

actualidad se usan muchas versiones del proceso original, pero todas ellas son fundamentalmente iguales.

En el proceso de fangos activados un residuo se estabiliza biológicamente en un reactor bajo condiciones aeróbicas. El ambiente aeróbico se logra mediante el uso de aireación por medio de difusores o sistemas mecánicos. Al contenido del reactor se le llama líquido mezcla. Una vez que el agua residual ha sido tratada en el reactor, la masa biológica resultante se separa del líquido en un tanque de sedimentación y parte de los sólidos sedimentados son retornados al reactor; la masa sobrante es eliminada o purgada puesto que si no fuera así la masa de microorganismos continuaría aumentando hasta que el sistema no pudiera dar cabida a más.

Importancia de los Microorganismos y bacterias

Para proyectar correctamente el sistema de lodos activados es ver la importancia de los microorganismos dentro del sistema. En la naturaleza, el papel clave de las bacterias es el de descomponer la materia orgánica producida por otros organismos vivos. En el proceso de lodos activados, las bacterias son los microorganismos más importantes, ya que estos son la causa de descomposición de la materia orgánica del efluente. En el reactor parte de la materia orgánica del agua residual es utilizada por las bacterias aeróbicas con el fin de obtener energía para la síntesis del resto de la materia orgánica en nuevas células.

Otro tipo de microorganismos igualmente importantes son los protozoos que actúan como depurificadores de los efluentes. Los protozoos consumen las bacterias dispersas que no han floculado. En realidad solo parte del residuo original es verdaderamente oxidado a compuestos de bajo contenido energético tales como el NO_3^{-2} , SO_4^{-2} y CO_2 ; el resto es sintetizado en materia celular.

La dependencia de la temperatura en la constante de la velocidad de la reacción biológica es muy importante a la hora de evaluar la eficacia total del tratamiento biológico. La temperatura no solo influye en las actividades metabólicas sino que tiene un profundo efecto en factores tales como las tasas de transferencias de gases y características de sedimentación de sólidos biológicos.(12,53)

Tratamiento Anaeróbico de las Aguas Residuales

El tratamiento anaeróbico de las aguas residuales supone la descomposición de la materia orgánica y/o inorgánica en ausencia de oxígeno molecular. La mayor aplicación se halla en la digestión de los fangos de aguas residuales una vez concentrada, así como parte de residuos industriales.

El modo más usual de operar de una instalación de tratamiento anaeróbico de fango concentrado es la utilización de un reactor de mezcla completa y mínima recirculación celular cuyo objeto es el calentamiento contenido en el tanque. El tiempo de detención del líquido del reactor oscila entre los 10 y 30 días, incluso más, según opere el sistema.

Los microorganismos causantes de la descomposición de la materia se dividen en dos grupos:

- Bacterias formadoras de ácidos, estas hidrolizan y fermentan compuestos orgánicos complejos a ácidos simples, de los cuales los más corrientes son el ácido acético y el ácido propiónico. Las bacterias más importantes de este grupo (las que

devoran los ácidos Acético y propiónico) tienen tasas lentas de crecimiento muy lento, y por ello su metabolismo se considera una limitante de proceso.

- Bacterias formadoras de metano, estas convierten los ácidos formados por las bacterias del primer grupo en gas Metano y CO₂.

La gran mayoría de estos microorganismos patógenos se pueden eliminar mediante la aplicación de técnicas de tratamiento del agua, como son las floculación-coagulación, sedimentación y filtración. Para garantizar la seguridad del agua potable los sistemas de desinfección del agua se aplican generalmente en una etapa final del tratamiento del agua. (61)

Existen diferentes desinfectantes, que pueden matar o desactivar los microorganismos patógenos. Por ejemplo la aplicación de cloro o sustancias que contienen cloro, peróxido, bromo, plata, cobre, ozono y UV. Todos estos sistemas de tratamiento tienen ventajas y desventajas y se aplican para la desinfección del agua dependiendo de las circunstancias particulares.

Las torres de enfriamiento se utilizan para el enfriamiento o refrigeración de las aguas de proceso industrial. Después las aguas se pueden reutilizar. En las torres de enfriamiento se dan circunstancias adecuadas para el crecimiento de microorganismos patógenos. El desarrollo de biofilm es un problema frecuente en las torres de enfriamiento, porque produce problemas de corrosión y bloqueo del sistema. Otro problema frecuente en las torres de enfriamiento, problema común también en los sistemas de ventilación, es el desarrollo de legionela. Esta bacteria se desarrolla a través de los aerosoles y puede producir legionela. La legionela es una enfermedad muy grave con síntomas parecidos a la neumonía. Muchos países tienen ahora estándares legales, para asegurar y prevenir el crecimiento de legionela en las torres de enfriamiento utilizando métodos de desinfección. (12)

Clorificación: De todos los desinfectantes químicos, este es el más utilizado debido a que es altamente tóxico para una gran cantidad de microorganismos, es altamente soluble en agua, tiene una aptitud desodorizante y es un buen detergente además de la economía de este como su disponibilidad de grandes cantidades de este elemento. Los principales usos del cloro y sus compuestos esta resumida en la siguiente tabla. (53)

Aplicación	Intervalo de Dosis (mg/l)	Observaciones
Recogida de Residuos • Control de Crecimiento Películas Biológicas • Control de Olores	1-10 2-9	Control de hongos y bacterias de dichas películas. En estaciones de bombeo y alcantarillas.
Tratamiento • Eliminación de grasas • Reducción de DBO	1-10 0.5-2	Añadido antes de la preaireación. Oxidación de la materia orgánica.
Evacuación • Reducción bacteriana • Desinfección	2-20 Ver la siguiente tabla	De caudales aliviados y aguas pluviales. Dependiendo del tipo de agua residual.

Fuente: Miranda, Jaime. Tratamiento Analítico de las Aguas Servidas. Universidad de Chile.

Intervalo de Dosis (mg/l)

Efluente de	Intervalo de Dosis (mg/l)
Aguas residuales sin tratar	6-25
Sedimentación primaria	5-20
Planta de Fangos Activados	2-8
Filtros	1-5

Fuente: Miranda, Jaime. Tratamiento Analítico de las Aguas Servidas. Universidad de Chile.

Tratamiento Avanzado de Aguas Residuales

Muchas de las sustancias halladas en el agua residual se ven poco o nada afectadas por los procesos u operaciones y tratamientos convencionales. Estas sustancias van desde iones inorgánicos relativamente simples como el calcio, potasio, nitrato, sulfato y fosfato hasta un número creciente de compuestos complejos orgánicos sintéticos. (61)

Aun el efecto de estas sustancias sobre el medio ambiente no se conoce bien, las exigencias de los tratamientos serán más rigurosas en lo que refiere a la concentración tolerable de muchas de estas sustancias en el efluente de las plantas.

En la siguiente tabla se verán algunos componentes químicos típicos que pueden hallarse en las aguas residuales y sus efectos.

Componente	Efecto	Concentración crítica (mg/l)
Amoniaco	Aumenta la demanda de cloro. Toxico para los peces. Puede convertirse en Nitratos.	Cualquier Cantidad. 2.5 Cualquier Cantidad.
Cloruro	Imparte un sabor salado. Interfiere en procesos Industriales	250 75-200
Mercurio	Toxico para los seres humanos. Toxico para la vida acuática.	0.005 0.005
Sulfato	Acción Catártica.	1-3
Fosfato	Estimula el crecimiento acuático de las algas. Interfiere en la coagulación.	0.015 0.2-0.4
Nitrato	Estimula el crecimiento acuático de las plantas. Puede causar Metahemoglobina (niño azul).	0.3 10
Calcio y Magnesio	Aumenta la dureza	Mayor de 100

Fuente: Miranda, Jaime. Tratamiento Analítico de las Aguas Servidas. Universidad de Chile

El tratamiento terciario o Avanzado es de gran interés hoy en día por la necesidad de obtener mejor calidad en las aguas, por estos motivos se presentaran algunos procesos utilizados con éxito en la actualidad o que parecen más prometedores o innovadores.

Destilación

La destilación es una operación es una operación unitaria en la que los componentes de la solución liquida son separados mediante vaporización y condensación del liquido.

Fraccionamiento de Espumas

El fraccionamiento de espumas significa la separación de la materia coloidal y suspendida por flotación y de la materia orgánica disuelta por adsorción. Cuando se burbujea aire en la agua residual se produce espuma o bien esta es inducida por productos químicos. Casi todos los compuestos orgánicos tienen actividad de superficie estos tienden a concentrarse en la interfaces gas-liquido y se eliminan junto con la espuma.

Congelación

La congelación es una operación de separación similar a la destilación. El agua es rociada en una cámara que funciona al vacío. Parte del agua residual se evapora y el efecto refrigerante produce cristales de hielo sin contaminantes en el líquido que queda. Seguidamente se extrae el hielo y se funde por calor de la condensación de los vapores de la fase de evaporización. En este procedimiento se ha utilizado Butano y otros refrigerantes.

Intercambio Iónico

El intercambio iónico es un proceso en que los iones que se mantiene unidos a grupos funcionales en la superficie del sólido por fuerzas electrostáticas se intercambian por especies diferentes en disolución. Ya que la desmineralización se puede llevar a cabo mediante intercambio iónico, es posible utilizar procesos de tratamientos de corriente continua, en los que el parte del agua residual del efluente se desmineraliza y se combina después con parte del efluente que ha sido desviado del tratamiento para producir un efluente de calidad específica.

Tratamiento Electroquímico

En este proceso se mezcla el agua residual con agua de mar y se hace pasar célula simple que contiene electrodos de carbón. En razón de las densidades relativas del agua de mar y de la mezcla del agua de mar y residual, la primera se acumula en la superficie del ánodo en la parte inferior de la célula la última lo hace en la superficie del cátodo cerca de la parte superior de la célula. La corriente eleva el pH en el cátodo, precipitando con ello Fósforo y Amoníaco. Las burbujas de hidrógeno generadas en el cátodo elevan el fango a la superficie, donde es arrastrado y eliminado por métodos convencionales. El color desarrollado en el ánodo de la celda desinfecta el efluente y la mezcla sobrante de agua residual de mar es seguidamente vertida al mar. (12,53,61)

AGUAS RESIDUALES EN GUATEMALA

Más del 80 % de las aguas de nuestros ríos actualmente se encuentran contaminados y sus especies en vías de extinción. En Guatemala, “La población está temerosa de que en pocos años los cuerpos hídricos se sequen por completo y no tengan como abastecerse. (91)

De acuerdo con los estudios del INSIVUMEH, el manto subterráneo ya empezó a agotarse en el área de Chinautla y Mixco. La situación se agrava debido a la falta de áreas de recarga hídrica que permitan la filtración de agua de lluvia y a la cada vez más grande capa impermeable de asfalto de la ciudad, añadió Sánchez. El experto señaló que cada vez se debe excavar más profundo para encontrar el vital líquido, que a mayor profundidad pierde calidad debido a los minerales del suelo.

Un estudio efectuado por las Naciones Unidas en 1977 ya había advertido que el manto subterráneo iba a descender a un velocidad de un metro por año y así haber la necesidad de preparar áreas para recarga hídrica.

Actualmente, diferentes entidades responsables del servicio y calidad de este vital recurso emprenden acciones relativas a la vigilancia y control de la calidad del agua (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social), a la prestación del servicio (municipalidades y organizaciones prestadoras), a la inversión e infraestructura (Instituto Nacional de Fomento Municipal INFOM y fondos sociales), y a la conservación y protección de las fuentes (Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales). Sin embargo, a la fecha no existe en nuestro país una política pública del agua como recurso hídrico, como tampoco existe una política pública que norme el abastecimiento del agua potable y el manejo de aguas residuales a nivel nacional. Es necesario así mismo, una adecuada coordinación de los planes y las acciones de estas instituciones para encontrar soluciones eficaces, perdurables y con una visión estratégica a nivel de país, que permitan satisfacer las necesidades urgentes del abastecimiento de agua potable a toda la población en forma sostenible. (12,87)

El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, MSPAS, a través de las Áreas de Salud y el Departamento de Regulación de los Programas de la salud y Ambiente, DRPSA, ha venido realizando diversos esfuerzos para implementar un programa de vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en respuesta a lo estipulado en el Artículo 86 del Decreto 90-97.

Mediante Acuerdo Ministerial SP-M-278-2004, de fecha 8 de enero de 2004, se crea el “Programa Nacional de Vigilancia de la calidad del Agua para Consumo Humano”, PROVIAGUA, publicado en diario de Centro América en fecha 6 de febrero de 2004.(54)

Antecedentes

- Desde antes de 1993, se han venido realizando esfuerzos para la implementación de un sistema de vigilancia para la calidad del Agua, para consumo humano.
- En 1993 al 1997 los esfuerzos se incrementan para la instauración de un programa institucional, apoyados por organismos internacionales como la OPS/OMS.
- A finales del año 1997, la división de Saneamiento del Medio del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, el Instituto de Fomento Municipal a través de Unidad Ejecutora de Proyectos de Alcantarillado Rural, la secretaría de Recursos Hidráulicos y la empresa municipal del Agua, establecen una coordinación interinstitucional para desarrollar el Sistema Nacional de Información de Agua y Saneamiento, SAS, elaborando una propuesta de instrumentos de recopilación de datos sobre agua y saneamiento la cual consiste en 9 boletas, de las cuales 3 son para la vigilancia de la calidad del agua.
- En 1999, el MSPAS e INFOM, inician el levantamiento a nivel nacional de las 9 boletas de SAS, a través del personal técnico de las Áreas de Salud. Al final del 2002 el esfuerzo se diluye debido a problemas en organización, metodologías y procedimientos en el levantamiento de información, creándose una base de datos parcial de todo el país la cual todavía existe.
- De 1,999 a 2,003 el concepto de implementar un Sistema de vigilancia de calidad de Agua para consumo humano se concreta en un documento técnico el cual fue apoyado por la OPS/OMS.
- En 1993 a la fecha, el Departamento de Regulación de los Programas de Salud y Ambiente del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, analiza el documento técnico e instaura una estrategia de implementación, la cual al final del año y con ayuda de las otras unidades del Departamento dan origen a la propuesta de Creación del

PROVIAGUA, la cual es aprobada por el Acuerdo Ministerial SP-M-278-2004 el 8 de enero del 2004.

El PROVIAGUA, tiene por objeto la vigilancia sanitaria de los sistemas públicos y privados de abastecimiento de agua y otras fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano que son utilizadas por la población, para garantizar su calidad e inocuidad y reducir los riesgos de transmisión de enfermedades relacionadas con el agua, que puedan y afecten a la salud humana. (49,53,61)

División Hidrológica de Guatemala

Desde el punto de vista hidrológico, el territorio de la República de Guatemala, se puede dividir en tres grandes vertientes, de acuerdo al punto donde desembocan finalmente todos los ríos que atraviesan y/o nacen en el territorio nacional.

En forma general, los ríos en una misma vertiente son similares, pero cada vertiente tiene condiciones propias que afectan las características de los ríos que están incluidos en ella. Estas vertientes se enumeran a continuación:

Vertiente del Pacífico

Vertiente del Atlántico o Vertiente del Mar de las Antillas

Vertiente del Golfo de México(11,12)

Vertiente del Pacífico

Los ríos que corresponden a la vertiente del Pacífico, tienen longitudes cortas (110 kms. promedio) y se originan a una altura media de 3000 MSNM. Las pendientes son fuertes en las partes altas de las cuencas, entre el 10% y el 20% cambiando bruscamente a pendientes mínimas en la planicie costera, creando grandes zonas susceptibles a inundación en esta área. Estas condiciones fisiográficas producen crecidas instantáneas de gran magnitud y corta duración así como tiempos de propagación muy cortos.

Por otro lado, todos los ríos de la vertiente del Pacífico acarrear grandes volúmenes de material, especialmente escorias y cenizas volcánicas, debido a que la cadena volcánica se encuentra entre los límites de la vertiente. Debido a este arrastre de material los ríos tienen cursos inestables causando daños e inundaciones en la planicie costera. La precipitación en la vertiente del Pacífico tiene períodos de gran intensidad, típica de las zonas costeras con una precipitación media anual de 2200 mm.

Vertiente del Atlántico En el caso de la Vertiente del Atlántico, la longitud de los ríos es mucho mayor e incluye el río más largo del País, el Río Motagua con 486.55 kms. Las pendientes son más suaves y su desarrollo es menos brusco, ya que en la parte montañosa los ríos hacen su recorrido en grandes barrancas o cañones.

Las crecidas son de mayor duración y los tiempos de propagación son también mayores. Los caudales son más constantes durante todo el año. Parte del área dentro de esta vertiente tiene muy baja pluviosidad, 500 mm/anuales, mientras que en la zona de Puerto Barrios y Morales, la pluviosidad alcanza hasta 3500 mm/anuales.

Vertiente del Golfo de México Al igual que los ríos que desembocan en el Atlántico, los ríos que desembocan en el Golfo de México, poseen grandes longitudes. Aquí se encuentran los ríos más caudalosos del País, como lo son el Río Usumacinta, el Río Chixoy y el Río La Pasión. Las crecidas son de larga duración, los cauces son relativamente estables y

los recorridos más sinuosos. Las pendientes son relativamente suaves. La precipitación media es de 2500 mm/anuales. (12)

Vertiente del Pacífico		Vertiente de Las Antillas	Vertiente del Golfo de México
Coatán	Coyolate	Grande de Zacapa	Cuilco
Suchiate	Acomé	Motagua	Selegua
Naranjo	Achiguate	Izabal – Río Dulce	Nentón
Ocosito	María Linda	Polochic	Pojom
Samalá	Paso Hondo	Cahabón	Ixcán
Sis-Icán	Los Esclavos	Sarstún	Xaclbal
Nahualate	Paz	Mopán - Belice	Salinas
Atitlán	Ostúa-Guija	Hondo	Pasión
Madre Vieja	Olota	Moho	Usumacinta
		Temans	San Pedro

Fuente: Perfil Ambiental de Guatemala 2004

Red Hidrológica

La Red de Estaciones Hidrométricas funciona en toda la República, siendo su principal objetivo, la obtención de los caudales de los principales ríos. Se muestra un listado completo de las estaciones, así como su localización (para mayor información acerca de las estaciones, se puede acudir a las oficinas del Departamento de Investigación y Servicios Hídricos del INSIVUMEH).

SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN GUATEMALA

La centralización de comunidades origina la necesidad de brindar servicios colectivos de abastecimiento de agua y saneamiento; por lo cual cada día aumenta la cantidad de aguas residuales que están siendo colectadas y conducidas por los alcantarillados sin ningún tipo de tratamiento a los cuerpos receptores de agua, con lo cual se ha deteriorado la calidad de agua de los ríos, lagos, etc.

Esta situación se ha venido repitiendo con los sistemas urbanos municipales, comercios e industrias, lo que ha aumentado la contaminación de los recursos hídricos y originando problemas cada día más latentes con respecto al abastecimiento de agua principalmente cuando se utilizan cuerpos superficiales. De acuerdo al análisis sectorial de abastecimiento de agua y saneamiento en Guatemala efectuado en 1,994, la situación de agua y saneamiento se encuentra de la siguiente forma:

- 60% de la población total de Guatemala cuenta con cobertura en saneamiento básico
- de esto, 72% en la población urbana y 52% en la población rural (preferiblemente por medio de letrinas)

En Guatemala existen mas de 13,000 comunidades de las cuales menos del 1% cuentan con tratamiento de las aguas residuales, por lo que actualmente se están descargando mas de 1,000,000 m³/día de aguas residuales ningún tipo de tratamiento a los cuerpos hídricos del país.(11,72)

Será la operación y Mantenimiento importante en los sistemas de agua y saneamiento, considerando que existe la preocupación tanto en la literatura que se utiliza nacional e internacionalmente en dar la terminología y los conceptos de diseño para los diferentes procesos que se utilizan y no en lo que respecta a la operación y mantenimiento de los sistemas.

Se considera la operación y mantenimiento como solo un concepto y en realidad son dos completamente diferentes pero ligados ya que uno depende del otro, por ejemplo podemos observar Plantas de Tratamiento de agua con una excelente operación y un mal mantenimiento lo que resulta en corto plazo en una deficiente eficiencia de remoción, o podemos observar a la inversa una Planta de Tratamiento con un excelente mantenimiento y una deficiente operación lo que resulta también en una eficiencia de remoción muy baja. No importa el orden de los factores, el producto es el mismo y no decir cuando la operación y el mantenimiento son deficientes ó inexistentes, que en Guatemala es el denominador común.(12) Entonces que es Operación diarias ó en un tiempo determinado destinadas a mantener en adecuado funcionamiento el sistema de tratamiento y se pueden clasificar en:

- Operación para puesta en marcha ó período de arranque.
- Operación normal.
- Operación especial o eventual.
- Operación de emergencia.

Mantenimiento son todas las actividades desarrolladas con el fin de conservar las instalaciones y equipos en condiciones de funcionamiento seguro, eficiente y económico; y se clasifica en:

- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento correctivo.

Lo que pasa realmente y preocupa de sobremanera es el "divorcio" entre las diferentes fases en la planificación de un proyecto de agua y saneamiento, el diseño se elabora considerando todos los parámetros teóricos apropiados y utilizando varios decimales, la construcción se realiza muchas veces por empresas que no tienen la experiencia para este tipo de proyectos, la supervisión es realizada sin conocer los criterios que motivaron el diseño de las diferentes unidades dentro del proceso de tratamiento lo que puede motivar solamente a supervisar los criterios constructivos y no los hidráulicos-sanitarios y especialmente en la parte de operación y mantenimiento se puede tener buena voluntad de hacer las cosas pero si se desconoce de que es lo que se debe realizar, que resultado vamos a obtener. Como podemos analizar no existe una ligación entre las fases de la planificación de un proyecto de agua y saneamiento por lo que podemos predecir cual será el producto de este tipo de proyectos.(12,35,59)

Preocupémonos por la sostenibilidad de los proyectos y para esto debemos considerar que la operación y mantenimiento es básica para la misma, cuando estemos listos criterios que se van aplicar para la operación y mantenimiento, para facilitar los mismos y liguemos todas las fases de la planificación del proyecto (Ciclo del proyecto).

Siempre que planifiquemos un proyecto de agua y saneamiento demos elementos de sostenibilidad al mismo y esto lo podemos lograr elaborando un manual de Operación y Mantenimiento en una forma apropiada, donde expliquemos en forma sencilla cuales fueron los criterios que nos llevaron a la selección de los tipos de tratamiento, las actividades que se deben realizar, la frecuencia de las mismas, el equipo necesario para realizar las actividades, el número de operadores, las medidas de salud preventiva y principalmente la protección de los operadores por medio de su adecuado equipamiento. Recordemos que cuando compramos un pequeño reloj de pulsera nos proporcionan un pequeño manual del uso del mismo, no consideran que cuando se planifica un proyecto de agua y saneamiento también es importante conocer cual es el producto esperado y como lograrlo. Consideremos importante la operación y Mantenimiento, dentro del ciclo del proyecto para la sostenibilidad de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.(12,84)

4.9 DESECHOS SÓLIDOS Y CLASIFICACIÓN

Residuo: Material que no representa una utilidad o un valor económico para el dueño, el dueño se convierte por ende en generador de residuos. Desde el punto de vista legislativo lo mas complicado respecto a la gestión de residuos, es que se trata intrínsecamente de un término subjetivo, que depende del punto de vista de los actores involucrados (esencialmente generador y fiscalizador). El residuo se puede clasificar de varias formas, tanto por estado, origen o característica. (62,63,89)

Clasificación por estado

Un residuo es definido por estado según el estado físico en que se encuentre. Existe por lo tanto tres tipos de residuos desde este punto de vista sólidos, líquidos y gaseosos, es importante notar que el alcance real de esta clasificación puede fijarse en términos puramente descriptivos o, como es realizado en la practica, según la forma de manejo asociado: por ejemplo un tambo con aceite usado y que es considerado residuo, es intrínsecamente un liquido, pero su manejo va a ser como un sólido pues es transportado en camiones y no por un sistema de conducción hidráulica.

En general un residuo también puede ser caracterizado por sus características de composición y generación. Clasificación por origen: Se puede definir el residuo por la actividad que lo origine, esencialmente es una clasificación sectorial. Esta definición no tiene en la práctica límites en cuanto al nivel de detalle en que se puede llegar en ella. (89)

Tipos de residuos más importantes:

- **Residuos municipales:** La generación de residuos municipales varía en función de factores culturales asociados a los niveles de ingreso, hábitos de consumo, desarrollo tecnológico y estándares de calidad de vida de la población. (50,91)
- **Residuos industriales:** La cantidad de residuos que genera una industria es función de la tecnología del proceso productivo, calidad de las materias primas o productos intermedios, propiedades físicas y químicas de las materias auxiliares empleadas, combustibles utilizados y los envases y embalajes del proceso.
- **Residuos mineros:** Los residuos mineros incluyen los materiales que son removidos para ganar acceso a los minerales y todos los residuos provenientes de los procesos mineros. En el mundo las estadísticas de producción son bastante limitados.
- **Residuos hospitalarios:** Actualmente el manejo de los residuos hospitalarios no es el más apropiado, al no existir un reglamento claro al respecto. El manejo de estos residuos es realizado a nivel de generador y no bajo un sistema descentralizado. A nivel de hospital los residuos son generalmente esterilizados. (63,89)

La composición de los residuos hospitalarios varia desde el residuo tipo residencial y comercial a residuos de tipo medico conteniendo sustancias peligrosas.

Según el Integrated Waste Management Board de California USA se entiende por residuo medico como aquel que esta compuesto por residuos que es generado como resultado de: a) Tratamiento, diagnostico o inmunización de humanos o animales, b) Investigación conducente a la producción o prueba de preparaciones medicas hechas de organismos vivos y sus productos. (89)

Clasificación por tipo de manejo Se puede clasificar un residuo por presentar algunas características asociadas a manejo que debe ser realizado:

Desde este punto de vista se pueden definir tres grandes grupos:

Residuo peligroso: Son residuos que por su naturaleza son inherentemente peligrosos de manejar y/o disponer y pueden causar muerte, enfermedad; o que son peligrosos para la salud o el medio ambiente cuando son manejados en forma inapropiada. (63,89)

Residuo inerte: Residuo estable en el tiempo, el cual no producirá efectos ambientales apreciables al interactuar en el medio ambiente.

Residuo no peligroso: Ninguno de los anteriores

Clasificación de los Desechos Sólidos

Desechos Sólidos Orgánicos: Se le denomina a los desechos biodegradables que son putrescibles; Restos alimenticios, desechos de jardinería, residuos agrícolas, animales muertos, huesos, otros biodegradables excepto la excreta humana y animal.

Desechos Sólidos Inorgánicos: Considerados genéticamente inertes, el cambio que podrían sufrir biológicamente podría llevar mucho tiempo, quizás algunos cientos de años. (50,62,63,89)

Sistema de residuos sólidos urbanos

La cantidad de residuos sólidos domésticos generados en América Latina y el Caribe, tiene un rango de variación de 0.3 a 0-6 k/h/d. Para tener una idea de los residuos del comercio, industria, desechos de parques y jardines públicos y barrido de calles, etc., aproximadamente hay que agregar un 50 % de la cifra anterior. Por lo tanto, la generación bruta de residuos sólidos urbano será de 0.5 a 1 Kg por habitante, siéndole promedio 0.7 k/h/d. El Cuadro siguiente contiene valores de algunos países y ciudades capitales latinoamericanas. (63)

Generación de residuos sólidos por habitante

Ciudades	Kg/h/d
Canadá	1900 k/h/d
EUA	1500 k/h/d
Holanda	1300 k/h/d
Suiza	1200 k/h/d
Japón	1000 k/h/d
Europa (otros)	0900 k/h/d
India	0400 k/h/d
México D:F:	0900 k/h/d
Río de Janeiro	0900 k/h/d
Buenos Aires	0800 k/h/d
San José	0740 k/h/d
San Salvador	0680 k/h/d
Tegucigalpa	0520 k/h/d
Lima	0500 k/h/d

Fuente: Manual Vigilancia Sanitaria 1996.

A medida que progresa el desarrollo se incrementan los ingresos y el consumo de las familias de una mayor cantidad y variedad de productos, también el consumo creciente de productos empacados, todo lo cual se traduce en el aumento de la generación de residuos sólidos per capita. (63)

Generación de Residuos

Producción Per cápita (PPC)

La producción de residuos sólidos domésticos es una variable que depende básicamente del tamaño de la población y de sus características socioeconómicas.

Una variable necesaria para dimensionar el sitio de disposición final es la llamada Producción per cápita (PPC). Este parámetro asocia el tamaño de la población, la cantidad de residuos y el tiempo; siendo la unidad de expresión el kilogramo por habitante por día (Kg/hab/día). (63,89)

Estadísticas de generación

Un estudio presentado en 1995 dentro del contexto de la presentación de política para el manejo de los residuos sólidos domiciliarios (CONAMA), realizado en lo Errázuriz presenta los siguientes valores de generación: (89)

Nivel socioeconómico	Porcentaje	PPC (Kg/hab./día)
Alto	20,5	1,07
Medio Alto	34,1	0,85
Medio Bajo	31,6	0,65
Bajo	13,7	0,57
Valor Medio		0,77

Fuente: Comisión Nacional del Medio Ambiente 1995.

Imposición de los Residuos

Básicamente trata de identificar en una base másica o volumétrica los distintos componentes de los residuos. Usualmente los valores de composición de residuos sólidos municipales o domésticos se describen en términos de porcentaje en masa, también usualmente en base húmeda y contenidos items como materia orgánica, papales y cartones, escombros, plásticos, textiles, metales, vidrios, huesos, etc.

La utilidad de conocer la composición de residuos sirve para una serie de fines, entre los que se pueden destacar estudios de factibilidad de reciclaje, factibilidad de tratamiento, investigación, identificación de residuos, estudio de políticas de gestión de manejo. (63,89)

Es necesario distinguir claramente en que etapa de la gestión de residuos corresponden los valores de composición. Los factores de que depende la composición de los residuos son relativamente similares a los que definen el nivel de generación de los mismos:

Un estudio presentado en 1995 dentro del contexto de la presentación de política para el manejo de los residuos sólidos domiciliarios (CONAMA), realizado en lo Errázuriz presenta los siguientes valores de composición. (89)

Componente	Valor promedio %	Alto (20,5%) %	Medio Alto (34,1%) %	Medio Bajo (31,6%) %	Bajo (13,7%) %
Materia orgánica	49.3	48.8	41.8	54.7	56.4
Papeles y cartones	18.8	20.4	22.0	17.0	12.9
Escoria, cenizas y lozas	6.0	4.9	5.8	6.1	7.6
Plásticos	10.2	12.1	11.5	8.6	8.1
Textiles	4.3	2.3	5.5	3.5	6.0
Metales	2.3	2.4	2.5	2.1	1.8
Vidrios	1.6	2.5	1.7	1.3	1.0
Huesos	0.5	0.5	0.4	0.6	0.4
Otros	6.9	6.1	8.7	6.1	5.8
PPC Kg/hab./día.	0.77	1.07	0.85	0.65	0.57

Fuente: Comisión Nacional del Medio Ambiente 1995.

Manejo de Residuos Sólidos

Es el conjunto de procedimientos y políticas que conforman el sistema de manejo de los residuos sólidos. La meta es realizar una gestión que sea ambiental y económicamente adecuada. (89)

Sistema de manejo de residuos sólidos

Básicamente el sistema de manejo de los residuos se compone de cuatro sub sistemas:

a) Generación: Cualquier persona u organización cuya acción cause la transformación de un material en un residuo. Una organización usualmente se vuelve generadora cuando su proceso genera un residuo, o cuando lo derrama o cuando no utiliza más un material.

b) Transporte: Es aquel que lleva el residuo. El transportista puede transformarse en generador si el vehículo que transporta derrama su carga, o si cruza los límites internacionales (en el caso de residuos peligrosos), o si acumula lodos u otros residuos del material transportado.

c) Tratamiento y disposición: El tratamiento incluye la selección y aplicación de tecnologías apropiadas para el control y tratamiento de los residuos peligrosos o de sus constituyentes. Respecto a la disposición la alternativa comúnmente más utilizada es el relleno sanitario.

d) Control y supervisión: Este sub sistema se relaciona fundamentalmente con el control efectivo de los otros tres sub sistemas. (50,63,89)

Riesgo asociado al manejo de los residuos sólidos

Gestión negativa:

a) Enfermedades provocadas por vectores sanitarios: Existen varios vectores sanitarios de gran importancia epidemiológica cuya aparición y permanencia pueden estar relacionados en forma directa con la ejecución inadecuada de alguna de las etapas en el manejo de los residuos sólidos.

b) Contaminación de aguas: La disposición no apropiada de residuos puede provocar la contaminación de los cursos superficiales y subterráneos de agua, además de contaminar la población que habita en estos medios.

c) Contaminación atmosférica: El material particulado, el ruido y el olor representan las principales causas de contaminación atmosférica.

d) Contaminación de suelos: Los suelos pueden ser alterados sus estructuras debidas a la acción de los líquidos percolados dejándolos inutilizadas por largos periodos de tiempo.

e) Problemas paisajísticos y riesgos: La acumulación en lugares no aptos de residuos trae consigo un impacto paisajístico negativo, además de tener en algunos casos asociados un importante riesgo ambiental, pudiéndose producir accidentes, tales como explosiones o derrumbes.

f) Salud mental: Existen numerosos estudios que confirman el deterioro anímico y mental de las personas directamente afectadas. (63,89)

Gestión positiva:

a) Conservación de recursos: El manejo apropiado de las materias primas, la minimización de residuos, las políticas de reciclaje y el manejo apropiado de residuos traen como uno de sus beneficios principales la conservación y en algunos casos la recuperación de los recursos naturales. Por ejemplo puede recuperarse el material orgánico a través del compostaje.

b) Reciclaje: Un beneficio directo de una buena gestión lo constituye la recuperación de recursos a través del reciclaje o reutilización de residuos que pueden ser convertidos en materia prima o ser utilizados nuevamente.

c) Recuperación de áreas: Otros de los beneficios de disponer los residuos en forma apropiada un relleno sanitario es la opción de recuperar áreas de escaso valor y convertirlas en parques y áreas de esparcimiento, acompañado de una posibilidad real de obtención de beneficios energéticos (biogás). (63,89)

Disposición Final

Después que el residuo a sido tratado este se encuentra listo para su disposición. La forma y tipo del residuo determina en gran parte donde la disposición será permitida. Un limitado grupo de residuos puede ser dispuesto por inyección a pozos profundos y en descargas submarinas a océanos, muchos residuos gaseosos y particulados son dispuestos en la atmósfera. (62,63.89)

Los residuos sólidos comúnmente son depositados en:

- Basural
- Botaderos
- Botaderos controlados
- Vertederos
- Rellenos sanitarios
- Depósitos de seguridad

Cuadro comparativo de las diferentes alternativas de depósito:

Clasificación	Control	Diseño	Información del residuo	Limites	Impermeabilización y recubrimiento	Existencia de protección
Basural	No	No	No	No	No	No
Botadero	No	No	No	No	No	No
Botadero Controlado	No --Si	No	No –Si	Si	No	No
Vertedero	Si	No --Si	No –Si	Si	No --Si	No --Si
Relleno sanitario	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Deposito de seguridad	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Fuente: Comisión Nacional del Medio Ambiente.

Rellenos Sanitarios

Un relleno sanitario es una obra de ingeniería destinada a la disposición final de los residuos sólidos domésticos, los cuales se disponen en el suelo, en condiciones controladas que minimizan los efectos adversos sobre el medio ambiente y el riesgo para la salud de la población.

La obra de ingeniería consiste en preparar un terreno, colocar los residuos extenderlos en capas delgadas, compactarlos para reducir su volumen y cubrirlos al final de cada día de trabajo con una capa de tierra de espesor adecuado.

Un relleno sanitario planificado y ambiental de las basuras domesticas ofrece, una vez terminada su vida útil, excelentes perspectivas de una nueva puesta en valor del sitio gracias a su eventual utilización en usos distintos al relleno sanitario; como ser actividades agropecuarias a largo plazo.

El relleno sanitario es un sistema de tratamiento y, a la vez disposición final de residuos sólidos en donde se establecen condiciones para que la actividad microbiana sea de tipo anaeróbico (ausencia de oxígeno). Este tipo de método es el más recomendado para realizar la disposición final en países como el nuestro, pues se adapta muy bien a la composición y cantidad de residuos sólidos urbanos producidos; aseveración que, por lo demás, se encuentra muy bien documentada en la bibliografía. (50,63,89)

La definición mas aceptada de relleno sanitario es la dada por la sociedad de ingenieros civiles (ASCE); Relleno sanitario es una técnica para la disposición de residuos sólidos en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad publica, método este, que utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo menor posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable, para cubrir los residuos así depositados con una capa de tierra con la frecuencia necesaria, por lo menos al final de cada jornada.

Requerimientos generales de los rellenos sanitarios:

- El sitio debe tener espacio necesario para almacenar los residuos generados por el área en el plazo definido por el diseño.
- El sitio es diseñado, localizado y propuesto para ser operado de forma que la salud, las condiciones ambientales y el bienestar sea garantizado.

- El sitio es localizado de manera de minimizar la incompatibilidad con las características de los alrededores y de minimizar el efecto en los avalúos de estos terrenos.
- El plan de operación del sitio se diseña para minimizar el riesgo de fuego, derrames y otros accidentes operacionales en los alrededores.
- El diseño del plan de acceso al sitio se debe hacer de forma de minimizar el impacto en los flujos. (89)

Tipos de rellenos

El parámetro básico de diseño de un relleno es el volumen. Este depende del área cubierta, la profundidad a la cual los residuos son depositados, y el radio de material de cobertura y residuo. Debido a que la tasa de generación de residuos es usualmente definida en unidades másicas un parámetro adicional que influencia la capacidad del relleno es la densidad in situ de la basura y el material de cobertura.

Generalmente todo diseño de relleno incluye algunas obras comunes. Zonas buffer y pantallas perimetrales son necesarias para aislar el relleno de los vecinos y el sitio. Son necesarios cercos perimetrales para evitar el acceso no autorizado al sitio, se requiere un cuidadoso mantenimiento del frente de trabajo. Durante tiempos inclementes podría ser necesario contar con tractores para asistir a los camiones. El barro y suciedad que se adhieren al camión por su operación en el sitio debe ser retirado del mismo antes que abandone el recinto del relleno. (89)

Método de trinchera o zanja

Este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de dos a tres metros de profundidad, con el apoyo de una retroexcavadora o tractor oruga. Incluso existen experiencias de excavación de trincheras de hasta 7 metros de profundidad para relleno sanitario. La tierra se extrae se coloca a un lado de la zanja para utilizarla como material de cobertura. Los desechos sólidos se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con tierra.

La excavación de zanjas exige condiciones favorables tanto en lo que respecta a la profundidad del nivel freático como al tipo de suelo. Los terrenos con nivel freático alto o muy próximo a la superficie no son apropiados por el riesgo de contaminar el acuífero. Los terrenos rocosos tampoco lo son debido a las dificultades de excavación. (89)

Método de área

En áreas relativamente planas, donde no sea posible excavar fosas o trincheras para enterrar las basuras, estas pueden depositarse directamente sobre el suelo original, elevando el nivel algunos metros. En estos casos, el material de cobertura deberá ser importado de otros sitios o, de ser posible, extraído de la capa superficial. En ambas condiciones, las primeras celdas se construyen estableciendo una pendiente suave para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleva el terreno.

Se adapta también para rellenar depresiones naturales o canteras abandonadas de algunos metros de profundidad. El material de cobertura se excava en las laderas del terreno, o en su defecto se debe procurar lo más cerca posible para evitar el encarecimiento de los costos de transporte. La operación de descarga y construcción de las celdas debe iniciarse desde el fondo hacia arriba. (89)

Clasificación de rellenos sanitarios

Clasificación según clase de residuo depositado

- Tradicional con residuos sólidos urbanos seleccionados: No acepta ningún tipo de residuo de origen industrial, ni tampoco lodos.
- Tradicional con residuos sólidos urbanos no seleccionados: Acepta además de los residuos típicos urbanos, industriales no peligrosos y lodos previamente acondicionados.
- Rellenos para residuos triturados: Recibe exclusivamente residuos triturados, aumenta vida útil del relleno y disminuye el material de cobertura.
- Rellenos de seguridad: Recibe residuos que por sus características deben ser confinados con estrictas medidas de seguridad.
- Relleno para residuos específicos: Son rellenos que se construyen para recibir residuos específicos (cenizas, escoria, borras, etc.).
- Rellenos para residuos de construcción: Son rellenos que se hacen con materiales inertes y que son residuos de la construcción de viviendas u otra. (89)

Clasificación según las características del terreno utilizado

- En áreas planas o llanuras: Más que relleno es una depositación en una superficie. Las celdas no tienen una pared o una ladera donde apoyarse, es conveniente construir pendientes adecuadas utilizando pretilas de apoyo para evitar deslizamientos. No es conveniente hacer este tipo de relleno en zonas con alto riesgo de inundación.
- En quebrada: Se debe acondicionar el terreno estableciendo niveles aterrizados, de manera de brindar una base adecuada que sustente las celdas. Se deben realizar las obras necesarias para captar las aguas que normalmente escurren por la quebrada y entregarlas a su cauce aguas abajo del relleno.
- En depresiones: Se debe cuidar el ingreso de aguas a la depresión, tanto provenientes de la superficie o de las paredes por agua infiltrada. La acumulación normal del relleno. La forma de construir el relleno dependerá del manejo que se de al biogás o a los líquidos percolados.
- En laderas de cerros: Normalmente se hacen partiendo de la base del cerro y se va ganando altura apoyándose en las laderas del cerro. Es similar al relleno de quebrada. Se deben aterrizar las laderas del cerro aprovechando la tierra sacada para la cobertura y tener cuidado de captar aguas lluvias para que no ingresen al relleno.
- En ciénagas, pantanos o marismas: Método muy poco usado por lo difícil de llevar a cabo la operación, sin generar condiciones insalubres. Es necesario aislar un sector, drenar el agua y una vez seco proceder al relleno. Se requiere equipamiento especializado y mano de obra. (89)

IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS RELLENOS SANITARIOS

Los impactos ambientales que sufre el medio ambiente a través del desarrollo de las tres etapas de un relleno sanitario son de diferentes características y tal vez lo más relevante y que trascienden mayormente son aquellas que se producen en la etapa de operación y construcción del relleno. Los efectos de los variados impactos pueden verse incrementados o disminuidos por las condiciones climáticas del lugar y por el tamaño de la obra. (89)

Impactos ambientales en la etapa de habilitación.

- Remoción capa superficial de suelos (alteración vegetación y fauna).
- Movimientos de tierra.
- Intercepción y desviación de aguas lluvias superficiales.
- Interferencia al tránsito (efectos barreras).
- Alteración permeabilidad propia del terreno.
- Alteración paisaje.
- Fuente de trabajo (corto plazo).
- Actividades propias de una faena de obras civiles: ruido, polvo, tránsito, movimiento de maquinaria pesada. (89)

Impactos ambientales en la etapa de operación y construcción del relleno

- Impactos por incremento del movimiento.
- Contaminación atmosférica: olores, ruidos, material particulado, biogás.
- Contaminación de aguas: líquidos percolados.
- Contaminación y alteración del suelo: diseminación de papeles, plástico, y materias livianas, extracción de tierra para ser utilizada como material de cobertura.
- Impacto paisajístico: cambio en la topografía del terreno, modificación en la actividad normal del área.
- Impacto social: fuente de trabajo, efecto NIMBY (nadie lo quiere), incremento actividad vial. (89)

Impactos ambientales en la etapa de clausura

- Impacto paisajístico: recuperación vegetación, recuperación fauna.
- Impacto social: integración de áreas a la comunidad, disminuye fuente de trabajo.

Medidas de mitigación

Las medidas de mitigación empleadas para reducir los impactos ambientales negativos de un relleno sanitario dependen de una serie de factores, entre los cuales destacan: las características del proyecto, tecnología usada, localización, condiciones de operación (tamaño, clima), etc., no obstante es posible identificar los impactos mas frecuentes generado por este tipo de faena y las medidas que normalmente se emplean para su mitigación. (63,89)

Olores:

- Utilización de pantallas vegetales, (árboles, arbustos).
- Tratamiento de los líquidos percolados.
- Quema del biogás cuando hay metano suficiente.

Ruidos:

- Pantallas vegetales.
- Utilizar equipos de baja emisión de ruidos.

Alteración del suelo:

- Adecuada impermeabilización del relleno sanitario, para evitar filtraciones.
- Vegetación para evitar erosión relleno sanitario para evitar nivelar zonas con asentamiento diferencial o pendientes fuertes. (63,89)

Diseminación de materiales:

- Configurar barreras para evitar que el viento incida sobre el frente de trabajo.
- Utilizar mallas interceptoras.
- Desprender residuos de camiones antes que abandonen el relleno.

Material particulado:

- Riego de camino y de la tierra acumulada para el recubrimiento.
- Pantallas vegetales en el perímetro del relleno.

Control de vectores:

- Mantener aislado sanitariamente el recinto mediante la formación de un cordón sanitario que impida la infestación del relleno por roedores y el paso de especies animales desde y hacia el recinto.
- Realizar fumigaciones y desratizaciones como mínimo, cada 6 meses. Los elementos químicos que se empleen en esta actividad, deben estar acordes con la legislación. (63,89)

Incremento movimiento vehicular

- Tratar de que la recolección se haga en horas diferidas.
- En caso de vehículos de estaciones de transferencia tratar que estos lleguen en forma secuencial.

Líquidos percolados:

Almacenamiento en depósitos cerrados

- Recirculación.
- Tratamiento físico químico y/o biológico.

Biogás:

- Extracción con fines de utilización.
- Quema controlada. (63,89)

DESECHOS SÓLIDOS EN GUATEMALA**La problemática**

El manejo de los residuos sólidos no ha sido prioridad a nivel institucional, a pesar de ser un problema de salud y ambiental. Ello se refleja en la falta de un sistema nacional encargado de ofrecer soluciones: la municipalidad aduce falta de recursos financieros y busca donaciones para su establecimiento, a fin de no asumir el costo político de cobrar una tarifa; la

iniciativa privada es débil empresarialmente, pues la actividad se realiza por microempresarios que trabajan ineficientemente; por su parte, la comunidad no tiene cultura de pago por el servicio y gran parte de la misma tampoco cuenta con capacidad de pago. Asimismo, la ausencia de coordinación interinstitucional, la falta de planificación y el incumplimiento de las leyes y normas que definen las funciones de cada institución, impiden conocer las necesidades de recursos humanos, técnicos, físicos y financieros, dificultan la prestación de asistencia técnica y otorgamiento de crédito a los municipios, y entorpecen el control de impactos causados por los residuos sólidos al ambiente y a la salud. (28,46)

En el marco legal, existe una serie de leyes, códigos, reglamentos y otros instrumentos dispersos, lo cual provoca una problemática en cuanto a la aplicación de las leyes, las limitaciones de la legislación y de los mecanismos de control, la variabilidad de parámetros para establecer sanciones, los conflictos entre normativas jurídicas y los vacíos en la legislación existente. Respecto a los recursos humanos capacitados, no existe todo el personal que pueda hacerse cargo de los sistemas de manejo de residuos sólidos a nivel operativo, administrativo y profesional en las instituciones. Al no existir manejo técnico de residuos sólidos en ninguna localidad del país, la porción recolectada oscila entre 40 y 70%, incluyendo el área metropolitana que, además de residuos peligrosos, genera desechos industriales y hospitalarios. La producción per cápita de residuos sólidos se estimó en 5 Kg/hab/día, para un total de 2000 t/día en el país.

El vertedero municipal de la zona 3 recibe cada día 2,063 toneladas de desechos sólidos de los cuales más del 50 % provienen de los municipios aledaños a la capital. Estas dos mil toneladas de residuos son producidas por 2, 144,052 personas que viven según el censo del 2002, en la ciudad de Guatemala, Mixco, Villa Nueva y San Miguel Petapa. Los Datos en números. (28,46)

- El 50 % de los desechos que producen los guatemaltecos es de origen orgánico (Restos de alimentos, desechos vegetales Papel contaminado).
- El 30 % incluye materiales reciclables como papel, cartón plástico, Metales, zapato madera y vidrios.
- El 20 % esta conformado por tierra.
- El vertedero de la zona 3 cada día recibe 2,063 toneladas de desecho sólido, de los cuales más del 50 % proviene de los ocho municipios aledaños a la ciudad capital.

272 camiones son utilizados para la recolección de estos desechos sólidos. En los límites de la Ciudad Capital y Municipios aledaños.

Según departamentos, Guatemala tiene una cobertura de recolección de basura en área urbana del 72 % le sigue Quetzaltenango con un 49 % y Chiquimula con el 38 % el resto de departamentos coberturas menores al 32 % con una cobertura promedio de 19 % esto significa que a excepción de tales departamentos más del 80 % de las basuras van a parar a basureros clandestinos. Los departamentos con menor cobertura son San Marcos, Sololá y Peten.

En el área urbana la situación es diferente porque la facilidad de disponer de la basura en los patios de las casas es reducido y las molestias al vecino pueden ser causa de problemas legales. A nivel nacional de modalidades para disponer de las basuras domiciliarias destacando que sólo el 25 % tienen servicios de recolección. (28,46)

FORMAS DE DISPOSICIÓN DE BASURA EN LOS HOGARES RURALES DE GUATEMALA

FORMAS DE DISPOSICION	PORCENTAJE
La queman	35.85
La entierran	17.54
La tiran en cualquier parte	43.65
Otra forma	1.08
Fuente INE 1994	

Si bien el crecimiento de la población y la urbanización son factores de presión en la generación de desechos sólidos e impacto ambiental.

La actividad industrial en Guatemala produce impactos ambientales significativos a través de la generación de desechos peligrosos ya sean estos líquidos, sólidos y/o gaseosos. Se puede ver que la mayoría de industrias se concentra en el departamento de Guatemala con un 64 %. Los departamentos de Santa Rosa con un 7.6 %, Quetzaltenango, con 5 % y Escuintla con 4 %.

Actividades industriales que en Guatemala podrían presentar riesgos ambientales, clasificados de significativos a muy significativos. (101)

De riesgo ambiental alto:

- Curtiembres (tenerías).
- Fabricación de sustancias y productos químicos (diferentes de jabón y detergentes, pinturas, esmaltes y similares).
- Fabricación de papel y productos de papel.
- Producción de azúcar (ingenios).
- Producción de café.

De riesgo ambiental moderado:

- Fabricación de bebidas.
- Fabricación de pinturas, esmaltes y similares.
- Fabricación de productos de caucho, hule y plástico.
- Fabricación de textiles.
- Industria de grasas y aceites comestibles (extracción, refinación y destilación).
- Industria de jabones y detergentes.
- Industria de metal-mecánica (fundición y producción de piezas y equipos en general).
- Mataderos y rastros. (101)

En consecuencia, existen problemas por baja prioridad otorgada al manejo de desechos, desconocimiento técnico, baja cobertura del servicio municipal y privado traducido en botaderos ilegales, ausencia de reciclaje o recuperación, reglamentación y normativa técnica deficiente y desconocida, pocos estudios y con visiones tradicionales, vehículos y equipo obsoleto o inadecuado en su mayoría y sitios inadecuados para la disposición final. Ejemplos que pueden ser positivos son: el proyecto Metrópoli 2010 del BID; el Proyecto de Fortalecimiento Municipal y el Plan de Acción Ambiental del Banco Mundial; el Programa de Fortalecimiento de Gestión Municipal de AID; las iniciativas de la Unión Europea en el departamento de Alta Verapaz, de CARE en San Marcos y de la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI) en el Departamento de Petén con su Programa de Desarrollo Municipal en Centroamérica (DEMUCA). (101)

En lo económico financiero, se observó que existe una política tarifaria a nivel nacional o local, utilizando la vía del subsidio cuando se hace algún tipo de manejo. El sector privado opera en recolección en algunas ciudades, pero lo hace sin canalizar fondos para la disposición final. Por otra parte, la falta de recursos para los estudios de preinversión y las dificultades para tramitar financiamientos se incluyen entre las limitantes para la elaboración de planes de manejo en residuos sólidos. (28,46)

En salud, enfermedades como las gastrointestinales, oculares, infecciones respiratorias agudas (IRA), enfermedades de la piel y parasitarias, tienen relación con el mal manejo de los residuos sólidos. El grupo de mayor riesgo son los guajeros y la población marginada, siendo indirecto el riesgo para la población en general.

Los residuos sólidos influyen en el deterioro y degradación del ambiente, limitando el posible uso de los recursos naturales. Entre los principales impactos, se encuentra la generación de ruido, polvo, malos olores y humo, contaminación de aguas superficiales y subterráneas e inutilización de recursos naturales.

Por otra parte, al no existir un compromiso por parte de la comunidad con los proyectos e inversiones o con las soluciones adoptadas, se malgastan recursos porque no existen controles ni supervisión efectiva sobre la conducta de los gobiernos locales. La ausencia de programas de capacitación y formación de líderes comunitarios impide garantizar la participación social efectiva y canalizar una coordinación concertada entre la alcaldía y las diferentes organizaciones existentes. (28,46)

RESIDUOS SÓLIDOS A NIVEL DE SOLOLA

Estas comunidades no cuentan con un servicio de tratamiento de la basura. Sí existe dicho servicio en el casco urbano, donde la municipalidad recolecta los residuos en sacos, casa por casa, tres días a la semana (lunes, miércoles y jueves). Además se recoge la basura del mercado municipal los días martes, viernes y domingo, siendo el viernes el día de mayor generación de residuos. Para prestar este servicio, la municipalidad cuenta con dos camiones de una capacidad de 18 m³ cada uno, que realizan dos viajes al día para disponer los desechos. Se estima que con ellos la cobertura del servicio es solamente del 40% del área urbana. De acuerdo a una investigación de campo, se recolectan unos cien (100) m³ semanales de residuos sólidos, equivalente a unos 4700 Kg diarios. (14)

Los desechos que la municipalidad recolecta son depositadas en las riveras del río Kisk'ab', que es el principal afluente del lago de Atitlán y cuyas aguas se utilizan mucho para riego de cultivo. Este vertedero a cielo abierto, el único autorizado en todo el municipio, es un factor determinante de contaminación debido a que los lixiviados (óxidos) se arrastran hacia el río. Para evitar la acumulación de la basura, ésta es incinerada, sin que se haga una selección previa que permita evitar que se quemen materiales cuyos humos son contaminantes. Tampoco se tiene implementado ningún sistema de reciclaje de residuos. (14)

4.10 DISPOSICIÓN DE EXCRETAS

Generalidades

La evacuación higiénica de excretas humanas establece la primera barrera contra las enfermedades relacionadas con las excretas, lo que contribuye a reducir su transmisión por rutas directas e indirectas. La evacuación higiénica de excretas es por tanto una prioridad absoluta, y en la mayoría de los casos de desastres se debe afrontar con la misma urgencia y el mismo esfuerzo que el suministro de agua salubre.

La provisión de instalaciones apropiadas para la defecación constituye una de las intervenciones de emergencia que son esenciales para la dignidad, la seguridad, la salud y el bienestar de las personas. La epidemiología ha demostrado que la mala disposición de excretas humanas constituye una gran amenaza para la salud. (56,66)

La eliminación inadecuada de las heces contamina el suelo y las fuentes de agua a menudo propicia criaderos para ciertas especies de moscas y mosquitos, dándoles la oportunidad de poner sus huevos y multiplicarse o alimentarse y transmitir la infección. Atrae también a animales domésticos y roedores que transportan consigo las heces y con ellas posibles enfermedades. Además, usualmente esta situación crea molestias desagradables, tanto para el olfato como para la vista. Las bacterias, parásitos y gusanos que viven en los excrementos causan enfermedades, como las diarreas, parasitosis intestinal, hepatitis y fiebre tifoidea. Con el uso de servicios sanitarios se protege la salud, se previene enfermedades y se cuida las aguas superficiales y subterráneas. (79)

El objetivo de la eliminación sanitaria de las excretas es aislar las heces de manera que los agentes infecciosos que contienen no puedan llegar a un nuevo huésped. El método elegido para una zona o región determinada dependerá de muchos factores, entre ellos, de la geología y la hidrogeología locales, la cultura y las preferencias de las comunidades, los materiales disponibles localmente y el costo. (52,66,79)

Definición: Es el lugar donde se arrojan las deposiciones humanas con el fin de almacenarlas y aislarlas para así evitar que las bacterias patógenas que contienen puedan causar enfermedades. (34) Son los lugares destinados en las viviendas para eliminar adecuadamente y sanitariamente las excretas, evitando la contaminación del aire, agua, suelo y de las personas (52)

Localización: Se localizará en terrenos secos y en zonas libres de inundaciones. En terrenos con pendiente, la letrina se localizará en las partes bajas. La distancia mínima horizontal entre la letrina y cualquier fuente de abastecimiento de agua será de 15 metros. La distancia mínima vertical entre el fondo del foso y el nivel máximo de aguas subterráneas será de 1.5 metros. (34) La migración de bacterias y sustancias químicas en el suelo debido a las letrinas ha sido muy estudiada, se citan estudios de desplazamientos verticales en suelos secos entre 0,90 y 3 metros cuando están expuestos a intensa lluvia, es difícil recomendar distancias de protección, ya que dependen del desplazamiento de las aguas subterráneas y de las características de los suelos, pero las letrinas deben de instalarse en terreno seco, despejado de vegetación y escombros, no expuestas a inundaciones y aguas abajo del pozo. (56)

Clases

Letrina: Lugar destinado a la evacuación de las heces y los orines, y a la eliminación del material empleado en la limpieza anal. (81)

Letrinas con arrastre de agua: son aquellas en que las excretas son arrastradas con ayuda del agua. Se usan mayormente cuando el abastecimiento de agua es intradomiciliaria.

Letrinas sin arrastre de agua: son aquellas en que las excretas son depositadas directamente en el hoyo. Se les llama también letrinas de hoyo seco. Se usa en zonas donde no hay abastecimiento de agua. (34,52)

Hoyo: Cavidad de una determinada profundidad que se hace en la tierra para depositar las heces humanas, los orines y el material de limpieza anal.

Cámara: Obra fabricada con mampostería, compuesta de ladrillos o bloques de piedra unidos con mortero de cemento-arena o de concreto simple o reforzado, que se levanta sobre el nivel natural del suelo para depositar las heces humanas, los orines y el material de limpieza anal. (81)

Brocal: Conocido también como anillo de protección de la boca de la letrina. Se ubica en la parte superior del hoyo y se emplea para estabilizar la boca del hoyo, sostener firmemente la losa de la letrina, brindar hermeticidad entre el hoyo y el medio ambiente para impedir que el agua de lluvia, insectos y roedores puedan acceder hacia el interior del hoyo. (34,81)

Losa: Elemento que cubre el hoyo o cámara, sostiene el tubo de ventilación y soporta al usuario y va instalado sobre el brocal.

Terraplén: Montículo de tierra apisonada que se acomoda alrededor del brocal hasta llegar al nivel de la losa con la finalidad de proteger al hoyo del ingreso de agua de lluvia.

Aparato sanitario: Dispositivo destinado a posicionar y brindar comodidad a la persona durante el acto de defecación.

Caseta: Obra que permite el aislamiento y la privacidad al usuario de la letrina.

Ventilación: Conducto destinado a eliminar los malos olores y controlar el ingreso de insectos que pudieran afectar el buen funcionamiento de la letrina. Puede ser circular o cuadrada. (34,52,81)

Componentes

La letrina se compone de siete elementos: a) hoyo o cámara; b) brocal; c) losa; d) terraplén; e) aparato sanitario; f) caseta; y g) ventilación.

Hoyo o cámara

- a) El aporte per cápita de desechos orgánicos depende del método de limpieza anal. En la determinación de la cantidad debe tenerse en cuenta lo siguiente:

Limpieza con agua o papel higiénico	0.04 – 0.05 m ³ /hab-año
Limpieza con papel grueso u hojas	0.05 – 0.06 m ³ /hab-año
Limpieza con material duro o voluminoso	0.06 – 0.07 m ³ /hab-año

- b) El volumen efectivo del pozo que es el volumen total menos el volumen del espacio libre, es igual al producto del aporte per cápita por el número de usuarios y la vida del diseño. (34,81)
- c) El hoyo deberá ser diseñado para una vida útil no mayor a cuatro años, y la cámara no mayor a dos años.
- d) El espacio libre del hoyo deberá ser no de menos 0,50 m y de 0,20 m para el caso de la cámara, el mismo que servirá para el sellado del hoyo o cámara una vez llena.
- e) El hoyo podrá ser circular o cuadrado con un diámetro a lado no menor de 0,80 m ni mayor a 1,5 m.
- f) En terrenos inestables o fácilmente deleznable, las paredes verticales del hoyo deberán ser protegidas con otros materiales para evitar su desmoronamiento.
- g) El volumen efectivo del hoyo cuyas paredes son protegidas, debe ser calculado descontando el espacio que ocupa el material usado para la protección.
- h) En la protección del hoyo se podrá emplear cilindros metálicos recubiertos con mortero de cemento-arena o protegidos con una capa gruesa de brea; anillos de concreto; madera resistente a la humedad, material de mampostería compuesta por ladrillos o bloques de piedra o de concreto sobrepuestos y con juntas laterales espaciadas en no más de un metro.
- i) En el caso de efectuar el recubrimiento de las paredes verticales del hoyo, el espacio entre el muro y el terreno natural debe ser rellenado con grava.
- j) El fondo del hoyo debe quedar por lo menos a dos metros por encima del máximo nivel freático de las aguas subterráneas.
- k) En el caso de terrenos calcáreos o con presencia de rocas fisuradas, las paredes verticales del hoyo deberán ser recubiertas y el espacio entre el muro de recubrimiento y el terreno natural debe ser por lo menos de 0,15 m y rellenada con una mezcla de arena gruesa y fina. El fondo del hoyo debe tener una capa de material filtrante de no menos de 0,25 m. (34,81)

Brocal

- a) Podrá ser construido con vigas de madera; concreto simple o reforzado; ladrillos o bloques de piedra o de concreto asentados con mortero de cemento-arena.
- b) Debe iniciarse faltando 0,20 m para llegar a la superficie y prolongarse 0,10 m por encima de ella.
- c) El brocal debe tener la misma geometría que el hoyo y su parte interna debe coincidir con las paredes internas del hoyo.
- d) El espesor del brocal en concreto o mampostería deberá ser menor de 0,20 m de los cuales 0,10 m servirán de apoyo a la losa.
- e) Cuando el brocal es de madera, los extremos deben prolongarse por lo menos 0,50 m del borde del hoyo. (34,81)

Losa

- a) Podrá ser construida de madera resistente a la humedad, concreto reforzado, plástico, fibra de vidrio o cualquier otro material durable y capaz de soportar el peso de la persona y del aparato sanitario.
- b) Las dimensiones de la losa deben prolongarse a cada uno de sus lados internos del brocal en, por lo menos, 0,10 m de modo de cubrir con amplitud el íntegro del hoyo.

- c) La losa debe poseer una abertura que estará ubicado en su eje central y distanciado no menos de 0,18 m del borde de la losa. Las dimensiones de la abertura serán de 0,17 m de diámetro en su parte más cercana al borde de la pared, 0,12 m de ancho en la más angosta, y la distancia de sus extremos de 0,40 m. En el caso de utilizar aparato sanitario o taza la dimensión del orificio se adecuará al mismo.
- d) En el caso que la losa no cuente con aparato sanitario, la losa debe contar con plantillas para ubicar los pies.
- e) El nivel de la losa instalada deberá ubicarse a un nivel no menos de 0,10 m y no más de 0,60 m con respecto al terreno natural, para evitar el acceso de aguas de lluvia.
- f) A fin de dar seguridad y sostenibilidad estructural a losas fabricados con madera deberá proyectarse no más de 0,20 m más allá de corte de terreno. (34,81)

Terraplén

- a) una vez instalada la losa se colocará tierra o arcilla alrededor de la losa. Este material deberá ser apisonado y deberá formar un ángulo de 45° con el nivel del suelo.
- b) El nivel del terraplén instalado deberá ubicarse a no menos de 0,10 m y no más de 0,60 m con respecto al terreno natural con declive hacia el exterior, para evitar el acceso de aguas de lluvia. Así mismo, la base horizontal del terraplén, exterior a la caseta, no deberá ser menos de 0,10 m y no más de 0,60 m. (34,81)

Aparato sanitario

- a) Podrá emplearse el tipo turco o el tipo taza.
- b) El aparato sanitario tipo turco podrá ser un accesorio independientemente o ser construido conjuntamente con la losa.
- c) El aparato sanitario o taza deberá ser un accesorio independiente.
- d) El aparato sanitario de taza deberá ser de una sola pieza y con un acabado lo más liso posible.
- e) El aparato sanitario, bien sea tipo turco o taza, deberá estar herméticamente unido a la losa para impedir el ingreso de insectos o la salida de malos olores. (34,81)

Caseta

- a) Las paredes de la caseta deberán permitir la fácil remoción de la losa, debiendo quedar un espacio libre entre el borde de la losa y la pared, de no menos de 0,01 m este espacio podrá ser sellado con barro o mortero pobre.
- b) El alto de la caseta no debe ser menor a 1,90 m y el ancho de la puerta no menor a 0,60 m.
- c) La puerta debe ser instalada o estar dotada de un sistema que fuerce automáticamente el cierre de la puerta.
- d) El material de construcción empleado en la fabricación de la caseta debe adecuarse a las condiciones climáticas del lugar, de modo que no exponga al usuario a condiciones de incomodidad.
- e) En los lugares donde llueve, será necesario que el techo tenga una inclinación mayor al 10 % y tener un voladizo alrededor de la caseta de por lo menos 0,10 m.
- f) La iluminación y ventilación al interior de la caseta deberán ser provistas por una ventana situada entre la parte alta superior de la caseta. El área total de la ventana no deber ser mayor a 0,10 m² y el alto no mayor a 0,15 m.
- g) En lo posible, la caseta debe ser fácil de desarmar o transportar, para su aprovechamiento posterior, una vez que el hoyo se haya llenado. (34,81)

Ventilación

- a) Las dimensiones del conducto de ventilación dependen de la temperatura ambiental del lugar.
- b) El conducto de ventilación podrá ser fabricado a partir de tuberías de plástico, metal o cualquier otro material resistente a las acciones climáticas o bien a partir de bloques de ladrillos, mortero de cemento-arena o piedra.
- c) El tubo de ventilación debe ubicarse en la cara externa, norte o sur de la caseta, para aprovechar la incidencia de los rayos solares sobre el conducto de ventilación.
- d) La parte superior del conducto de ventilación debe prolongarse más de 0,50 m por encima del techo de la caseta, y en el extremo del conducto deberá instalarse una malla metálica o plástica con abertura no mayor de 1,5 mm. El material de la malla debe ser resistente a las condiciones climáticas del lugar.(34,81)

Qué Sucede con la disposición de excretas luego de un desastre.

Inmediatamente después de los desastres naturales, el sistema de eliminación de excretas y alcantarillado suele ser defectuoso. Si no se adoptan medidas adecuadas, pueden presentarse:

- Criaderos de moscas u otros vectores;
 - Contaminación del suelo y fuentes de agua;
 - Contaminación de los alimentos por las moscas y el polvo;
 - Aumento de la incidencia de enfermedades gastrointestinales, infecciosas y parasitarias.
- (82)

Los servicios sanitarios mínimos recomendables durante la fase de emergencia son:

- Letrina: 5-6 asientos (100 personas)
- Lavatorios: 1 (10 personas)
- Banco-lavatorio: 2 de 3 mts.
- Duchas: 1 (30 personas)
- Recipiente para la basura: 1 de 100 litros (25 personas).

En la fase de rehabilitación se pueden atender algunas necesidades básicas sin usar instalaciones complejas. Las letrinas se usan especialmente en centros de refugios para atenuar la demanda de servicios higiénicos. Las letrinas de trinchera son aptas para períodos breves y se instalan con facilidad. Las letrinas bajas son adecuadas como máximo para una semana de uso; para períodos más prolongados se deben excavar trincheras más profundas. Como máximo, una letrina puede ser usada por 20 personas. El fondo de todas las trincheras debe tener una distancia mínima de un metro y medio sobre la capa freática en sitios secos.

Las letrinas deben estar ubicadas a una distancia mínima de 15 metros cuesta abajo de todas las fuentes de agua en un lugar de fácil acceso. Las trincheras deben limpiarse dos veces al día para controlar las moscas y olores y se deben rellenar antes de abandonarlas. El tipo de letrina depende de las características geográficas, principalmente de la profundidad del nivel freático y de las condiciones ambientales previas de los servicios de saneamiento. (82)

Qué hacer ante un desastre

- a) En caso de no disponer de servicios sanitarios, es necesario construir letrinas (individuales, colectivas, portátiles).
- b) Antes de la instalación de una letrina hay que evaluar el suelo del lugar, las condiciones topográficas y la accesibilidad de los usuarios, así como la presencia de aguas superficiales y subterráneas en las cercanías.
- c) Si el terreno no es adecuado para construir letrinas (suelo rocoso o napa freática alta), es imprescindible habilitar letrinas elevadas (sobre el terreno natural) con depósitos intercambiables. Hay que trasladar las excretas a un pozo ubicado en terreno apropiado, donde se deben enterrar inmediatamente.
- d) Estimar la cantidad de letrinas a instalar de acuerdo con el número de personas en el albergue (1 asiento/25 mujeres y 1 asiento + 1 urinario/35 hombres).
- e) Brindar información e instrucción a la población en los siguientes temas: (61,80)
 - Arrojar el papel usado a la letrina.
 - Usar los servicios sanitarios sólo para defecar u orinar (evitar almacenar herramientas u otros en su interior).
 - Lavarse las manos con agua y jabón después de orinar o defecar.
 - Mantener limpios los pisos, alrededores y paredes de la letrina.
 - Evitar defecar u orinar al aire libre, en los alrededores de los servicios sanitarios o cerca de cuerpos de agua, pues se favorecía la proliferación de moscas, larvas y la contaminación del agua por escorrentía. (66,79)

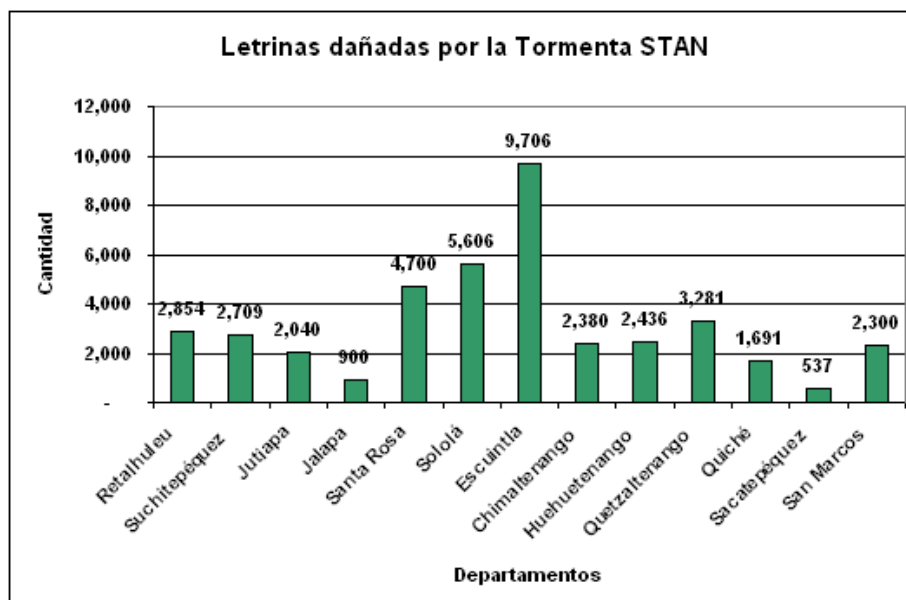
Qué no hacer ante un desastre

- a. Instalar sistemas de disposición de excretas sin haber evaluado la situación previamente (existencia de servicios sanitarios, cantidad de usuarios, características del lugar, entre otros).
- b. Ubicar los servicios sanitarios sin tomar en cuenta las características del lugar (tipo de suelo, topografía, accesibilidad, presencia de cuerpos de agua, etc.).
- c. Tratar de implementar tecnologías sofisticadas para la disposición de excretas. (66,79)

En Guatemala como en cualquier otra parte del mundo la evacuación higiénica de excretas humanas establece la primera barrera contra las enfermedades relacionadas con las excretas, lo que contribuye a reducir su transmisión por rutas directas e indirectas. La evacuación higiénica de excretas es por tanto una prioridad absoluta, y en la mayoría de los casos de desastre como los ocasionados por la tormenta Stan se debe afrontar con la misma urgencia y el mismo esfuerzo que el suministro de agua salubre.

La provisión de instalaciones apropiadas para la defecación constituye una de las intervenciones de emergencia que son esenciales para la dignidad, la seguridad, la salud y el bienestar de las personas, por lo que Guatemala se rige al igual que todos los países en vías de desarrollo por una serie de normas con el fin de proceder correctamente en el manejo de excretas.

Con respecto a la disposición de excretas, la mayor afectación se tiene con el componente de letrinas, número que asciende a 41140 dañadas según la información brindada por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social MSPAS.



Fuente: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social 2005.

Los daños fueron mayoritariamente en las áreas rurales, sobresaliendo en el área urbana el caso de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Panajachel, Departamento de Sololá. Los sistemas de suministro de agua para consumo humano, los pozos excavados (artesanales), letrinas y alcantarillados y de alguna forma la disposición de basuras, fueron afectados por la escorrentía, inundaciones y deslaves, provocados por la influencia directa de la Tormenta Tropical Stan. De igual forma, las condiciones de vulnerabilidad de los sistemas se agravaron, dejando en una situación de riesgo mayor a la existente antes de la tormenta. Las rehabilitaciones de los sistemas que se han venido realizando, reproducen la vulnerabilidad existente antes del evento o en algunos casos la aumenta producto de una mayor exposición.

Para ambos casos, agua y disposición de excretas, Aún existen muchos sistemas sin ser rehabilitados, lo que ha obligado a las familias que no cuentan con el servicio, a disponer del agua a través del acarreo de puntos distantes de otras fuentes de abastecimiento, en algunos casos con mayor riesgo para la salud. Las afectaciones se dieron mayoritariamente en las zonas rurales en 14 de los 22 Departamentos, los reportes en las zonas urbanas son mínimos en comparación con el número alto de sistemas rurales afectados.

4.11 AIRE

El planeta tierra se encuentra rodeado por una capa de gases (78% de nitrógeno, 21% de oxígeno, 1% de otros gases) que se llama atmósfera, conocida como aire. El uno por ciento restante incluye pequeñas cantidades de sustancias, como el dióxido de carbono, metano, hidrógeno, argón y helio. (17,83,85)

Contaminación Atmosférica:

La contaminación del aire ha sido un problema de salud pública desde el descubrimiento del fuego. En la antigüedad, las personas encendían fogatas en sus cuevas y cabañas y frecuentemente contaminaban el aire con humo nocivo. El filósofo romano Séneca

escribió sobre el "aire cargado de Roma" en el año 61 A.C. y en el siglo XI se prohibió la quema de carbón en Londres. (100)

El principal problema de contaminación del aire a fines del siglo XIX e inicios del siglo XX fue el humo y ceniza producidos por la quema de combustibles fósiles en las plantas estacionarias de energía. La situación empeoró con el creciente uso del automóvil. Con el tiempo, se presentaron episodios importantes de salud pública a causa de la contaminación del aire en ciudades como Londres, Inglaterra y Los Ángeles, en los Estados Unidos. (100)

Desde 1957, a raíz de una conferencia en Milán sobre los aspectos de salud pública relacionados con la contaminación del aire en Europa, la Organización Mundial de la Salud (OMS) se ha preocupado por este tema, especialmente por sus efectos sobre la salud.

Cuando la OPS creó en 1967 su programa regional de estaciones de muestreo de la contaminación del aire, ningún país conocía la magnitud real de sus problemas de contaminación atmosférica. Con esta iniciativa, a través del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) que iniciaba sus actividades, la OPS estableció la Red Panamericana de Muestreo Normalizado de la Contaminación del Aire (REDPANAIRE). (100)

En años recientes, en respuesta a las recomendaciones de la Agenda 21 de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, realizada en 1992 y los compromisos asumidos en la Cumbre de las Américas de 1994, la OPS junto con los esfuerzos de otros organismos multilaterales y bilaterales, ha promovido, coordinado y apoyado varias actividades relacionadas con la mejora de la calidad del aire, como por ejemplo, la eliminación del plomo en la gasolina.

A pesar de los grandes esfuerzos llevados a cabo para controlar la contaminación del aire, ésta sigue siendo un importante motivo de preocupación ambiental en el mundo. La finalidad de este curso es proporcionar un panorama de las muchas facetas de la contaminación del aire, incluidos los efectos sobre la salud y el bienestar, fuentes de contaminación del aire, técnicas de control y manejo general de la calidad del aire. (100)

Contaminación Atmosférica

Se pueden clasificar a los contaminantes como **primarios** o **secundarios**.

Contaminante primario: Es aquél que se emite a la atmósfera directamente de la fuente y mantiene la misma forma química (cenizas de la quema de residuos sólidos).

Contaminante secundario: Es el que experimenta un cambio químico cuando llega a la atmósfera (el ozono que se produce cuando los vapores orgánicos reaccionan con los óxidos de nitrógeno en presencia de luz solar). (85)

Los contaminantes de aire también se han clasificado como contaminantes criterio y contaminantes no criterio.

Contaminantes criterio: Son los que se han identificado como comunes y perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos. Se les llamó contaminantes criterio porque fueron objeto de estudios publicados en documentos de calidad del aire. Son los siguientes:

- Óxidos de azufre (SO_x)

- Material particulado
- Óxidos de nitrógeno (NO_x)
- Ozono (O₃)
- Monóxido de carbono (CO). (85)

Origen

Los contaminantes presentes en la atmósfera proceden de dos tipos de fuentes emisoras bien diferenciadas: las naturales y las antropogénicas. En el primer caso la presencia de contaminantes se debe a causas naturales, mientras que en el segundo tiene su origen en las actividades humanas. (100)

Focos de emisión		
Contaminante	Antropogénicos %	Naturales %
Aerosoles	11.3	88.7
Sox	42.9	57.1
CO	9.4	90.6
NO	11.3	88.7
HC	15.5	84.5

Fuente: Universidad Católica de Argentina. Contaminación Atmosférica 2006.

Sustancias que contaminan la atmósfera

Los contaminantes atmosféricos son tan numerosos que resulta difícil agruparlos para su estudio. Siguiendo una agrupación bastante frecuente los incluiremos en los siguientes grupos: Óxidos de Carbono, Óxidos de Carbono, Óxidos de Azufre, Óxidos de nitrógeno, Compuestos Orgánicos volátiles, Partículas y aerosoles, Oxidantes, Sustancias radiactivas, Calor, Ruido. (85,98,100)

Focos antropogénicos de emisión

Los principales focos de contaminación atmosférica de origen antropogénico son las chimeneas de las instalaciones de combustión para generación de calor y energía eléctrica, los tubos de escape de los vehículos automóviles y los procesos industriales.

Contaminantes emitidos por los vehículos automóviles, los principales contaminantes lanzados por los automóviles son: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO₂), hidrocarburos no quemados (HC), y compuestos de plomo.

En el caso del carbón los principales contaminantes producidos son: anhídrido sulfuroso, cenizas volantes, hollines, metales pesados y óxidos de nitrógeno. Cuando el combustible empleado es líquido (gasóleo o gasoil), los principales contaminantes emitidos son: SO₂, SO₃, NO_x, hidrocarburos volátiles no quemados y partículas carbonosas. (100)

Contaminantes emitidos por la industria

La siderurgia integral. Produce todo tipo de contaminantes y en cantidades importantes, siendo los principales: partículas, SO₂, CO, NO_x, fluoruros y humos rojos (óxidos de hierro).

Refinerías de petróleo. Producen principalmente: SO₂, HC, CO, NO₂, amoníaco, humos y partículas.

Industria química. Produce, dependiendo del tipo de proceso empleado: SO₂, nieblas de ácidos sulfúrico, nítrico y fosfórico y da lugar a la producción de olores desagradables.

Industrias básicas del aluminio y derivados del flúor. Producen emisiones de contaminantes derivados del flúor. (100)

Algunos de los principales contaminantes atmosféricos son sustancias que se encuentran de forma natural en la atmósfera. Los consideramos contaminantes cuando sus concentraciones son notablemente más elevadas que en la situación normal. Así se observa en la siguiente tabla en la que se comparan los niveles de concentración entre aire limpio y aire contaminado. (2,100)

Componentes	Aire limpio	Aire contaminado
SO ₂	0.001-0.01 ppm	0.02-2 ppm
CO ₂	310-330 ppm	350-700 ppm
CO	<1 ppm	5-200 ppm
Nox	0.001-0.01 ppm	0.01-0.5 ppm
Hidrocarburos	1 ppm	1-20 ppm
Partículas	10-20 micro g/m ³	70-700 micro g/m ³

Fuente: De Contaminación atmosférica. J H Seinfeld Madrid 1978, p. 9

Óxidos de carbono Incluyen el dióxido de carbono (CO₂) y el monóxido de carbono (CO). Los dos son contaminantes primarios.

Dióxido de carbono

Características. Es un gas sin color, olor ni sabor que se encuentra presente en la atmósfera de forma natural. No es tóxico. Desempeña un importante papel en el ciclo del carbono en la naturaleza y enormes cantidades, del orden de 10¹² toneladas, pasan por el ciclo natural del carbono, en el proceso de fotosíntesis.(10,98)

Acción contaminante. Dada su presencia natural en la atmósfera y su falta de toxicidad, no deberíamos considerarlo una sustancia que contamina, pero se dan dos circunstancias que lo hacen un contaminante de gran importancia en la actualidad:

Es un gas que produce un importante efecto de atrapamiento del calor, el llamado efecto invernadero, y su concentración está aumentando en los últimos decenios por la quema de los combustibles fósiles y de grandes extensiones de bosques. (100)

Efecto Invernadero y Cambio Climático

La diferencia de temperaturas medias de la Tierra entre una época glacial y otra como la actual es de sólo unos 5 °C o 6°C . Diferencias tan pequeñas en la temperatura media del planeta son suficientes para pasar de un clima con grandes casquetes glaciares extendidos por toda la Tierra a otra como la actual. Así se entiende que modificaciones relativamente pequeñas en la atmósfera, que cambiaran la temperatura media unos 2°C o 3°C podrían originar transformaciones importantes y rápidas en el clima y afectar de forma muy importante a la Tierra y a nuestro sistema de vida. (100)

Efecto Invernadero

En el conjunto de la Tierra se produce un efecto natural similar de retención del calor gracias a algunos gases atmosféricos. La temperatura media en la Tierra es de unos 15°C y si la atmósfera no existiera sería de unos -18°C. Se le llama efecto invernadero por similitud, porque en realidad la acción física por la que se produce es totalmente distinta a la que sucede en el invernadero de plantas. El efecto invernadero se origina porque la energía que llega del sol, al proceder de un cuerpo de muy elevada temperatura, está formada por ondas de frecuencias altas que traspasan la atmósfera con gran facilidad. La energía remitida hacia el exterior, desde la Tierra, al proceder de un cuerpo mucho más frío, está en forma de ondas de frecuencias más bajas, y es absorbida por los gases con efecto invernadero. Esta retención de la energía hace que la temperatura sea más alta, aunque hay que entender bien que, al final, en condiciones normales, es igual la cantidad de energía que llega a la Tierra que la que esta emite. Si no fuera así, la temperatura de nuestro planeta habría ido aumentando continuamente, cosa que, por fortuna, no ha sucedido. (16)

Gases con efecto invernadero

	Acción relativa	Contribución real
CO ₂	1 (referencia)	76%
CFCs	15 000	5%
CH ₄	25	13%
N ₂ O	230	6%

Fuente: Universidad Católica de Argentina. Contaminación Atmosférica 2006.

Como se indica en la columna de acción relativa, un gramo de CFC produce un efecto invernadero 15 000 veces mayor que un gramo de CO₂, pero como la cantidad de CO₂ es mucho mayor que la del resto de los gases, la contribución real al efecto invernadero es la que señala la columna de la derecha. (100)

Monóxido de carbono

Es un gas sin color, olor ni sabor. Es un contaminante primario. Es tóxico porque envenena la sangre impidiendo el transporte de oxígeno. Se combina fuertemente con la hemoglobina de la sangre y reduce drásticamente la capacidad de la sangre de transportar oxígeno. Es responsable de la muerte de muchas personas en minas de carbón, incendios y lugares cerrados (garajes, habitaciones con braseros, etc.) Alrededor del 90% del que existe en la atmósfera se forma de manera natural, en la oxidación de metano (CH₄) en reacciones fotoquímicas. Se va eliminando por su oxidación a CO₂.

La actividad humana lo genera en grandes cantidades siendo, después del CO₂, el contaminante emitido en mayor cantidad a la atmósfera por causas no naturales. Procede, principalmente, de la combustión incompleta de la gasolina y el gasoil en los motores de los vehículos. (10,98)

Óxidos de azufre

Incluyen el dióxido de azufre (SO₂) y el trióxido de azufre (SO₃).

Dióxido de azufre (SO₂)

Importante contaminante primario, es un gas incoloro y no inflamable, de olor fuerte e irritante, su vida media en la atmósfera es corta, de unos 2 a 4 días. Casi la mitad vuelve a depositarse en la superficie húmeda o seca y el resto se convierte en iones sulfato (SO₄²⁻). Por este motivo, como se ve con detalle en la sección correspondiente, es un importante factor en la lluvia ácida.

En los últimos años se están produciendo importantes disminuciones en la emisión de este contaminante (de 1980 a 1990 su producción ha disminuido en un 33%) como consecuencia de estar sustituyéndose los carbones españoles (de baja calidad) por combustibles de importación, más limpios. De todas formas las cantidades producidas siguen siendo bastante grandes y, de hecho, es el contaminante primario emitido en mayor cantidad después del CO. (10,98,100)

Trióxido de azufre (SO₃)

Contaminante secundario que se forma cuando el SO₂ reacciona con el oxígeno en la atmósfera. Posteriormente este gas reacciona con el agua formando ácido sulfúrico con lo que contribuye de forma muy importante a la lluvia ácida y produce daños importantes en la salud, la reproducción de peces y anfibios, la corrosión de metales y la destrucción de monumentos y construcciones de piedra, como veremos más adelante.

Otros: Algunos otros gases como el sulfuro de hidrógeno (H₂S) son contaminantes primarios, pero normalmente sus bajos niveles de emisión hacen que no alcancen concentraciones dañinas.

Óxidos de nitrógeno

Incluyen el óxido nítrico (NO), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el óxido nitroso (N₂O). NO_x (conjunto de NO y NO₂). (10,98,100)

El óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) se suelen considerar en conjunto con la denominación de NO_x. Son contaminantes primarios de mucha trascendencia en los problemas de contaminación.

El emitido en más cantidad es el NO, pero sufre una rápida oxidación a NO₂, siendo este el que predomina en la atmósfera. NO_x tiene una vida corta y se oxida rápidamente a NO₃⁻ en forma de aerosol o a HNO₃ (ácido nítrico). Tiene una gran trascendencia en la formación del smog fotoquímico, del nitrato de peroxiacetilo (PAN) e influye en las reacciones de formación y destrucción del ozono, tanto troposférico como estratosférico, así como en el fenómeno de la lluvia ácida. En concentraciones altas produce daños a la salud y a las plantas y corroe tejidos y materiales diversos. (10,98,100)

Óxido nitroso (N₂O)

Procede fundamentalmente de emisiones naturales (procesos microbiológicos en el suelo y en los océanos) y menos de actividades agrícolas y ganaderas (alrededor del 10% del total).

Otros

Algunos otros gases como el amoníaco (NH_3) son contaminantes primarios, pero normalmente sus bajos niveles de emisión hacen que no alcancen concentraciones dañinas. El amoníaco que se emite a la atmósfera en España se origina casi exclusivamente en el sector agrícola y ganadero. (10,98,100)

Compuestos orgánicos volátiles

Este grupo incluye diferentes compuestos como el metano CH_4 , otros hidrocarburos, los clorofluorocarbonos (CFC) y otros.

Metano (CH_4)

Es el más abundante y más importante de los hidrocarburos atmosféricos. Su vida media en la troposfera es de entre 5 y 10 años. Es un contaminante primario que se forma de manera natural en diversas reacciones anaeróbicas del metabolismo. El ganado, las reacciones de putrefacción y la digestión de las termitas forman metano en grandes cantidades. También se desprende del gas natural, del que es un componente mayoritario y en algunas combustiones. Asimismo se forman grandes cantidades de metano en los procesos de origen humano hasta constituir, según algunos autores, cerca del 50% del emitido a la atmósfera. (10,98,100)

Se considera que no produce daños en la salud ni en los seres vivos, pero influye de forma significativa en el efecto invernadero y también en las reacciones estratosféricas.

Otros hidrocarburos

Sus efectos sobre la salud son variables. Algunos no parece que causen ningún daño, pero otros, en los lugares en los que están en concentraciones especialmente altas, afectan al sistema respiratorio y podrían causar cáncer. Intervienen de forma importante en las reacciones que originan el "smog" fotoquímico.

Se define como smog fotoquímico el conjunto de productos iniciales, radicales y productos estables finales que hay lugar cuando la luz solar irradia la mezcla de hidrocarburos y de óxidos de nitrógeno en la atmósfera.

Clorofluorcarbonos.

Son especialmente importantes por su papel en la destrucción del ozono en las capas altas de la atmósfera. En la estratosfera se encuentran unas concentraciones de ozono superiores a las que podemos encontrar en la troposfera. Este ozono, sirve como protección para la vida terrestre, ya que absorbe la radiación ultravioleta, altamente peligrosa para el desarrollo de la vida. (10,98,100)

De forma global no hay formación ni destrucción de ozono, pero aproximadamente 350.000 toneladas de ozono sufren este ciclo de formación destrucción diariamente.

La radiación ultravioleta procedente del sol suele dividirse en tres fracciones:

- UV-A: (320-400 nm) relativamente menos peligrosa que las otras dos.
- UV-B (290-320 nm) más peligrosa que es la absorbida por el ozono.

- UV- C (<290 nm) que no suele penetrar en capas profundas de la atmósfera. (100)

Cualquier aumento de la radiación UVB que llegue hasta la superficie de la Tierra tiene el potencial para provocar daños al medio ambiente y a la vida terrestre. Los resultados indican que los tipos más comunes y menos peligrosos de cáncer de la piel, no melanomas, son causados por las radiaciones UVA y UVB. Se calcula que para el año 2000 la pérdida de la capa de ozono será del 5 al 10% para las latitudes medias durante el verano. (32)

Desde que se detectó el agujero de la capa de ozono se han propuesto diferentes teorías para su explicación, las cuales se pueden resumir en tres:

Teoría de la actividad solar: Según la cual la radiación solar produce un exceso de óxidos de N en la estratosfera que serían los responsables de la desaparición del ozono.

Teoría dinámica: Según la cual la circulación de gases en la atmósfera habría producido la reducción de los niveles de O₃.

Teoría química: La más ampliamente aceptada, que responsabiliza a los clorofluorocarbonos (CFC) de la destrucción del ozono estratosférico. (100)

Los CFC emitidos en la superficie de la Tierra, ascienden lentamente hacia capas superiores de la atmósfera. La misma estabilidad de los CFC permite que en su ascenso hacia la estratosfera no sufran modificaciones. En la estratosfera, bajo la acción de la intensa radiación ultravioleta experimentan una fotodisociación.

Que conducen a una desaparición neta de ozono, con la regeneración del átomo de cloro. De esta forma un sólo átomo de cloro es capaz de destruir hasta 100.000 átomos de ozono. (32)

Dioxinas, PAH (hidrocarburos aromáticos policíclicos), PCB (bifenilos policlorados) y otros compuestos orgánicos son moléculas que se caracterizan por ser muy estables químicamente y por tanto de difícil destrucción. Permanecen en el ecosistema años y algunas de ellas van acumulándose en la cadena trófica. Por esto las que son tóxicas son especialmente peligrosas y algunas son muy venenosas. (10)

Dioxinas

Se producen sin querer, principalmente de dos maneras:

En el proceso de fabricación de algunos pesticidas, conservantes, desinfectantes o componentes del papel; Cuando se queman a bajas temperaturas materiales como algunos productos químicos, gasolina con plomo, plástico, papel o madera. Las dioxinas y los furanos también reducen el éxito reproductivo en los animales de laboratorio al provocar nacimientos de bajo peso, camadas más pequeñas y abortos prematuros.

Los problemas sólo suceden cuando es la madre la expuesta al 2,3,7,8-TCDD, nunca cuando es el macho, lo que demuestra que no se produce alteración del ADN, sino alteraciones en el proceso de formación del embrión.

Algunos han encontrado un número de nacimientos defectuoso mayor que el normal, pero en la mayoría de las investigaciones no se han encontrado evidencias de defectos de nacimiento o problemas reproductivos por este motivo. (98)

PAH (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos)

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos son un grupo de más de 100 compuestos químicos que, aunque no se suelen fabricar con fines comerciales o industriales, exceptuando unos pocos para la fabricación de algunos plásticos, medicinas, colorantes y pesticidas; se forman en la combustión incompleta del carbón, petróleo, gas y otras sustancias orgánicas.

Respecto a su peligrosidad para la salud podemos decir de ellos algo muy similar a lo afirmado en el caso de las dioxinas. En experimentos de laboratorio, usados a dosis altas, inducen la formación de cáncer, producen problemas de fertilidad y alteraciones en el desarrollo del embrión, etc. (98,100)

PCB (Bifenilos PoliClorados)

Los PCB son un grupo de 209 compuestos químicos sintetizados por el hombre, entre los cuales hay sustancias de muy distinta toxicidad. Los PCBs son sustancias muy persistentes que tienden a acumularse en los tejidos grasos. Su toxicidad es moderada pero se sospecha que como en el caso de las dioxinas y los PAH, puedan inducir cáncer y dañar al sistema nervioso y al desarrollo embrionario. (10,98,100)

Partículas y aerosoles

Se suele usar la palabra aerosol para referirse a los materiales muy pequeños, sólidos o líquidos. Partículas se suele llamar a los sólidos que forman parte del aerosol, mientras que se suele llamar polvo a la materia sólida de tamaño un poco mayor (de 20 micras o más).

Aerosoles primarios

Los aerosoles emitidos a la atmósfera directamente desde la superficie del planeta proceden principalmente, de los volcanes, la superficie oceánica, los incendios forestales, polvo del suelo, origen biológico (polen, hongos y bacterias) y actividades humanas.

Aerosoles secundarios

Los aerosoles secundarios se forman en la atmósfera por diversas reacciones químicas que afectan a gases, otros aerosoles, humedad, etc. Suelen crecer rápidamente a partir de un núcleo inicial.

Entre los aerosoles secundarios más abundantes están los iones sulfato alrededor de la mitad de los cuales tienen su origen en emisiones producidas por la actividad humana. Otro componente importante de la fracción de aerosoles secundarios son los iones nitrato. (98,100)

Ozono (O₃):

El ozono es un compuesto inestable de tres átomos de oxígeno, el cual actúa como un potente filtro solar evitando el paso de una pequeña parte de la radiación ultravioleta (UV) llamada B que se extiende desde los 280 hasta los 320 nanómetros (nm). (2,7,10)

Ozono estratosférico

El que está en la estratosfera (de 10 a 50 km.) es imprescindible para que la vida se mantenga en la superficie del planeta porque absorbe las letales radiaciones ultravioletas que nos llegan del sol.

Ozono troposférico

El ozono que se encuentra en la troposfera, junto a la superficie de la Tierra, es un importante contaminante secundario. El que se encuentra en la zona más cercana a la superficie se forma por reacciones inducidas por la luz solar en las que participan, principalmente, los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos presentes en el aire. Es el componente más dañino del smog fotoquímico y causa daños importantes a la salud, cuando está en concentraciones altas, y frena el crecimiento de las plantas y los árboles. (32,85,98,100)

Substancias radiactivas

Isótopos radiactivos como el radón 222, yodo 131, cesio 137 y cesio 134, estroncio 90, plutonio 239, etc. son emitidos a la atmósfera como gases o partículas en suspensión. Normalmente se encuentran en concentraciones bajas que no suponen peligro, salvo que en algunas zonas se concentren de forma especial. (98,100)

Contaminación fotoquímica

La contaminación fotoquímica se produce como consecuencia de la aparición en la atmósfera de oxidantes, originados al reaccionar entre sí los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos y el oxígeno en presencia de la radiación ultravioleta de los rayos del sol. La formación de los oxidantes se ve favorecida en situaciones estacionarias de altas presiones (anticiclones) asociados a una fuerte insolación y vientos débiles que dificultan la dispersión de los contaminantes primarios. (100)

En las primeras horas de la mañana se produce una intensa emisión de hidrocarburos (HC) y óxido nítrico (NO) al comenzar la actividad humana en las grandes ciudades (encendido de las calefacciones y tráfico intenso). El óxido nítrico (NO) se oxida a óxido nítrico (NO₂) aumentando la concentración de este último en la atmósfera. Las concentraciones superiores de NO₂ unido a que la radiación solar se va haciendo más intensa, ponen en marcha el ciclo fotolítico del NO₂, generando oxígeno atómico que al transformarse en ozono conduce a un aumento de la concentración de este elemento y de radicales libres de hidrocarburos. Estos, al combinarse con cantidades apreciables de NO, producen una disminución de este compuesto en la atmósfera. Este descenso en la concentración de NO impide que se complete el ciclo fotolítico aumentando rápidamente la concentración de ozono (O₃). A medida que avanza la mañana la radiación solar favorece la formación de oxidantes fotoquímicos, aumentando su concentración en la atmósfera. Cuando disminuyen las concentraciones de los precursores (NO_x y HC) en la atmósfera, cesa la formación de oxidantes y sus concentraciones disminuyen al avanzar el día. De aquí que la contaminación fotoquímica se manifieste principalmente por la mañana en las ciudades. (2,98,100)

Acidificación del medio ambiental (lluvias ácidas)

Entendemos por acidificación del medio ambiente la pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua, como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra en forma de ácidos de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera.

La acidificación es un ejemplo claro de las interrelaciones entre los distintos factores ambientales, atmósfera, suelo, agua y organismos vivos. Así la contaminación atmosférica producida por los SO_x y NO_x afecta directa o indirectamente al agua, al suelo y a los ecosistemas. La amplitud e importancia de la acidificación del medio es debida,

principalmente, a las grandes cantidades de óxidos de azufre y de nitrógeno lanzados a la atmósfera, siendo de destacar que del total de las emisiones de SO_2 en el globo terrestre, aproximadamente la mitad son emitidas por las actividades humanas (antropogénicas) y que la mayor parte de éstas se producen en las regiones industrializadas del Hemisferio Norte que ocupan menos del 5% de la superficie terrestre. (98,100)

El proceso de acidificación se origina de la siguiente forma:

El azufre se encuentra en un principio en estado elemental, fijado en los combustibles fósiles. El nitrógeno en forma elemental se encuentra en el aire y también en los combustibles. Durante el proceso de la combustión de los combustibles fósiles se liberan el azufre y el nitrógeno, emitiéndose, en su mayor parte por las chimeneas, a la atmósfera como dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NO_x), respectivamente.

El proceso de retorno a la tierra puede realizarse de dos maneras:

Deposición seca. Una fracción de los óxidos vertidos a la atmósfera retornan a la superficie de la tierra en forma gaseosa o de aerosoles.

Deposición húmeda. La mayor parte de los SO_2 y NO_x que permanecen en el aire sufren un proceso de oxidación que da lugar a la formación de ácido sulfúrico (SO_4H_2) y ácido nítrico (NO_3H). Estos ácidos se disuelven en las gotas de agua que forman las nubes y en las gotas de lluvia, retornando al suelo con las precipitaciones. Una parte de estos ácidos queda neutralizada por sustancias presentes en el aire tales como el amoníaco, formando iones de amonio (NH_4^+).

Rotura de la capa de ozono

Uno de los grandes problemas causados por las reacciones que tienen lugar entre los contaminantes de la atmósfera es el de la disminución de la capa de ozono de la estratosfera como consecuencia de la descarga de determinadas sustancias a la atmósfera. El ozono se puede descomponer también por absorción de radiación ultravioleta, produciendo oxígeno atómico y molecular. (32)

Producción de óxidos nitrosos como resultado de la acción desnitrificadora de las bacterias en el suelo. Los óxidos nitrosos son productos relativamente estables que pueden persistir en la troposfera, llegando a alcanzar la estratosfera donde se pueden descomponer en óxido nítrico que es activo en la destrucción del ozono. Esta es probablemente la principal fuente del óxido de nitrógeno presente en la estratosfera y el principal agente de destrucción del ozono en el ciclo natural.

Finalmente, los átomos libres de cloro pueden producir la destrucción del ozono a través de una serie de reacciones. La presencia de estos átomos de cloro en la estratosfera se debe a las reacciones que sufren los clorofluorcarbonos cuando se dispersan en la atmósfera. En las últimas décadas dos de estos productos, el CF_2Cl_2 y el CFCl_3 se han utilizado con gran profusión como refrigerante en la industria y especialmente como propelentes de las aspersiones ("spray"), debido a su alta estabilidad química, baja toxicidad y no ser inflamables. Su estabilidad química es la que permite la migración de estos productos hasta la estratosfera, en la que se descomponen como consecuencia de la radiación ultravioleta produciendo átomos de cloro. (32,100)

La Ley del Aire Limpio de 1970

La aprobación de la Ley del Aire Limpio de 1970 marcó el inicio de los esfuerzos modernos para controlar la contaminación del aire en los Estados Unidos. Esta ley coincidió con la formación de la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency - EPA) que estableció un cambio en la política estadounidense relacionada con el control de la contaminación del aire.(100)

La Ley De Aire Limpio Del 1990.

Bajo la Ley de Aire Limpio la EPA tiene varios programas diseñados para proteger la salud humana y el ambiente de los efectos dañinos de la contaminación del aire. Estos programas se concentran en varias áreas:

- Reducir las concentraciones ambientales de contaminantes del aire que forman smog, bruma, lluvia ácida y otros problemas;
- Reducir las emisiones de contaminantes tóxicos del aire que se sabe o se sospecha que causan cáncer u otros efectos serios en la salud;
- Terminar la producción y el uso de químicos que destruyen el ozono estratosférico.

Estos contaminantes provienen de fuentes tales como plantas de energía, fábricas, autos y camiones. Las fuentes que permanecen en un lugar se llaman fuentes estacionarias; las fuentes que se mueven como los autos, camiones o aviones, se llaman fuentes móviles. (33)

Lluvia ácida

La lluvia ácida se refiere a la precipitación en forma de lluvia, nieve o niebla que contiene un exceso de ácidos debido a la contaminación atmosférica. La lluvia ácida también se puede referir a partículas sólidas que son ácidas. La acidez se mide en función del pH en una escala logarítmica de 1,0 a 14,0. Un pH de 1,0 indica alta acidez, mientras que un pH de 14,0 indica alta alcalinidad; un pH de 7,0 indica una solución neutral. La precipitación que cae por una atmósfera "limpia" es normalmente algo ácida, con un pH de aproximadamente 5,6. Sin embargo, la lluvia ácida puede tener valores de pH por debajo de 4,0. La lluvia ácida es importante debido a los efectos potencialmente nocivos que puede tener sobre el agua, vida acuática, vida silvestre y materiales artificiales.

La contaminación causada por el hombre es una de las causas primarias de la lluvia ácida. Los óxidos de azufre y de nitrógeno derivados de la quema de combustibles fósiles se mezclan con el agua en la atmósfera y producen la lluvia ácida.

Otros factores meteorológicos básicos que afectan la concentración de contaminantes en el aire ambiental son:

Radiación solar, Precipitación, Humedad.

La radiación solar contribuye a la formación de ozono y contaminantes secundarios en el aire. La humedad y la precipitación también pueden favorecer la aparición de contaminantes secundarios peligrosos, tales como las sustancias responsables de la lluvia ácida. La precipitación puede tener un efecto beneficioso porque lava las partículas contaminantes del aire. (100)

Efectos de la contaminación del aire

- Constricción de la vías respiratorias (asma), muchas veces acompañadas de rinitis y conjuntivitis;
- Irritación aguda y broncoconstricción refleja;
- Respuesta no específica al polvo, por ejemplo, bronquitis crónica;
- Neumoconiosis;
- Enfisema focal;
- Silicosis;
- Fibrosis intersticial difusa. (2,83)

Contaminación del aire

Es la que se produce como consecuencia de la emisión de sustancias tóxicas. La contaminación del aire puede causar trastornos tales como ardor en los ojos y en la nariz, irritación y picazón de la garganta y problemas respiratorios. Bajo determinadas circunstancias, algunas sustancias químicas que se hallan en el aire contaminado pueden producir cáncer, malformaciones congénitas, daños cerebrales y trastornos del sistema nervioso, así como lesiones pulmonares y de las vías respiratorias. A determinado nivel de concentración y después de cierto tiempo de exposición, ciertos contaminantes del aire son sumamente peligrosos y pueden causar serios trastornos e incluso la muerte. La contaminación del aire ocurre tanto en exteriores (ambiental) como en interiores. (18,85,100)

El "smog fotoquímico" (niebla fotoquímica) es un término de la contaminación del aire que se usa diariamente. En realidad, el smog fotoquímico es ozono a nivel del suelo formado por la reacción de los contaminantes con la luz solar. El smog fotoquímico. Éste tiene un efecto perjudicial sobre la salud de los grupos de alto riesgo mencionados anteriormente.(33,98)

Contaminación aire en interiores

Los efectos de la contaminación del aire en interiores han recibido mayor atención en los últimos años porque es allí donde las personas pasan casi 90 por ciento de su tiempo. Hay muchos tipos de contaminantes de interiores, tales como el humo de los artefactos, chimeneas y cigarrillos; contaminantes orgánicos de las pinturas, colorantes, limpiadores y materiales de construcción; y el radón.

El radón es un gas que se presenta de forma natural, no tiene olor ni color y es radiactivo. Sus efectos sobre la salud humana son importantes porque es el segundo factor, después del cigarrillo, que produce cáncer al pulmón. (100)

MONITOREO DEL AIRE EN LA CIUDAD DE GUATEMALA

OZONO O₃

Debido a dificultades de carácter técnico, durante el año 2002 no se utilizó la difusión pasiva para la medición de este contaminante, en su lugar se implementó la medición con monitor automático, para dos puntos de muestreo, en donde para algunos meses del año se obtuvieron resultados cada 15 minutos todos los días. (48)