua dulce son sensibles a la acidificación, produciéndose cambios en todos los niveles tróficos. La acidificación de los lagos y de las masas de agua se está extendiendo progresivamente cada vez a mayor número de países, afectando día a día a más extensas áreas.

Las zonas más propensas a la acidificación del agua tienen suelos ácidos de poca profundidad, superpuestos a rocas graníticas o son suelos arenosos muy erosionados. El aumento de la acidez del agua de los lagos y ríos provoca un fuerte aumento del contenido de iones aluminio disueltos en el agua. El ión aluminio es muy tóxico para la mayor parte de los organismos y se cree que la causa última de la muerte de las poblaciones de peces en los lagos acidificados se debe al envenenamiento por aluminio.

Otros metales tales como el cadmio, zinc y plomo tienen igualmente una mayor facilidad para disolverse, por lo que son más accesibles para los animales y plantas acuáticas.

Los suelos presentan, por lo general, una mayor resistencia a la acidificación que el agua. No obstante, el grado de sensibilidad puede variar muy ampliamente de unas zonas a otras dependiendo, principalmente, del espesor de la capa de humus, de la consistencia del sustrato, así como del tipo de rocas y suelo. Uno de los efectos más importantes de la acidificación de los suelos es, probablemente, el incremento de la movilidad con las consiguientes pérdidas por lixiviación de ciertos cationes metálicos de carácter básico tales como el calcio, magnesio, potasio y aluminio.

En Europa Central, las altas deposiciones de compuestos de azufre y nitrógeno han producido graves daños sobre amplias áreas de suelo y bosques. El daño a los bosques probablemente ha sido causado por la acción combinada de ácidos y metales en el suelo y por las altas concentraciones de SO₂ presentes en el aire de estas zonas. La combinación de un bajo pH en el agua del suelo unido a la presencia de metales, principalmente aluminio, produce daños en las raíces de los árboles, a través de las cuales absorben gran cantidad de nutrientes. Este hecho produce una pérdida de vitalidad haciéndolos especialmente sensibles a las plagas.

- Efectos sobre el clima (efecto invernadero)

Durante los últimos años se ha venido poniendo de manifiesto una preocupación creciente por los posibles efectos que sobre el clima pudiera causar el aumento progresivo de contaminantes en la atmósfera como consecuencia de las actividades humanas.

Observaciones realizadas en Suecia, Australia, Alaska y Hawai muestran que la concentración de CO₂, que oscilaba entre 265 y 290 ppm antes de los años cincuenta, llegó a ser de 330 ppm en 1976, aumentando a un ritmo de alrededor de 1 ppm en el curso de los últimos años.

Se cree que el incremento de CO₂ en la atmósfera es debido a las alteraciones que las actividades humanas producen en el ciclo biogeoquímico del carbono ya que, por una parte, en la combustión de combustible fósiles y en los incendios forestales se producen grandes cantidades de CO₂, y por otra parte, estos mismos incendios y la tala progresiva de bosques, que produce una disminución de las masas forestales mundiales, la degradación del suelo y la creciente desertificación, producen una disminución de la tasa de la absorción total del CO₂ presente en la atmósfera por la vegetación.

El incremento de la concentración del CO₂ en la atmósfera puede alterar la temperatura de la Tierra debido a que el CO₂ es transparente a la radiación solar recibida del sol, dejándola pasar libremente, pero absorbe la radiación infrarroja emitida desde la tierra. El efecto total es que cuanto mayor sea la concentración de CO₂ en la atmósfera, mayor es la cantidad de energía recibida por la Tierra desde el Sol que queda atrapada en la atmósfera en forma de calor. Este fenómeno que se conoce con el nombre de «efecto invernadero» produciría un recalentamiento de la atmósfera.

Se ha estima que, de duplicarse la concentración actual de CO₂ en la atmósfera, podría aumentar en dos o tres grados centígrados la temperatura de la misma. En las zonas lluviosas se incrementarán las precipitaciones y las zonas áridas serán aún más áridas, mientras que los hielos polares comenzarán a derretirse.

Los sulfatos y las partículas finas presentes en la atmósfera pueden tener igualmente efectos sobre el clima. Las partículas finas tienen una doble acción sobre la radiación solar: por una parte, difunden la luz incidente y, por otra, absorben una parte de esta radiación, lo que produce un calentamiento de las partículas y la emisión de radiación infrarroja. Los efectos atmosféricos que producen dependerán de la altitud a que las partículas se encuentre.

Las de baja altura disminuyen el flujo solar sobre el suelo, pero contribuyen a aumentar el efecto invernadero. A más alta temperatura, el efecto de barrera solar es preponderante, produciendo un enfriamiento de la baja atmósfera y un calentamiento en la estratosfera. Las partículas pueden causar también efectos sobre el clima de forma indirecta al actuar como núcleos de condensación del vapor de agua y jugar éste un importante papel en los cambios de calor atmosférico.

Otro tipo de contaminantes vertidos a la atmósfera que pueden afectar el clima son los clorofluorocarbonos, debido a su acción sobre la capa de ozono y a que, como ya se ha indicado anteriormente, el ozono es el principal absorbente de la radiación solar ultravioleta en la estratosfera, regulando la temperatura de la misma.

BIBLIOGRAFÍA

1. Carabias Julia; Landa Rosalva. Agua, Medio Ambiente y Sociedad. Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México. Primera edición. México, 2005.
2. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología, Cuba. Serie Salud Ambiental.No. 3. Agua y Salud. Cuba, 1992.
3. Capítulo 5.1: Enfermedades transmitidas por el agua. Actualizado en 2006. Disponible en: http://www.infoforhealth.org/pr/prs/smlt/sm14chap5_4.shtml
4. CEPIS/OPS/OMS. Saénz Forero, Rodolfo. Introducción; y uso de aguas residuales tratadas en agricultura y acuicultura. Riego y Salud. Modernización y Avances en el Uso de Aguas Negras para la Irrigación. Intercambio de Aguas Uso Urbano y Riego. Actualizado 16/05/02. Disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/repind53/rys/rys.html>
5. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Publicada en el DOF 08-10-2003.
6. Bárcenas Ramírez, Heriberto. Manual para la operación de Rellenos Sanitarios. Congreso AMCRESPAC. Querétaro, 2002.
7. Acurio, Guido; Rossin, Antonio; Teixeira, Paulo F; Zepeda, Francisco. Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. Serie Ambiental No. 18. OPS/OMS. Washington, D.C., 1998.
8. del Puerto Quintana, Conrado. Vectores. Riesgos y Control Sanitario. Riesgos Biológicos Ambientales. Serie Salud y Ambiente No.1. INHEM, Cuba/Universidad Técnica de Manabí, Ecuador, 1996.
9. Pratt, H. Epidemiology and control of vector-borne diseases. Dept. Of Health, Education and Welfare. U.S.A., 1963.
10. ILPES/Dirección de Proyectos y Programación de Inversiones. Guía para la Preparación, Evaluación y Gestión de Proyectos de Residuos Sólidos Domiciliarios. Chile, 1998.
11. Manejo y Operación de un Vertedero (Relleno Sanitario) Controlado. Segundo Curso Internacional por INTERNET. Facultad de Ingeniería U.N.A.M./División de Educación Continua. México, 2000.
12. Torres, Marina. Introducción a los Riesgos Biológicos. Riesgos Biológicos Ambientales. Serie Salud y Ambiente No.1. INHEM, Cuba/Universidad Técnica de Manabí, Ecuador, 1996.
13. Peña, Carlos E.; Dean E. Carter; Felix Ayala-Fierro. Toxicología Ambiental. Evaluación de Riesgos y Contaminación Ambiental. Superfund Basic Research Program. 2002.
14. AIDIS/Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. Contaminación del Aire y Salud. Serie Salud Ambiental No. 2. Cuba, 1992.
15. Disponible en: www.jmarcano.com/recursos/contamin/catmosf6.html.