Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

CURSO DE CONTAMINACION

CODIGO DE MATERIA: FMAR-01818

SEGUNDA PARTE

Versión 1.0 - 2008

José V. Chang Gómez
E - mail: jvchang@espol.edu.ec

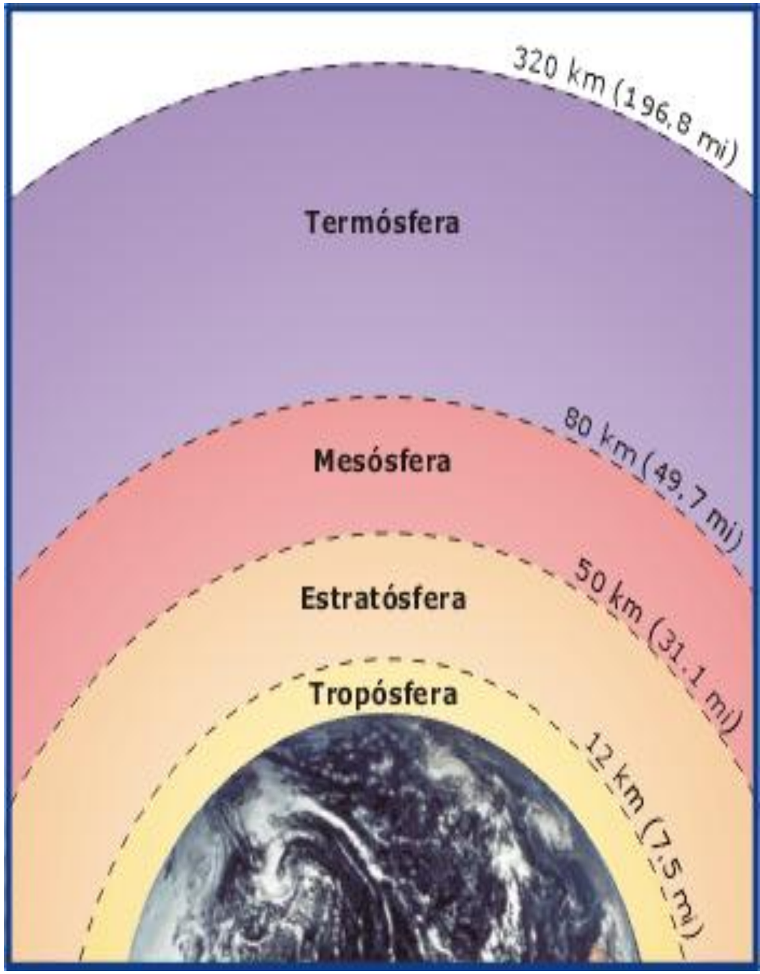
Guayaquil – Ecuador

Contenido de la Segunda Parte

- **Meteorología y la Atmósfera**
  - Balance térmico
  - Transporte de calor
  - Gradiente ambiental
  - Estabilidad atmosférica
  - Comportamiento de la pluma o penacho
  - Velocidad y dirección del viento
  - Elevación de la pluma
  - Uso de modelos de dispersión
  - Distribución Gaussiana / Ecuaciones
  - Ejercicios
- **Contaminación del Suelo / Manejo de Desechos Sólidos**
  - Tipo de desechos sólidos
  - Composición
  - Propiedades físicas, químicas y biológicas
  - Sistemas de recolección
  - Disposición final
  - Botaderos y rellenos sanitarios
  - Control de los sitios de disposición final

Meteorología y la Atmósfera (1)

- La meteorología es la ciencia de la atmósfera.
- La atmósfera es el medio en el que se emiten los contaminantes del aire.
- Procesos atmosféricos tales como el movimiento del aire (viento) y el intercambio de calor determinan el destino de los contaminantes a medida que pasan por las etapas de transporte, dispersión, transformación y remoción.
- La meteorología de la contaminación del aire es el estudio de cómo estos procesos atmosféricos afectan el destino de los contaminantes del aire.
- El conocimiento de la meteorología de la contaminación del aire sirve para manejar y controlar la descarga de contaminantes en el aire en exteriores.
- Ref. Curso de orientación para el control de la contaminación del aire, CEPIS.



Meteorología y la Atmósfera (2)

- El control de la descarga de los contaminantes ayuda a asegurar que las concentraciones de este tipo de sustancias en el ambiente cumplan con los estándares de calidad del aire en exteriores.
- Casi toda la contaminación del aire en exteriores se emite en la troposfera.
- El transporte de la contaminación del aire está determinado por la velocidad y la dirección de los vientos.
- La tasa de dispersión depende de la estructura térmica de la atmósfera, así como de la agitación mecánica del aire a medida que se desplaza sobre los diferentes accidentes geográficos.
- La radiación solar y la humedad, así como otros componentes de la atmósfera, causan un impacto en la transformación de las sustancias contaminantes emitidas en el aire.
- La remoción de los contaminantes no sólo depende de sus características sino también de fenómenos climáticos como la lluvia, la nieve y la niebla.
- Estos fenómenos meteorológicos interactivos se estudian como parte de la meteorología de la contaminación del aire.

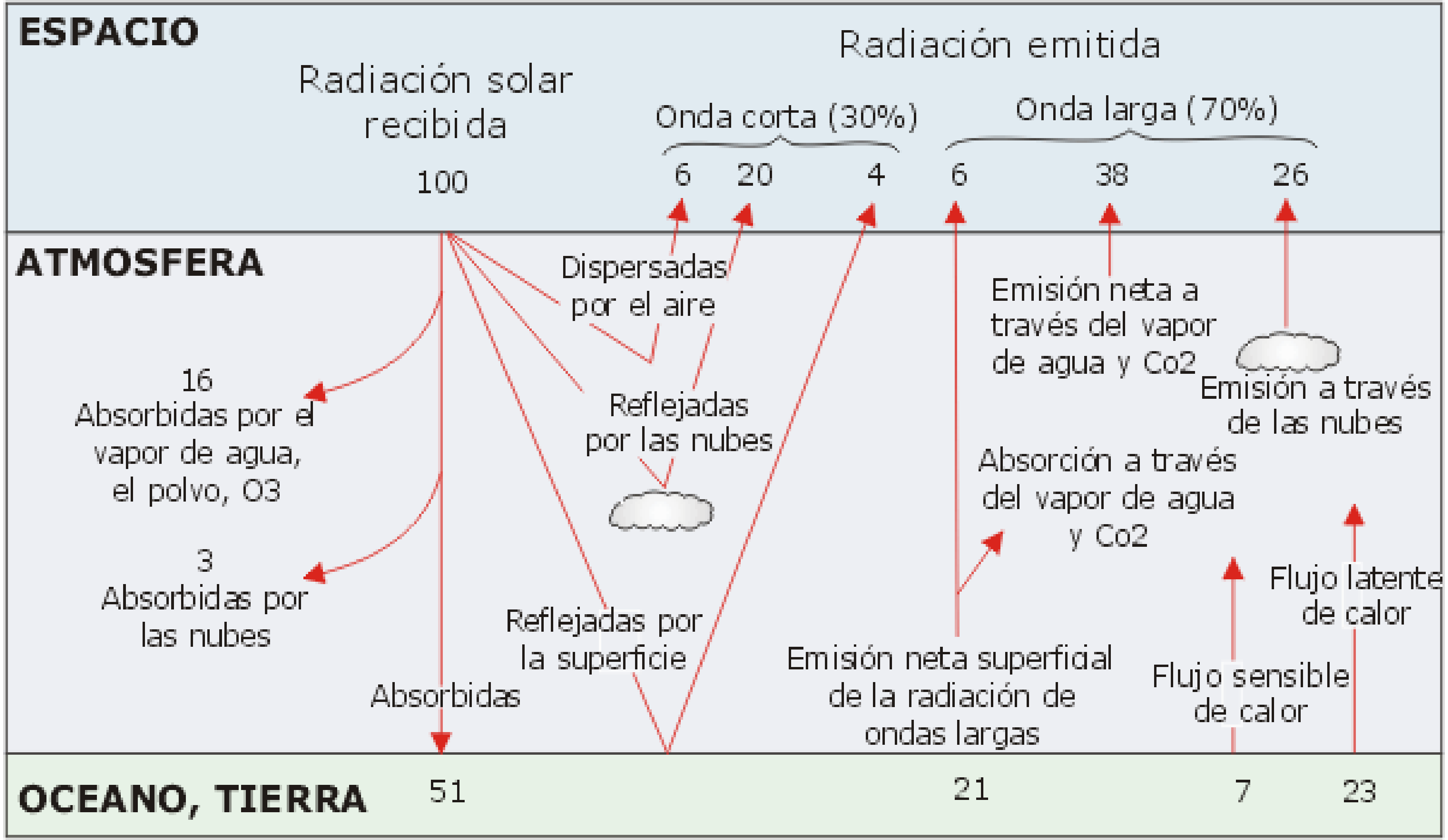
- Ref. Curso de orientación para el control de la contaminación del aire, CEPIS.

Balance Térmico de la Atmósfera

- Dado que la energía del sol siempre ingresa en la atmósfera, si toda la energía se almacenara en el sistema Tierra-atmósfera, la Tierra se podría recalentar. Así, la energía se debe liberar de nuevo en el espacio.
- La radiación recibida regresa como radiación terrestre y da lugar a un balance térmico, llamado balance de radiación.
- De cada 100 unidades de energía que ingresan en la atmósfera, 51 son absorbidas por la tierra, 19 por la atmósfera y 30 reflejadas nuevamente al espacio.
- Las 70 unidades que absorbe el sistema Tierra-atmósfera (51 + 19 unidades) son irradiadas nuevamente al espacio como una radiación de onda larga.
- El gráfico adjunto muestra el balance de radiación (térmico) de la atmósfera.

Esquema gráfico del balance térmico de la atmósfera

Ref.: National Academy of Sciences 1975

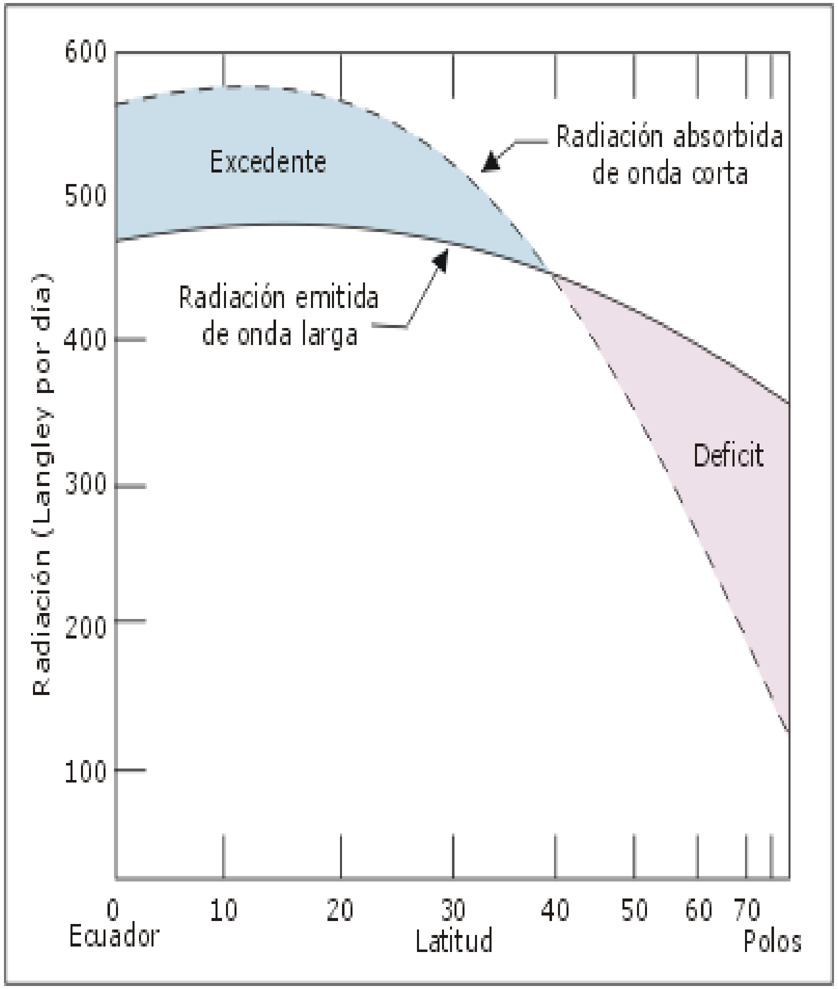


Transporte de calor

- Además de la radiación, el calor se transmite por **conducción, convección y advección**.
- Estos procesos afectan la temperatura de la atmósfera cercana a la superficie terrestre.
- La **conducción** es el proceso por el cual se transmite el calor a través de la materia sin que esta en sí se transfiera. El calor es conducido de un objeto más caliente a uno más frío.
- La transferencia de calor a través de la **convección** se produce cuando la materia está en movimiento. El aire que se calienta a través de la superficie terrestre calentada se elevará porque es más liviano que el del ambiente. El aire calentado se eleva y transfiere el calor verticalmente.
- Los meteorólogos también emplean el término **advección** para denotar la transferencia de calor que se produce principalmente por el movimiento horizontal antes que por el movimiento vertical del aire (convección).

Distribución mundial de calor

- La distribución mundial de la insolación está relacionada con la latitud, y es aproximadamente 4 veces mayor en el ecuador que en los polos.
- Para la Tierra, las ganancias de energía solar equivalen a las pérdidas de energía que regresan al espacio (balance térmico).
- Para lograr un equilibrio, las circulaciones atmosféricas y oceánicas realizan una transferencia continua de calor a gran escala (de latitudes bajas a altas).
- De otro modo, las regiones ecuatoriales seguirían calentándose y los polos enfriándose.
- La figura muestra la cantidad de radiación solar absorbida por la Tierra y la atmósfera (línea punteada) en comparación con la onda larga de radiación que sale de la atmósfera (línea negra).



Gradiente ambiental/atmosférico

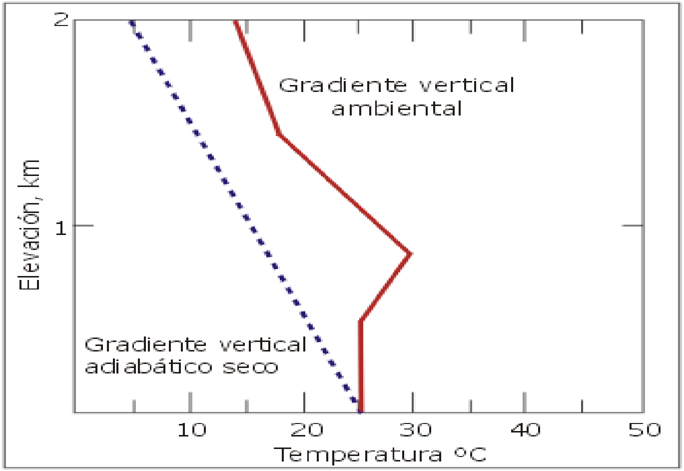
El perfil de la temperatura del aire ambiental muestra el gradiente vertical atmosférico.

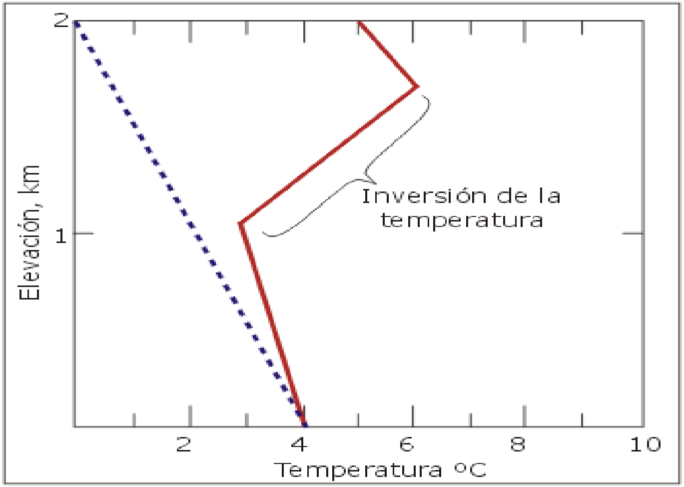
Resulta de complejas interacciones producidas por factores meteorológicos; por lo general consiste en disminución en la temperatura con la altura.

Es importante para la circulación vertical, ya que la temperatura del aire circundante determina el grado en que una porción de aire se eleva o desciende.

El fenómeno producido cuando la temperatura aumenta con la altitud se conoce como inversión de la temperatura **(inversión térmica).**

Esta situación es clave en la contaminación del aire porque limita la circulación vertical de este.





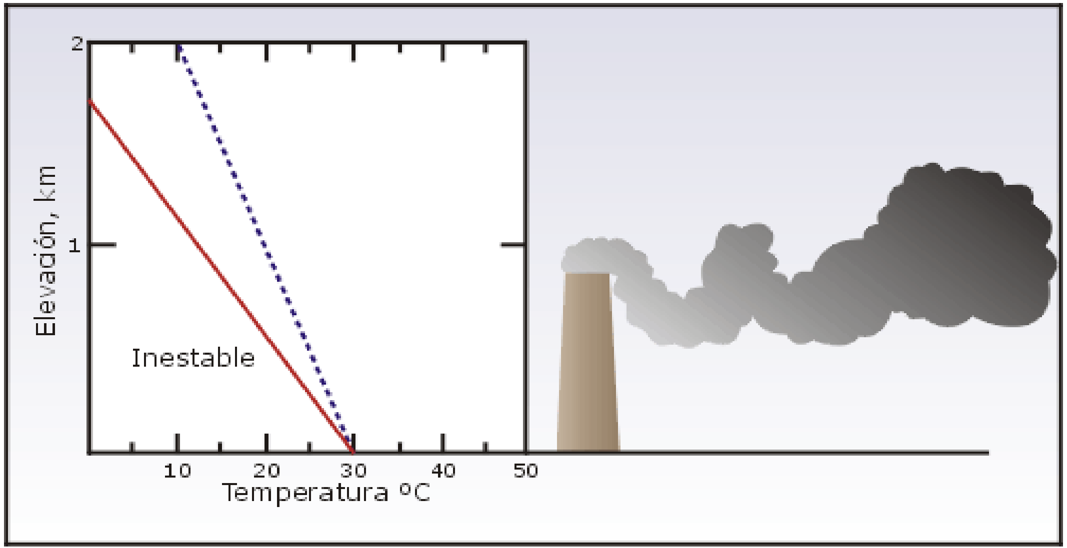
Ref.: Curso Conceptos Básicos de meteorología y contaminación del aire, CEPIS.

Estabilidad y comportamiento de la pluma o penacho (1)

La combinación de los movimientos verticales y horizontales del aire influye en el comportamiento de las plumas de fuentes puntuales (chimeneas).

La **pluma de espiral** se produce en condiciones muy inestables debido a la turbulencia causada por el acelerado giro del aire.

Mientras las condiciones inestables generalmente son favorables para la dispersión de los contaminantes, algunas veces se pueden producir altas concentraciones momentáneas en el nivel del suelo si los espirales de la pluma se mueven hacia la superficie.



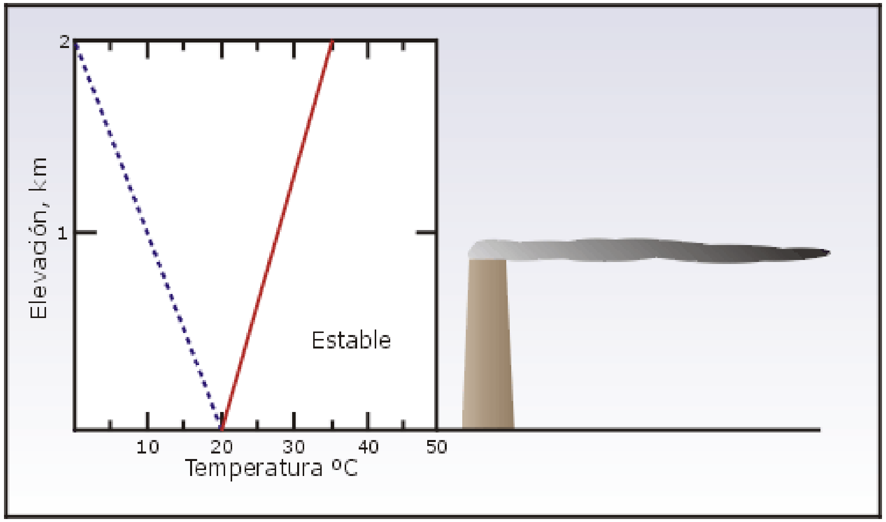
Estabilidad y comportamiento de la pluma o penacho (2)

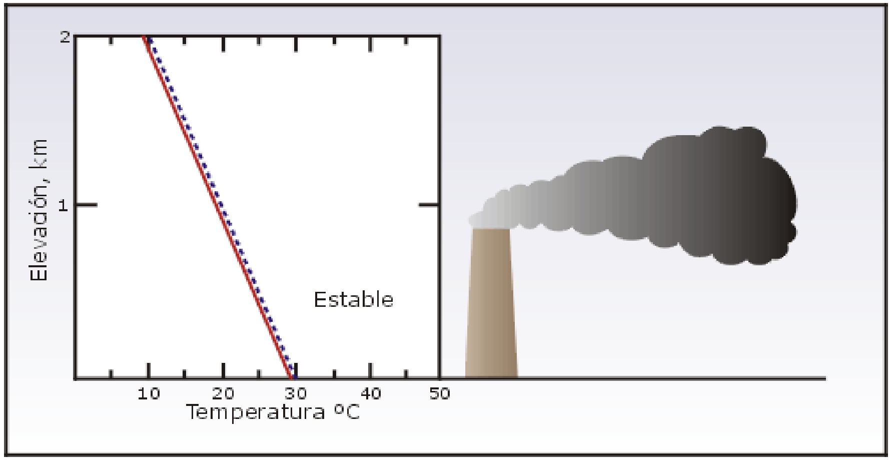
La **pluma de abanico** se produce en condiciones estables.

El gradiente de inversión inhibe el movimiento vertical sin impedir el horizontal y la pluma se puede extender por varios kilómetros a sotavento de la fuente.

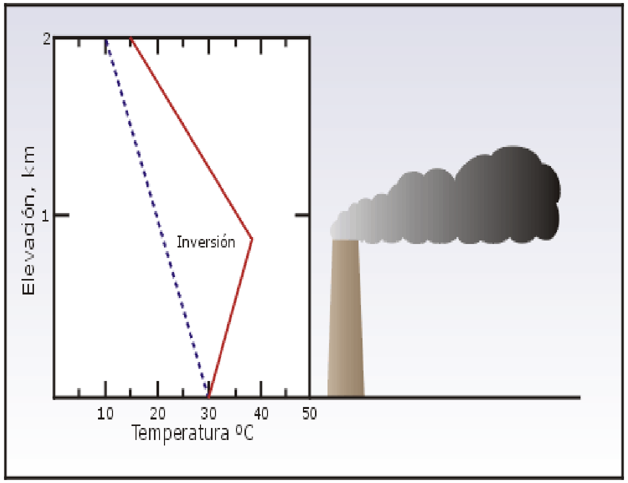
La **pluma de cono** es característica de las condiciones neutrales o ligeramente estables.

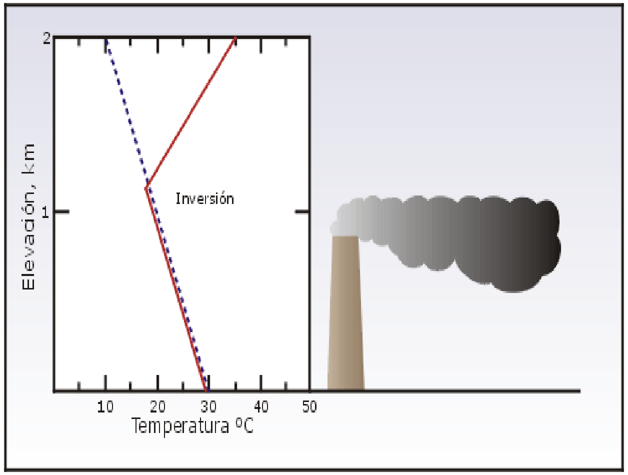
Este tipo de plumas tiene mayor probabilidad de producirse en días nubosos o soleados.





Estabilidad y comportamiento de la pluma o penacho (3)





Cuando las condiciones son inestables sobre una inversión, la descarga de una pluma sobre esta da lugar a una dispersión efectiva sin concentraciones notorias en el nivel del suelo alrededor de la fuente. Esta condición se conoce como **flotación.**

Si la pluma se libera justo debajo de una capa de inversión, es probable que se desarrolle una grave situación de contaminación del aire. Ya que el suelo se calienta durante la mañana, el aire que se encuentra debajo de la mencionada capa se vuelve inestable.

Cuando la inestabilidad alcanza el nivel de la pluma atrapada bajo la capa de inversión, los contaminantes se pueden transportar hacia abajo hasta llegar al suelo. Este fenómeno se conoce como **fumigación**.

Las concentraciones de contaminantes a nivel del suelo pueden ser altas cuando se produce la fumigación. Se puede prevenir si las chimeneas son suficientemente altas.

Velocidad y dirección del viento

La velocidad del viento determina la cantidad de dilución inicial que experimenta una pluma. Por lo tanto, la concentración de contaminantes en una pluma está directamente relacionada con la velocidad del viento.

Esta también influye en la altura de la elevación de la pluma después de ser emitida. A medida que la velocidad del viento aumenta, la elevación de la pluma disminuye al ser deformada por el viento. Esto hace que disminuya la altura de la pluma, que se mantiene más cerca del suelo y puede causar un impacto a distancias más cortas a sotavento.

La velocidad del viento se usa junto con otras variables para derivar las categorías de la estabilidad atmosférica usadas en las aplicaciones de los modelos de la calidad del aire.

Para propósitos meteorológicos, la dirección del viento se define como la **dirección desde la cual sopla el viento**, y se mide en grados en la dirección de las agujas del reloj a partir del norte verdadero. La dirección del viento determina la dirección del transporte de una pluma emitida.

Elevación de la pluma

La mezcla del aire ambiental en la pluma se denomina **arrastre**. Al entrar en la atmósfera, estos gases tienen un *momentum*. Muchas ocasiones se calientan y se hacen más cálidos que el aire externo.

En estos casos, los gases emitidos son menos densos que el aire exterior y, por tanto, flotantes. La combinación del *momentum* y la flotabilidad de los gases hace que estos se eleven.

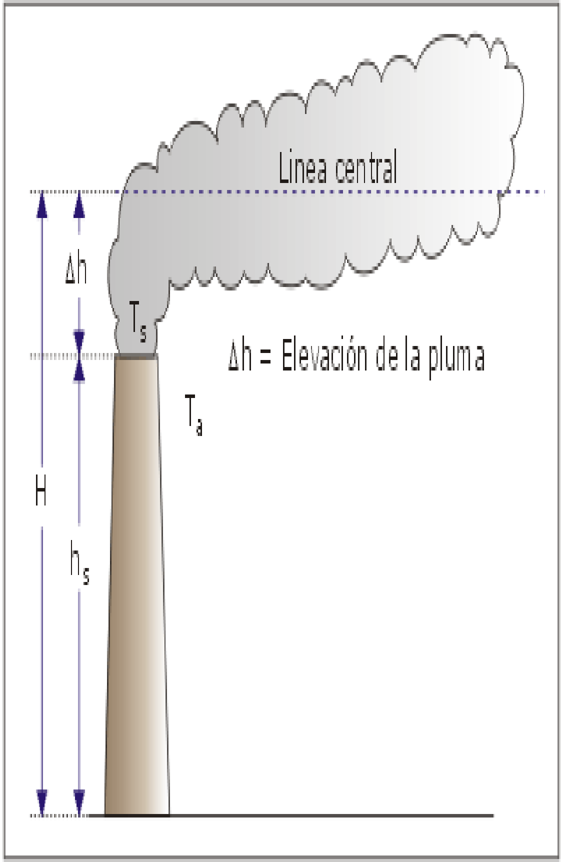
Este fenómeno, conocido como **elevación de la pluma**, permite que los contaminantes emitidos al aire en esta corriente de gas se eleven a una altura mayor en la atmósfera.

Al estar en una capa atmosférica más alta y más alejada del suelo, la pluma experimentará una mayor dispersión.

La altura final de la pluma, conocida como **altura efectiva de chimenea** (H), es la suma de la altura física de la chimenea (h s) y la elevación de la pluma (Δh).

La elevación de la pluma depende de las características físicas de la chimenea y del efluente (gas de chimenea).

La diferencia de temperatura entre el gas de la chimenea (Ts) y el aire ambiental (Ta) determina la densidad de la pluma, que influye en su elevación. La velocidad de los gases de la chimenea determina el *momentum* de la pluma.



Fórmulas elevación plumas

Las fórmulas de la elevación de la pluma se usan en plumas con temperaturas mayores que la del aire ambiental. La **fórmula de Briggs para la elevación de la pluma** (flotabilidad) se presenta a continuación.

Estas sirven para determinar la línea central imaginaria de la pluma, que es donde se producen las **mayores concentraciones** de contaminantes. Existen varias técnicas para calcular las concentraciones de contaminantes lejos de la línea central.

En las ecuaciones: Δh = Elevación de la pluma (sobre la chimenea)

F=Flujo de flotabilidad; μ =Velocidad promedio del viento

x=Distancia a sotavento de la chimenea/fuente

g=Aceleración debido a la gravedad (9,8 m/s2)

V=Tasa volumétrica del flujo del gas de la chimenea

Ts =Temperatura del gas de la chimenea; Ta =Temperatura del aire ambiental

$$\Delta h \, \frac{1{,}6F^{1/3}X^{2/3}}{\mu}$$

$$F = \frac{g}{\Pi} V \left(\frac{Ts - Ta}{Ts} \right)$$

Uso de Modelos de dispersión de calidad del aire

Los modelos de dispersión de calidad del aire consisten en un grupo de ecuaciones matemáticas que sirven para interpretar y predecir las concentraciones de contaminantes causadas por la dispersión y por el impacto de las plumas.

Estos modelos incluyen los estimados de dispersión y las diferentes condiciones meteorológicas, incluidos los factores relacionados con la temperatura, la velocidad del viento, la estabilidad y la topografía.

Existen 4 tipos genéricos de modelos: **gaussiano, numérico, estadístico y físico**.

Los modelos **gaussianos** emplean la ecuación de distribución gaussiana y son ampliamente usados para estimar el impacto de contaminantes no reactivos.

Para el caso de fuentes de áreas urbanas que presentan contaminantes reactivos, los modelos **numéricos** son más apropiados que los gaussianos pero requieren una información extremadamente detallada sobre la fuente y los contaminantes.

Los modelos **estadísticos** se emplean cuando la información científica sobre los procesos químicos y físicos de una fuente están incompletos o son vagos.

Los modelos **físicos**, requieren estudios complejos de modelos del fluido o túneles aerodinámicos del viento. Implica la elaboración de modelos a escala.

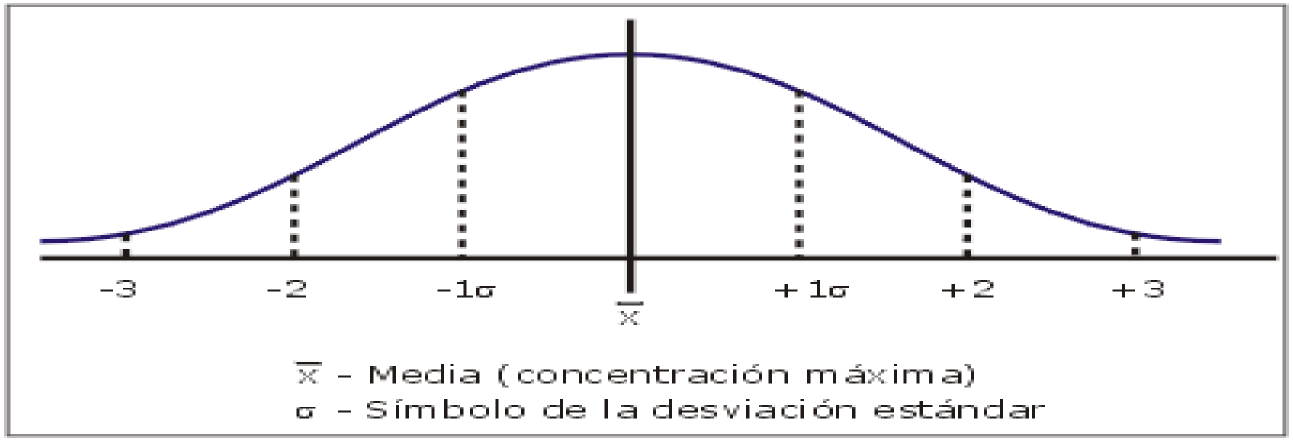
Distribución Gaussiana (1)

La distribución gaussiana determina el tamaño de la pluma a sotavento de la fuente.

El tamaño de la pluma depende de la estabilidad de la atmósfera y de su propia dispersión en dirección horizontal y vertical.

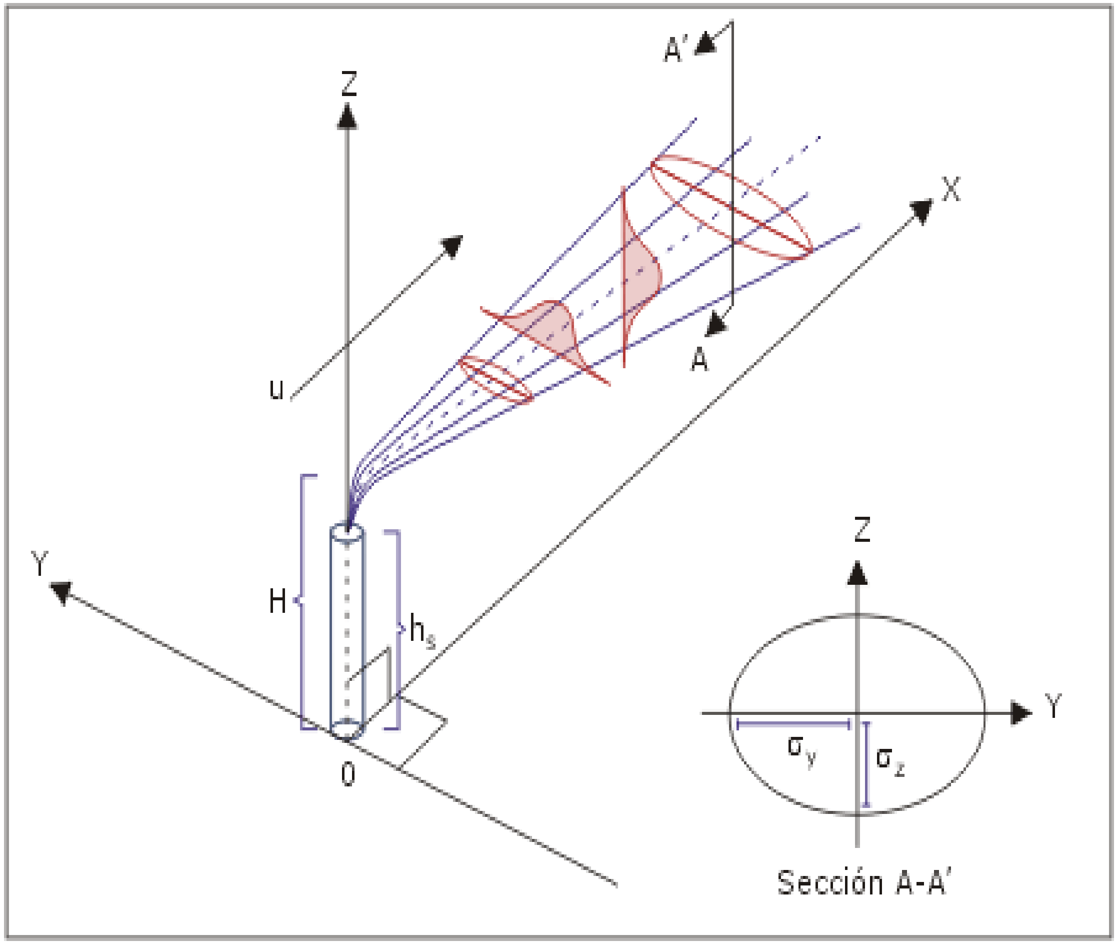
Los coeficientes de la dispersión δy horizontal y δz vertical, respectivamente) sólo representan la desviación estándar de la normal en la curva de distribución gausiana en las direcciones Y y Z.

Estos coeficientes de dispersión son funciones de la velocidad del viento, de la cubierta de nubes y del calentamiento de la superficie por el sol.



Distribución Gaussiana (2)

- La distribución gaussiana y la elevación de la pluma dependen de que el suelo sea relativamente plano a lo largo del recorrido.
- La topografía afecta el flujo y la estabilidad atmosférica del viento.
- Un terreno desigual debido a la presencia de cerros y valles afectará la dispersión de la pluma y la distribución gaussiana deberá ser modificada.



Modelo Gaussiano: Ecuaciones (1)

De los 4 tipos de modelos de dispersión mencionados anteriormente, el gaussiano, que incluye la **ecuación de distribución gaussiana** es el más usado.

La ecuación de distribución gaussiana emplea cálculos relativamente simples, que sólo requieren dos parámetros de dispersión (δy y δz) para identificar la variación de las concentraciones de contaminantes que se encuentran lejos del centro de la pluma, D.B. Turner, 1970.

Esta ecuación determina las concentraciones de contaminantes en el nivel del suelo sobre la base de las variables atmosféricas de tiempo promedio (por ejemplo, la temperatura y la velocidad del viento). Por lo tanto, no es posible obtener un cuadro instantáneo de las concentraciones de la pluma.

Donde:

x =concentración del contaminante en el nivel del suelo (g/m3)

Q =masa emitida por unidad de tiempo

δy =desviación estándar de la concentración de contaminantes en dirección y (horizontal)

δz =desviación estándar de la concentración de contaminantes en dirección z (vertical)

u=velocidad del viento; y=distancia en dirección horizontal; z=distancia en dirección vertical

H=altura efectiva de la chimenea

$$\chi = \frac{Q}{2\pi \sigma_y \sigma_z u} e^{\frac{-1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2} \left\{ e^{\frac{-1}{2}\left(\frac{z - H}{\sigma_z}\right)} + e^{\frac{-1}{2}\left(\frac{z + H}{\sigma_z}\right)^2} \right\}$$

Emisiones a nivel del Terreno (1)

Fuente Puntual a Nivel del Terreno

- Este caso considera que las emisiones de contaminantes son hechas a nivel del terreno, o sea la chimenea o fuente tiene altura cero.
- La concentración en dirección del viento se la calcula así:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}\right)\right]$$

donde C es la concentración de contaminantes en las coordenadas X, Y, Z, usualmente en $\mu g/m^3$

Q es la tasa de emisión, usualmente en $\mu g/s$

u es la velocidad del viento, usualmente en m/s

σ_y y σ_z son las respectivas desviaciones estándar, usualmente en metros.

Emisiones a nivel del Terreno (2)

- Para concentraciones a nivel del terreno, z = 0:

$$C(x, y, 0) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)\right]$$

- La concentración máxima a nivel del suelo a lo largo de la línea central del penacho o pluma donde y = 0 se expresa como:

$$C(x, 0, 0) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z}$$

Clasificaciones de estabilidad de la atmósfera

La estabilidad de la atmósfera depende de la diferencia de temperatura entre una porción de aire y su área circundante. La atmósfera puede ser **estable, condicionalmente estable, neutra, condicionalmente inestable o inestable.**

Para estimar la dispersión estos niveles de estabilidad se clasifican en 6 clases basadas en 5 categorías de velocidad del viento superficial, 3 tipos de insolación diurna y 2 tipos de nubosidad nocturna.

Estos tipos de estabilidad se llaman **clases de estabilidad Pasquill – Gifford.** Las estabilidades A, B y C representan horas diurnas con condiciones inestables. La estabilidad D, los días o noches con cielo cubierto con condiciones neutrales. Las estabilidades E y F, las condiciones nocturnas estables, basada en la cobertura de nubes. La clasificación A representa condiciones de gran inestabilidad mientras que la F, de gran estabilidad.

Viento superficial	**Insolación**			**Noche**	
Velocidad (a 10 m) (m/s)	**Fuerte**	**Moderada**	**Ligera**	**Cobertura de nubes bajas* ≥4/8**	**Cobertura de nubes ≥3/8**
CLASE	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
< 2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

* Ligeramente cubierto. Nota: Se deben asumir clases neutrales D para condiciones de cielo cubierto durante el día o la noche

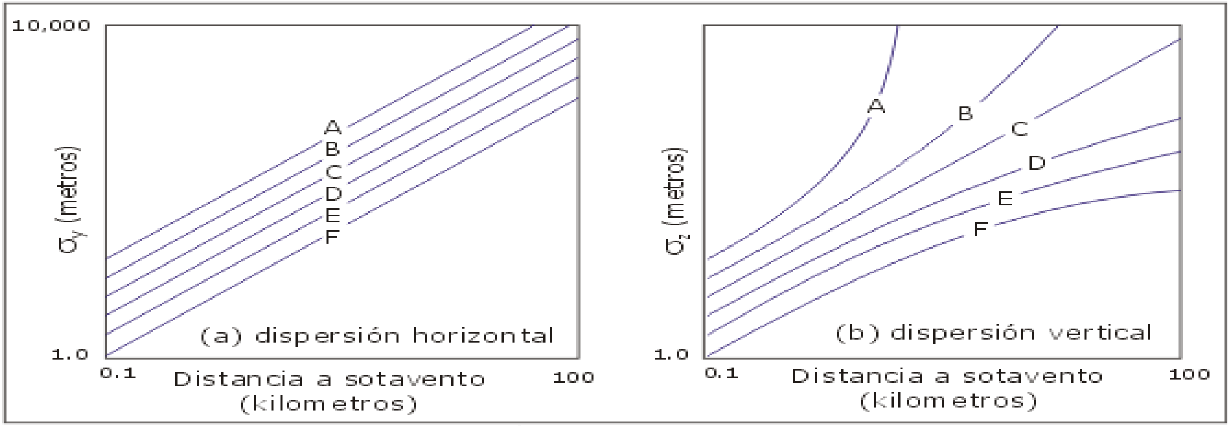
Coeficientes de dispersión (δy) y (δz): Curvas de Pasquill - Guifford

En los modelos gaussianos, la dispersión de la pluma lejos de la línea central está representada por los coeficientes de dispersión, δy (horizontal) y δz (vertical).

La dispersión de la pluma depende de la clasificación de estabilidad asignada al escenario bajo estudio. La figura muestra los valores que los modelos gaussianos emplean para la dispersión horizontal y vertical según la clasificación de la estabilidad y la distancia a sotavento de la chimenea.

Como es de suponer, los coeficientes de dispersión horizontal aumentan a medida que las condiciones atmosféricas se hacen menos estables, es decir de F a A.

Al comparar los 2 gráficos, se observa que la clasificación de la estabilidad afecta la dispersión vertical más radicalmente que la horizontal. Los gráficos de los coeficientes de dispersión se pueden usar para obtener δy y δz empleados como datos de entrada para la ecuación de distribución gausiana.



Ejercicio 1: Emisión Dióxido de Carbono CO_2

El gas que se libera de un automóvil por el tubo de escape contiene 1.4 volúmenes de CO. ¿Cuál es la concentración de CO expresado en $\mu g/m^3$ a 25°C y 1 atm de presión?

Conversión de unidades: Relación entre $\mu g/m^3$, ppm, y volumen (%):

$\mu g/m^3$ = ppm × peso molecular × 1000/24.5 (a 25°C y 1 atm de presión)

$\mu g/m^3$ = ppm × peso molecular × 1000/22.41 (a 0°C y 1 atm de presión)

1 % volumen = 10^4 ppm

Solución:

Concentración de CO en $\mu g/m^3$ = [14.000 ppm x 28 g/mol x 1000] / 24.5

Respuesta: 16×10^6 $\mu g/m^3$ de CO = 16×10^3 mg/m^3

Reflexión: La concentración del CO del gas del escape del vehículo se verá reducida al entrar a la atmósfera. La norma de calidad de aire ambiente en el Ecuador es de 10.000 $\mu g/m^3$ (TULAS, 2002).

Ejercicio 2: Concentración de Ozono

La concentración de ozono es 150 $\mu g/m^3$ en una estación urbana de monitoreo. Determinar si esta concentración excede el valor permitido encontrado en las normas de calidad del aire.

El valor de la norma está expresado en ppm: 0.06125 (tiempo muestreo 8h)

Solución:

Peso molecular del Ozono (O_3): 16 x 3 = 48

Concentración de Ozono: $150\ \mu g/m^3 = \dfrac{ppm \times 48 \times 1000}{24.5}$

$$ppm = (150 * 24.5) / (1000 * 48) = 0.0765\ ppm$$

Por lo que se puede concluir que el ozono está excediendo la norma ambiental, causando contaminación.

Ejercicio 3: Velocidad de caída de partículas en el aire

Determine la velocidad de asentamiento de una nube de niebla compuesta de partículas de 1 μm (micra) en el aire a 27 º C.

Solución: Las características de asentamiento son una de las más importantes propiedades de las partículas, toda vez que el asentamiento es el mayor proceso natural para remover partículas de la atmósfera. Partículas en suspensión varían entre 1 a 20 μm y permanecen en la atmósfera largos períodos.

Aplicando la ecuación de la ley Stokes, donde:

V_t = velocidad final de asentamiento, m/s
g = aceleración de la gravedad, 9.81 m/s²
ρp = densidad de la partícula, 2.2 Kg./m³
ρa = densidad del aire, aprox. 1.2 Kg./m³ a nivel del mar
d p = diámetro de la partícula, m.
μ = viscosidad del aire, 1.85 x 10 ⁻⁵ Kg./m.s (a 27 º C)

$$v_t = \frac{g(\rho_p - \rho_a)d_p^{\,2}}{18\mu}$$

$$N_{Re} = \frac{vdp}{\mu}$$

$$v_t = \frac{9.81 m/s^2 (2.2 - 1.2) x10^3 Kg/m^3 (1x10^{-6} m)^2}{18(1.85x10^{-5})Kg/m.s}$$

V_t = 2.95 x 10 ⁻⁵ m/s. Chequear Número de Reynolds, N_{Re} = 1.91 x 10 ⁻⁶ « 1 Ok. Sí se aplica la ley de Stokes. Flujo laminar.

Ejercicio 4: Descargas de Hidrocarburos (HC)

Calcular la descarga de HC procedente de una población de 1.5 millones de habitantes considerando que:

a) **Un total de 250.000 vehículos recorren al año 15.000 Km. cada uno emitiendo 1 g/Km.**

b) **El consumo per cápita de pinturas sintéticas es 2 litros/año con contenido en HC de 1Kg./litro**

c) **El consumo per cápita de HC procedentes de disolventes de limpieza es de 1Kg/año.**

Solución:

a) Vehículos: $250.000\ \text{Veh.} \times \frac{15.000\ \text{Km.}}{\text{Veh.}} \times \frac{1\ \text{g/Km.} \times 1\ \text{Ton}}{10^{6}\ \text{g}} = 3.750\ \text{Ton.}$

b) Pinturas: $1.5 \times 10^{6}\ \text{hab.} \times \frac{1\ \text{Kg.}}{\text{litro}} \times \frac{2\ \text{litros}}{\text{hab.}} \times \frac{1\ \text{Ton}}{10^{3}\ \text{Kg.}} = 3.000\ \text{Ton}$

c) Disolventes: $1.5 \times 10^{6}\ \text{hab.} \times \frac{1\ \text{Kg.}}{\text{hab.}} \times \frac{1\ \text{Ton}}{10^{3}\ \text{Kg.}} = 3.000\ \text{Ton}$

Total = (3.750 + 3.000 + 3.000) Ton. = 9.750 Ton/1000 Kg./Ton/1’500.000 hab.
= 6,50 Kg. per cápita/año.

Ejercicio 5: Cálculo de emisiones vehiculares

Un vehículo típico promedio emite 4 g/Km. de oxido nítrico (NO), y recorre aproximadamente 20.000 Km./año.

1. Estime la cantidad de oxido nítrico emitida por cada vehículo anualmente.
2. Considere que en un país hay 1 millón de vehiculos. Calcule el total de emisiones de (NO) generadas por el transporte vehicular en toneladas por año.

Solución:

1. Oxido nítrico anual: 4 g/Km. x 20.000 Km./año x 1 Kg./10^3 g = 80 Kg./año. Vehículo
2. Emisión total: 1’000.000 veh. x 80 Kg./año. veh. x 1 Ton./1000 Kg. =80 x 10^3 Ton./año

Ejercicio 6: Dispersión de contaminantes

El fuego en un botadero abierto emite gas a 3 g/s de NOx.

a) Determinar la concentración C (x,y,z) de NOx a 2 Km. aguas abajo si la velocidad del viento u = 5 m/s y la clase de estabilidad es D.

b) ¿Cuál es la concentración máxima a nivel del terreno y a 50 metros sobre el terreno?

Solución:

a) Se aplica ecuación de modelo gaussiano (1)

$$C(x,0,0) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z}$$

De las curvas de Pasquill y Guifford, para x = 2 Km.

δy (horizontal) = 150m, δz (vertical) = 50m.

Reemplazando en la ecuación (1):

Resp.: C (2Km,0,0) = 3 x 10^6/ ¶ x 150 x 50 x 5 = 25.5 μg NOx/m^3

b) Reemplazando en ecuación (2):

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z^2}{\sigma_z^2}\right)\right]$$

Resp.: C (x,0,50m) = (3 x 10^6/ ¶ x 150 x 50 x 5) exp[-1/2(z/ δz $)^2$] = 15.5 μg NOx/m^3

Contaminación del Suelo / Manejo de Desechos Sólidos

- Contaminación del suelo
- Tipos de desechos sólidos
- Composición
- Propiedades físicas, químicas y biológicas
- Sistemas de recolección
- Disposición final
- Botaderos y rellenos sanitarios
- Control de los sitios de disposición final

Contaminación del suelo

- La contaminación del suelo es la degradación de la superficie terrestre a través del mal uso del suelo por prácticas agrícolas pobres, la explotación mineral, la acumulación de desperdicios industriales, y el indiscriminado manejo de los desechos sólidos urbanos.
- Dicha acumulación puede darse a nivel superficial (en el caso de desechos sólidos) o a nivel del subsuelo (en el caso de líquidos percolados a partir de desechos sólidos o de derrames de sustancias tóxicas).

Desechos sólidos: Definición

Son aquellos materiales sólidos o semisólidos que el poseedor ya no considera de suficiente valor como para ser retenidos.

Es todo sólido, líquido o gas confinado que ha dejado de ser útil para el ser humano

Tipos y composición de desechos

- ☐ **Doméstico**
- ☐ **Comercial**
- ☐ **Institucional**
- ☐ **Construcción y demolición**
- ☐ **Servicios municipales**
- ☐ **Plantas de tratamiento**
- ☐ **Industrial**
- ☐ **Agrícola**

Composición:

- **Fracción Orgánica** (restos alimenticios, papel, cartón, plásticos, textiles, caucho y cuero)
- **Fracción Inorgánica** (vidrio, hojalatas, aluminio, otros metales, polvo)

Desechos domésticos/ comerciales y peligrosos

Desechos domésticos y comerciales

- Consisten en desechos sólidos orgánicos e inorgánicos de zonas residenciales y de establecimientos comerciales
- Residuos orgánicos típicos: comida, papel, cartón, plásticos, textiles, cuero, madera, residuos de jardín.
- Residuos inorgánicos: vidrio, cerámica, latas de aluminio, metales férreos, suciedad.

Desechos peligrosos

- Sustancias inflamables
- Corrosivos
- Reactivos
- Tóxicos
- Cancerígenos

Residuos institucionales

- Residuos sólidos de los centros gubernamentales, escuelas, colegios, cárceles y hospitales
- Excluyendo a los residuos de las cárceles y hospitales, los residuos institucionales son similares a los domésticos.
- Los desechos sanitarios deben ser manipulados y procesados separadamente de otros desechos sólidos

Desechos de la construcción

- ❑ Son los desechos de la construcción, remodelación y arreglo de viviendas, edificios.
- ❑ Desechos difíciles de cuantificar: piedra, hormigón, ladrillo, madera, grava, piezas de grifería y electricidad. Pueden incluir vidrios rotos, plásticos y acero de reforzamiento

Desechos de servicios municipales

Son los desechos de la comunidad, producto de la operación y mantenimiento de las instalaciones municipales:

- barrido de calles,
- tachos de basura pública,
- desechos de mercados y parques,
- residuos de sumideros,
- animales muertos y
- vehículos abandonados.

Desechos de plantas de Tratamiento

- Fangos del tratamiento del agua potables y aguas residuales.
- Residuos de la incineración de madera, carbón, coque.

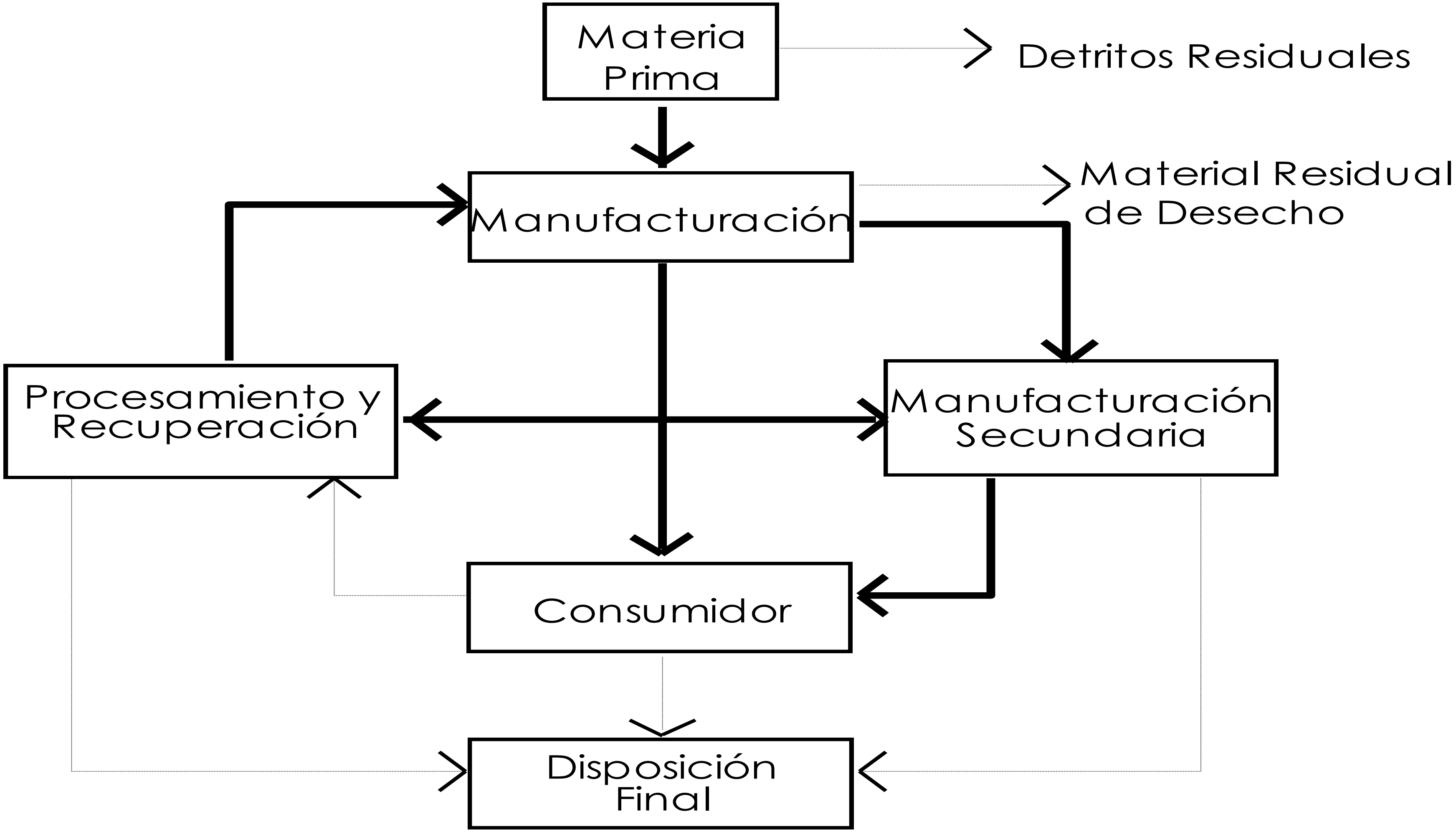
Residuos industriales

- Metales, plásticos, papel, madera, residuos de químicos orgánicos e inorgánicos, carnes, grasas, huesos, vísceras, vegetales, frutas, cáscaras, cereales, tejidos, fibras, resinas, vidrio, adhesivos, tintas, pegamentos, grapas, asfalto, alquitrán, cemento, arcilla, yeso, cuero, aceite, chatarra, escoria, arena, disolventes, lubricantes y grasas.

Desechos Agrícolas

- Residuos de las actividades de plantar y cosechar vegetales, producción de leche, crianza de animales, operación de ganadería

Esquema de Generación de desechos



Gestión de los desechos sólidos municipales (1)

- La gestión de desechos municipales es uno de los retos ambientales más importantes a enfrentar debido a la creciente urbanización y el desarrollo industrial.
- La cantidad de desechos producidos por la población, instituciones privadas y públicas, negocios e industrias crece conjuntamente con la explosión demográfica experimentada por los grandes centros urbanos. La producción anual de desechos municipales por habitante varía en todo el mundo, de 200 hasta 800 kilos, dependiendo del nivel de desarrollo del país (CINTEC, 2002).
- Estas importantes cantidades de desechos se manejan frecuentemente de manera inadecuada, a través de botaderos sin protección ni control que no toman en cuenta los aspectos ambientales, sociales y económicos de las ciudades.

Gestión de los desechos sólidos municipales (2)

- Estas prácticas:
    - constituyen un peligro para la salud pública y las condiciones sanitarias en general,
    - amenazan la calidad del medio ambiente al presentar riesgos de contaminación de las aguas subterráneas, las fuentes de agua potable, el aire y los suelos,
    - ponen en peligro el desarrollo de asentamientos humanos cercanos y el futuro uso de esas áreas,
    - estimulan el desperdicio de recursos renovables.
- La Organización de las Naciones Unidas (ONU) estima que más de 5 millones de personas mueren cada año de enfermedades relacionadas con una gestión inadecuada de desechos municipales

Generación Anual de Residuos Domésticos en países industrializados

PAÍS	RESIDUOS DOMÉSTICOS ANUALES (TONELADAS)	EQUIVALENCIA POR PERSONA (KILOGRAMOS)
Australia	10.000.000	690
Bélgica	3.082.000	313
Canadá	12.600.000	525
Dinamarca	2.046.000	399
Finlandia	1.200.000	399
Francia	15.500.000	288
Gran Bretaña	15.816.000	282
Italia	14.041.000	246
Japón	40.225.000	288
Países Bajos	5.400.000	391
Nueva Zelanda	1.528.000	488
Noruega	1.700.000	415
España	8.029.000	214
Suecia	2.500.000	300
Suiza	2.146.000	336
Estados Unidos	200.000.000	875
DESECHOS PRODUCIDOS EN UN AÑO		

Tabla 1: Composición típica (% en peso) de los desechos sólidos

Ref.: Gestión Integral de Residuos Sólidos, G. Tchobanoglous, H. Theisen, S. Vigil, 1998

Categoría de Desecho	Porcentaje Por Peso (%)	
	Rango	**Típico**
Residencial y Comercial, excluyendo desechos especiales y peligrosos	50 - 75	62
Desechos especiales (artículos voluminosos, electrodomésticos, baterías, llantas)	3 - 12	5
Desechos Peligrosos	0.01 - 1.0	0.1
Institucional	3 - 5	3.4
Construcción y Demolición	8 - 20	14
Servicio Municipal: limpieza de callejones y calles	2 - 5	3.8
Servicio Municipal: movimiento de tierra y tala de árboles	2 - 5	3
Servicio Municipal: parques y áreas recreacionales	1.5 - 3	2
Servicio Municipal: limpieza de canales	0.5 - 1.2	0.7
Lodos de Plantas de Tratamiento	3 - 8	6
TOTAL		**100 %**

Tabla 2: Distribución de componentes en RSU domésticos por países/nivel ingresos

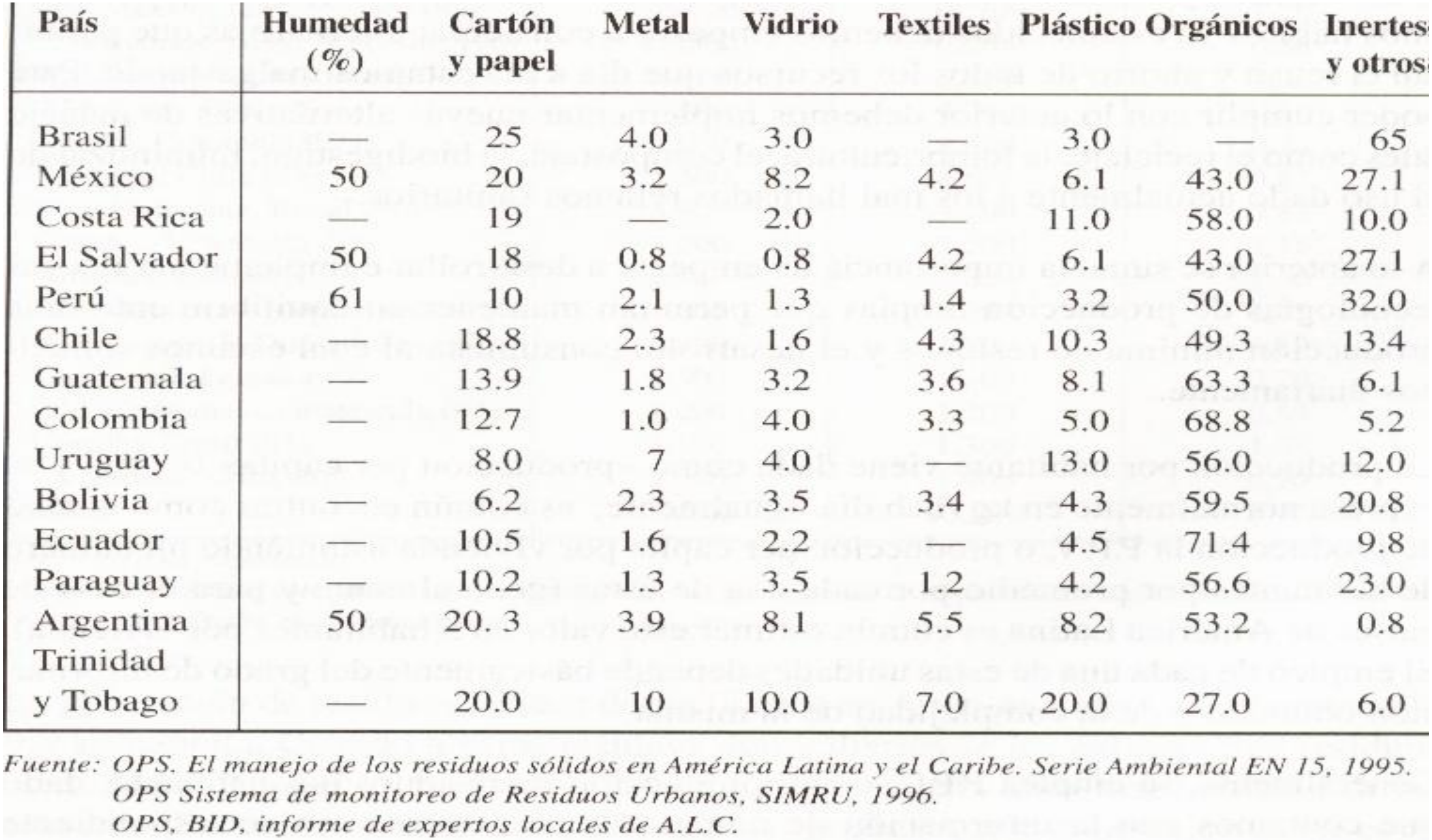
(excluyendo los materiales reciclados)

Ref.: Gestión Integral de Residuos Sólidos, G. Tchobanoglous, H. Theisen, S. Vigil, 1998

COMPONENTE	**PAISES DE BAJOS INGRESOS**	**PAISES DE MEDIANOS INGRESOS**	**PAISES DE ALTOS INGRESOS**	**USA**
COMPONENTES ORGANICOS				
Residuos de comida	40-85	20-65	6-30	6-8
Papel	1-10	8-30	5-15	25-40
Cartón				3-10
Plásticos	1-5	2-6	2-8	4-10
Textiles	1-5	2-10	2-6	0-4
Neumaticos	1-5	1-4	0-2	0-2
Cuero			0-2	0-2
Residuos de jardín	1-5	1-10	10-20	5-20
Madera			1-4	1-4
Orgánicos misceláneos	---	---	---	---
COMPONENTES INORGANICOS				
Vidrio	1-10	1-10	4-12	4-12
Latas de hojalata	---	---	2-8	2-8
Aluminio	1-5	1-5	0-1	0-1
Otros metales	---	---	-4	1-4
Suciedad, cenizas	1-40	1-30	0-10	0-6

Tabla 3: Composición de Residuos Sólidos Municipales en países de Latinoamérica (% en peso)

Ref.: Manejo y disposición de Residuos Sólidos Urbano, ACODAL, Samuel I. Pineda, 1998.



País	Humedad (%)	Cartón y papel	Metal	Vidrio	Textiles	Plástico	Orgánicos	Inertes y otros
Brasil	—	25	4.0	3.0	—	3.0	—	65
México	50	20	3.2	8.2	4.2	6.1	43.0	27.1
Costa Rica	—	19	—	2.0	—	11.0	58.0	10.0
El Salvador	50	18	0.8	0.8	4.2	6.1	43.0	27.1
Perú	61	10	2.1	1.3	1.4	3.2	50.0	32.0
Chile	—	18.8	2.3	1.6	4.3	10.3	49.3	13.4
Guatemala	—	13.9	1.8	3.2	3.6	8.1	63.3	6.1
Colombia	—	12.7	1.0	4.0	3.3	5.0	68.8	5.2
Uruguay	—	8.0	7	4.0	—	13.0	56.0	12.0
Bolivia	—	6.2	2.3	3.5	3.4	4.3	59.5	20.8
Ecuador	—	10.5	1.6	2.2	—	4.5	71.4	9.8
Paraguay	—	10.2	1.3	3.5	1.2	4.2	56.6	23.0
Argentina	50	20. 3	3.9	8.1	5.5	8.2	53.2	0.8
Trinidad y Tobago	—	20.0	10	10.0	7.0	20.0	27.0	6.0

Fuente: OPS. El manejo de los residuos sólidos en América Latina y el Caribe. Serie Ambiental EN 15, 1995.
OPS Sistema de monitoreo de Residuos Urbanos, SIMRU, 1996.
OPS, BID, informe de expertos locales de A.L.C.

Sistema de manejo de desechos sólidos

El sistema de manejo de los residuos se compone de cuatro sub sistemas:

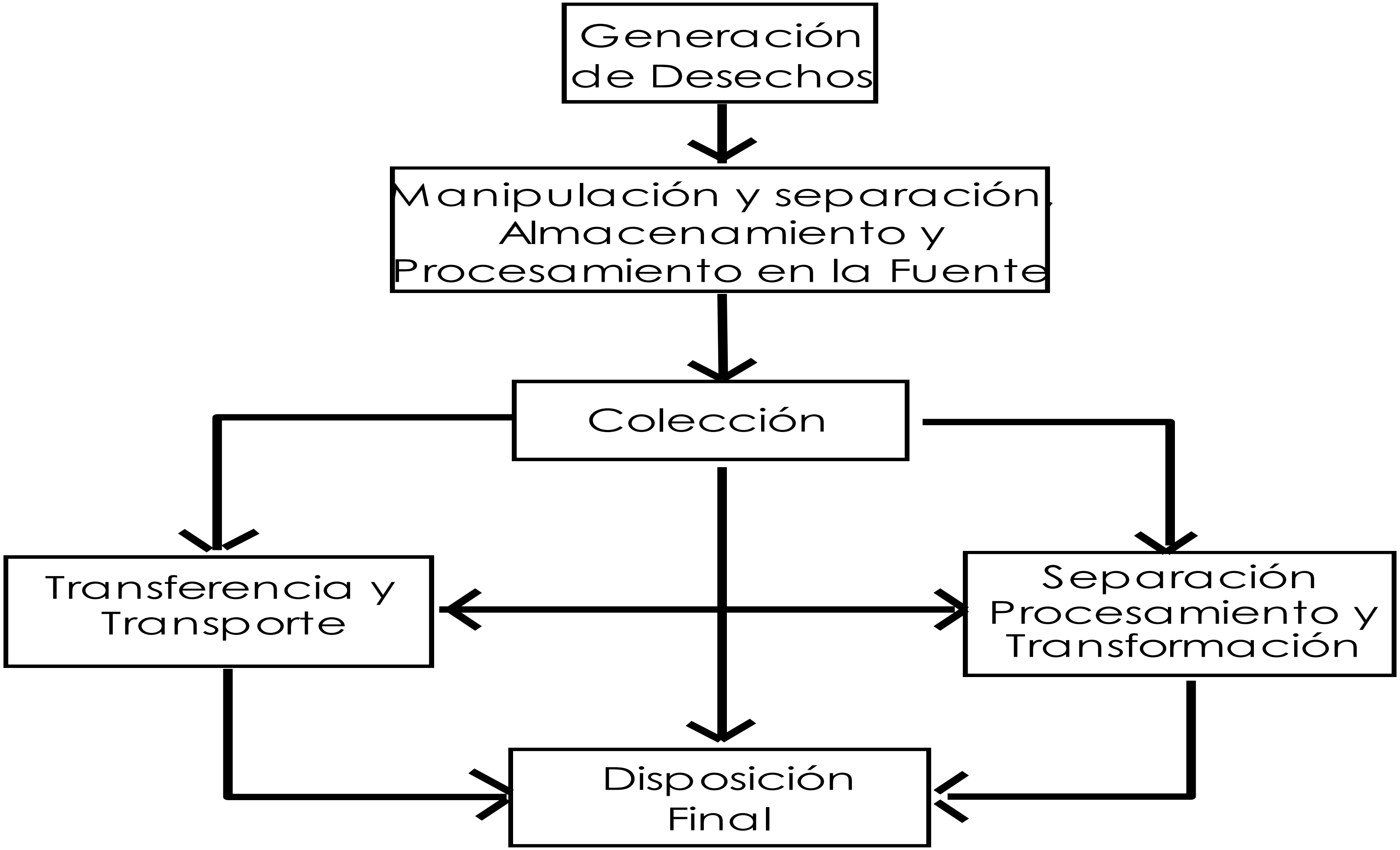
a) **Generación :** Cualquier persona u organización cuya acción cause la transformación de un material en un residuo. Una organización usualmente se vuelve generadora cuando su proceso genera un residuo, o cuando lo derrama o cuando no utiliza mas un material.

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 limites 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.

Elementos funcionales del manejo de desechos



Factores que afectan la generación de los RSU

Actividades de reciclaje y reducción

Actitud pública y legislación

- Hábitos de consumo y estilo de vida.
- Educación

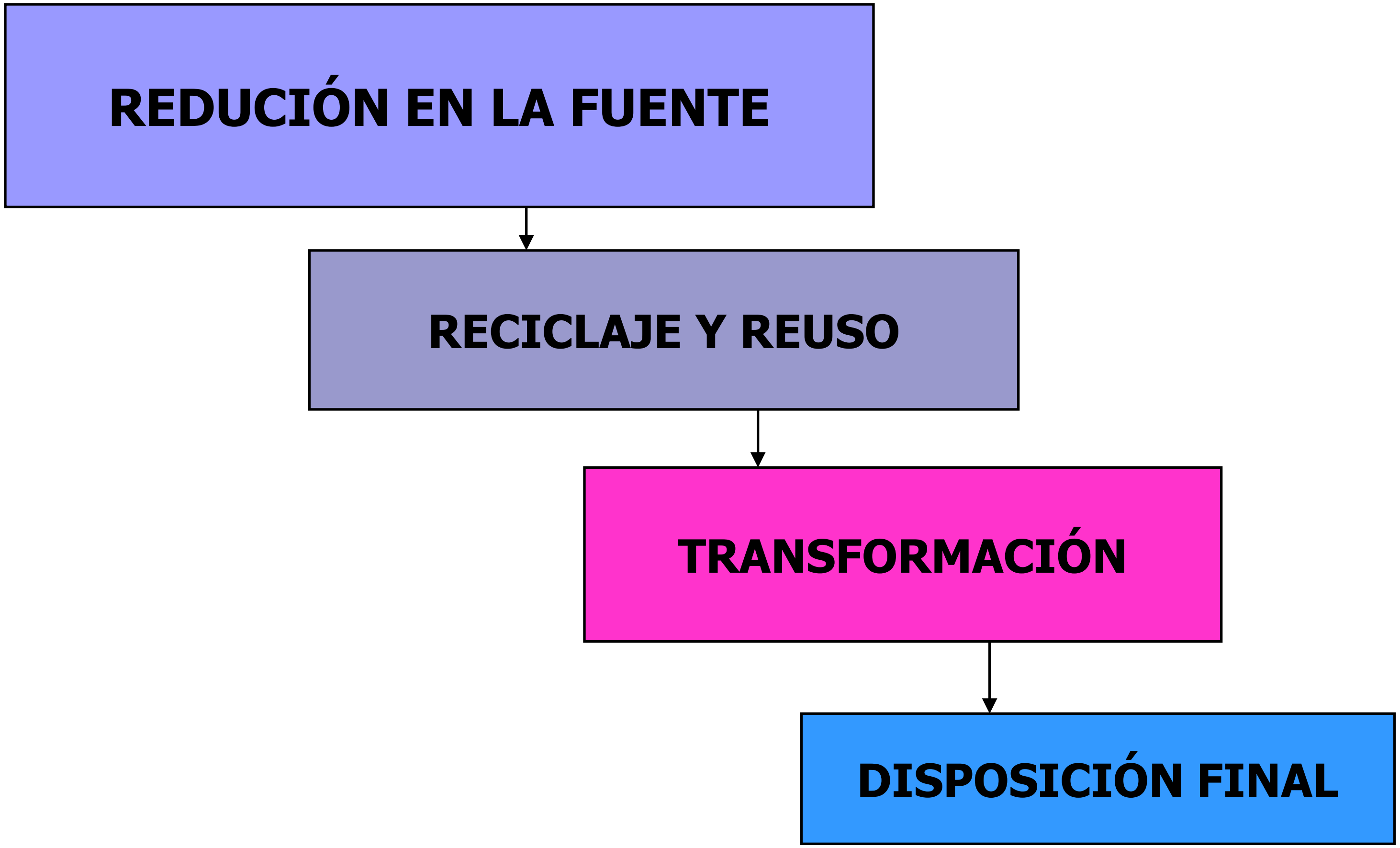
Factores físicos y geográficos

- Localización geográfica.
- Temporada del año.
- Frecuencia de recolección.

Manejo Integrado de Desechos Sólidos

- Como resultado de la evaluación de los elementos funcionales, conexiones e interfaces han sido comparadas para efectos de eficiencia y economía, la comunidad empieza a desarrollar un Sistema Integrado de Manejo de Desechos Sólidos.
- El **Manejo Integrado de Desechos Sólidos** puede ser definido como la selección y aplicación de técnicas, tecnologías y programas de manejo adecuados para alcanzar metas y objetivos específicos en el manejo de desechos.
- Para poder alcanzar un logro en este manejo integrado de desechos sólidos, es necesario implementar una jerarquía en las actividades de manejo de desechos:
    1. Reducción en la Fuente
    2. Reciclaje
    3. Transformación de los Desechos
    4. Disposición Final (Rellenos Sanitarios)

Esquema de la Escala Jerárquica del Manejo Integrado de Desechos



REDUCIÓN EN LA FUENTE

RECICLAJE Y REUSO

TRANSFORMACIÓN

DISPOSICIÓN FINAL

Materiales habitualmente separados de los RSU (1)

MATERIAL RECICLABLE	TIPOS DE MATERIALES
Aluminio	Latas de cerveza y refrescos
Papel periódico usado	Periódicos de quioscos o entregados a casa
Papel de alta calidad	Papel de informática, hojas de papel bond, recortes
Papel mezclado	Varias mezclas de papel limpio, incluyendo papel periódico, revistas, y papel de fibras largas blanco o coloreado
Polietileno de alta densidad	Fundas de leche, botellas de agua, aceite
Polietileno de baja densidad	Empaques de alimentos, rollos, fundas de empaque,
Polietileno tereftalato	Botellas de refrescos, película fotográfica

Materiales habitualmente separados de los RSU (2)

MATERIAL RECICLABLE	TIPO DE MATERIAL
Polipropileno	Botellas transparentes, tarrinas, cajas, fundas de tiendas, tapas.
Poliestireno	Espuma de empaques, espuma foam, envases para comida rápida, platos para microondas,
Multilaminados	Empaques de alimentos, envases de leche
Vidrio	Botellas, recipientes de vidrio, restos de ventanas
Chatarra	Latas de hojalata, electrodomésticos, motores, autos viejos
Residuos de jardín	Utilizados para compost
Fracción orgánica	Utilizado para preparar compost
Aceite residual	Reprocesado o como combustible
Baterías	Reutilización del plomo
Neumáticos	Suela, objetos domésticos
Madera	Pallet. Elaboración de carbón

Reciclaje de papel, aluminio, plástico

- Se reciclan cartones, papel periódico, libros, papel de oficina.
- Se elabora papel kraft, papel periódico.
- Latas de aluminio: bebidas gaseosas, cervezas.
- Aluminio secundario: marcos de ventanas, contrapuertas, paneles, canalones.
- Mediante reciclaje de plásticos se producen: fundas de basura, recipientes de limpieza, tanques
- En 1999 se reciclaban mas de 70 millones de kilos de botellas de plástico. Se recicla menos del 5%

Situación de los desechos sólidos municipales en América Latina

En América Latina se producen 40 millones de toneladas anuales de desechos de los cuales solamente 5 millones reciben tratamiento, es decir el 12.5% del total.

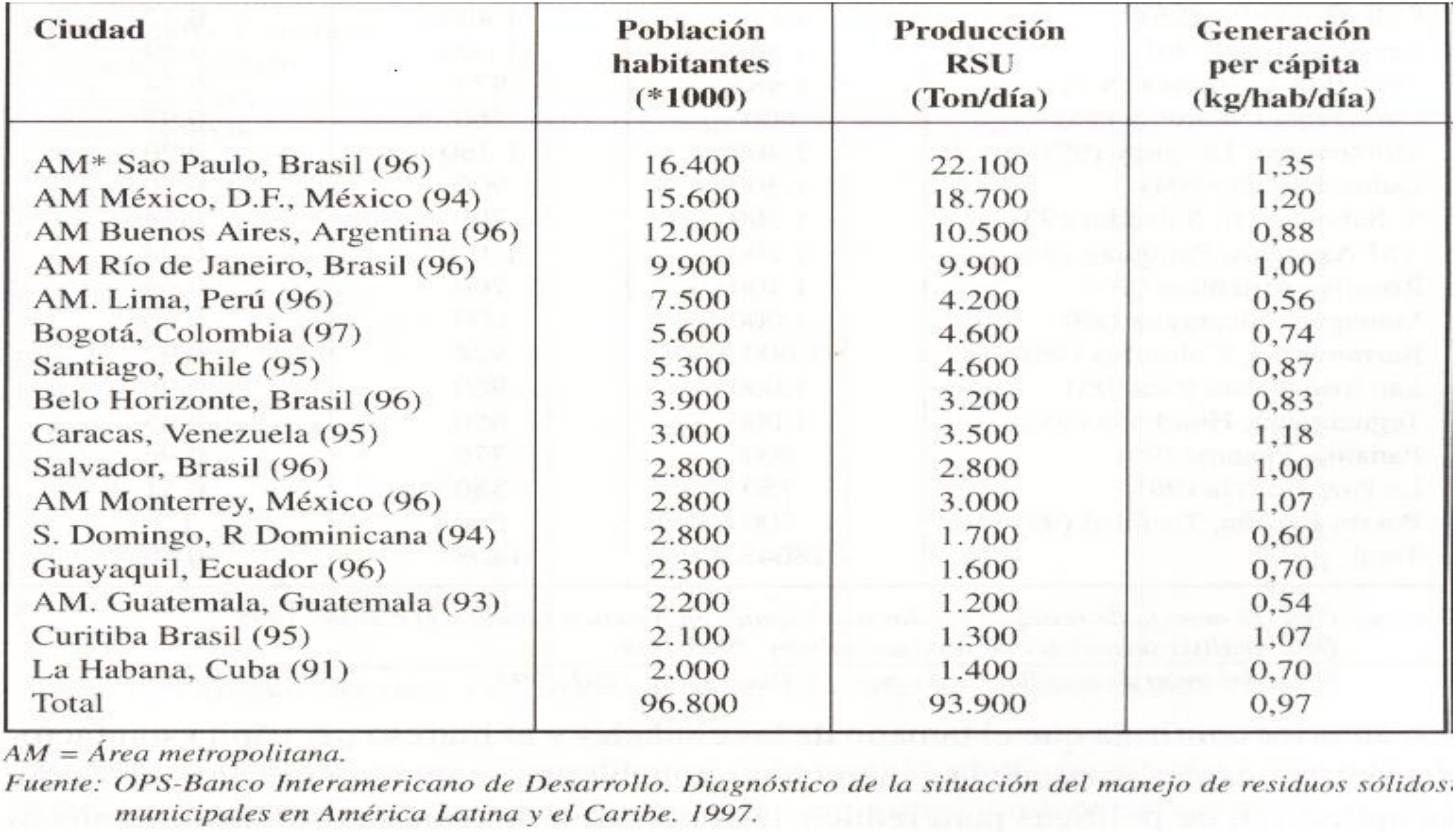
Acorde a la actual tendencia de urbanización y al alto índice de crecimiento poblacional, la generación de desechos *per capita* en ciudades capitales de América Latina aumenta, entre otras cosas porque no se cuenta con políticas y programas locales claros para la prevención y minimización.

Los problemas de corto y mediano plazo (cobertura del servicio de aseo, tecnologías de recolección, vida útil y construcción de rellenos sanitarios) tienen mayor prioridad para las municipalidades latinoamericanas que las de largo plazo (cambio cultural, prevención) entre otras razones, porque los recursos económicos disponibles no son los suficientes y porque a nivel político no se han dimensionado realmente las consecuencias del consumo actual.

Ref.: ACCIONES DE LAS AUTORIDADES LOCALES A FAVOR DE LA PREVENCIÓN DE DESECHOS MUNICIPALES EN AMERICA LATINA* Seminario de la Red 6 de Medio Ambiente Urbano – URBAL - Málaga, España, Mayo de 2003

Tabla 4: Generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) per cápita en ciudades latinoamericanas

Ref.: Manejo y disposición de Residuos Sólidos Urbano, ACODAL, Samuel I. Pineda, 1998.



Ciudad	Población habitantes (*1000)	Producción RSU (Ton/día)	Generación per cápita (kg/hab/día)
AM* Sao Paulo, Brasil (96)	16.400	22.100	1,35
AM México, D.F., México (94)	15.600	18.700	1,20
AM Buenos Aires, Argentina (96)	12.000	10.500	0,88
AM Río de Janeiro, Brasil (96)	9.900	9.900	1,00
AM. Lima, Perú (96)	7.500	4.200	0,56
Bogotá, Colombia (97)	5.600	4.600	0,74
Santiago, Chile (95)	5.300	4.600	0,87
Belo Horizonte, Brasil (96)	3.900	3.200	0,83
Caracas, Venezuela (95)	3.000	3.500	1,18
Salvador, Brasil (96)	2.800	2.800	1,00
AM Monterrey, México (96)	2.800	3.000	1,07
S. Domingo, R Dominicana (94)	2.800	1.700	0,60
Guayaquil, Ecuador (96)	2.300	1.600	0,70
AM. Guatemala, Guatemala (93)	2.200	1.200	0,54
Curitiba Brasil (95)	2.100	1.300	1,07
La Habana, Cuba (91)	2.000	1.400	0,70
Total	96.800	93.900	0,97

AM = Área metropolitana.

Fuente: OPS-Banco Interamericano de Desarrollo. Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. 1997.

Propiedades físicas (1)

- **Peso específico**
- **Contenido de humedad**
- **Tamaño de partícula**
- **Distribución del tamaño**
- **Capacidad de campo**

- **Peso específico (Kg./m^3):** peso del material por unidad de volumen. Compactados y no compactados. Sirve para valorar las cantidades de RSU. Residuos de comida (291), papel (89), plásticos (65), cuero (160), madera (237), metales (320), vidrio (196)
- **Contenido de humedad (%):** oscila entre 15 - 40% según la composición de los desechos, la estación del año, y las condiciones de humedad, meteorológicas, particularmente la lluvia.

Propiedades físicas (2)

- **Tamaño y distribución de las partículas:**

  Es una consideración importante dentro de la recuperación de materiales, especialmente con medios mecánicos, como cribas y separadores magnéticos. El tamaño medio de los residuos oscila en el rango de 178 – 203 mm.

- **Capacidad de campo:**

  Es la cantidad total de humedad que puede ser retenida por una muestra de residuo sometida a la acción de la gravedad.

  Tiene importancia crítica para determinar la cantidad la formación de la lixiviación en los vertederos. La capacidad de campo de los residuos no seleccionados y no compactados de origen doméstico y comercial oscila en el 50%.

Tabla 5: Valores típicos de Peso Específico y Contenido de Humedad

Ref.: Gestión Integral de Residuos Sólidos, G. Tchobanoglous, H. Theisen, S. Vigil, 1998

Tipo de desecho	Peso específico (Kg./m³)		Contenido de Humedad (% por peso)	
	Rango	Típico	Rango	Típico
Residencial (no compactado)				
Residuos de comida (mezclado)	131 – 481	291	50 - 80	70
Papel	42 – 131	89	4 - 10	6
Cartón	42 – 80	50	4 - 8	5
Plásticos	42 – 131	65	1 - 4	2
Textiles	42 – 101	65	6 - 15	10
Caucho	101 – 202	130	1 - 4	2
Cuero	100 – 200	160	8 - 12	10
Desechos de Jardín	59 – 225	100	30 - 80	60
Madera	131 – 320	240	15 - 40	20
Vidrio	160 – 481	195	1 - 4	2
Hojalatas	50 – 160	90	2 - 4	3
Aluminio	65 – 240	160	2 - 4	2
Otros metales	131 – 1151	320	2 - 4	3
Suciedad, Polvo, etc.	320 – 1000	480	6 - 12	8
Cenizas	650 – 831	745	6 - 12	6

Ejercicio 7:
Determinación de contenido de humedad

Estime el contenido de humedad de una muestra de desechos sólidos con la siguiente composición:

Solución:

1. **Haga una tabla de cálculo para determinar los pesos seco de la muestra de desechos usando los datos típicos de contenido de humedad de componentes de desechos sólidos municipales.**

TABLA DE CALCULO

Componente	**Porcentaje en peso (%)** Dato inicial **a**	**Contenido de Humedad (%)** Valores Típicos de Tabla 5 **H**	**Peso Seco *** (Kg) Cálculo de fórmula **b**
Desechos de comida	15	70	4.5
Papel	45	6	42.3
Cartón	10	5	9.5
Plásticos	10	2	9.8
Residuos Jardín	10	60	4
Madera	5	20	4
Latas	5	3	4.85
Total	100%		**78.95**

(*) Formula de contenido de humedad, H (%) = [(a-b)/a] x 100
Donde: a = peso inicial de la muestra según se entrega (Kg.)
b = peso de la muestra después de secarse a 105 oC (Kg.)

Despejando de la fórmula (*):
b = a - (a x H)/100

2. **Determine el contenido de humedad usando la ecuación dada y los datos de la Tabla obtenida en el punto 1.**

Contenido de humedad (%) = [(100 - 78.95)/100] x 100 = **21.05%**

Propiedades de los RSU

- Estos parámetros son de vital importancia para evaluar las opciones de procesamiento y recuperación.
- Las propiedades a determinar:
  - Análisis físico
  - Punto de fusión de las cenizas
  - Análisis elemental
  - Contenido energético

Análisis físico

- **Humedad**: pérdida de humedad cuando se calienta a 105 ° C durante una hora
- **Materia volátil**: pérdida de peso adicional con la ignición a 950 ° C en un crisol cubierto
- **Carbono fijo:** rechazo combustible dejado después de retirar la materia volátil
- **Ceniza**: peso del rechazo después de la incineración en un crisol abierto

Análisis elemental

- Determina el contenido % de:
  - **Carbono**
  - **Hidrógeno**
  - **Oxígeno**
  - **Nitrógeno**
  - **Azufre**
  - **Ceniza**
  - **Halógenos (Cl, F, Br, I)**
- Depende del tipo de desecho
- Se usa para definir la mezcla correcta de materiales residuales necesaria para conseguir relaciones C/N aptas para los procesos de conversión biológica.

Tabla 6: Contenido energético típico de los RSU

Ref.: Gestión Integral de Residuos Sólidos, G. Tchobanoglous, H. Theisen, S. Vigil, 1998

Parámetro de gran importancia para establecer la opción de utilizar los desechos como combustibles. Se expresa en Kcal./Kg.

	Valores típicos
Residuos de comida	1.111
Papel	4.000
Plásticos	7.778
Textiles	4.167
Goma	5.556
Cuero	4.167
Vidrio	33
Latas	167

Tabla 7: Datos típicos de un Análisis Elemental de residuos domésticos

Ref.: Gestión de Residuos Sólidos, G. Tchobanoglous, H. Theisen, S. Vigil, 1998

Componente	C	H	O	N	S	Cenizas
Residuos de comida	48.0	6.4	37.6	2.6	0.4	5
Papel	43.5	6.0	44.0	0.3	0.2	6
Cartón	44.0	5.9	44.6	0.3	0.2	5
Plásticos	60.0	7.2	22.8			10
Textiles	55.0	6.6	31.2	4.6	0.15	2.5
Goma	78.0	10.0		2.0		10
Cuero	60.0	8.0	11.6	10.0	0.4	10
Residuos de jardín	47.8	6.0	38.0	3.4	0.3	4.5
Madera	49.5	6.0	42.7	0.2	0.1	1.5
Vidrio	0.5	0.1	0.4	0.1		98.9
Metales	4.5	0.6	4.3	0.1		90.5
Suciedad, cenizas	26.3	3.0	2.0	0.5	0.2	68.0

Ejercicio 8:
Estimación de Peso Específico

Estime el Peso Específico de una muestra de 1000 Kg. de desechos sólidos "según se entrega" con la composición del ejemplo anterior.

Solución:

a) Elabore una tabla de cálculo para determinar el volumen de la muestra de desechos sólidos según se entrega usando los datos de valores típicos de Peso Específico (Tabla No.3 de Notas de Clase).

TABLA DE CALCULO

Componente	**Pocentaje** en peso (%) Dato inicial **M**	**Peso Específico (Kg./m3)** Valores Típicos de Tabla 5 **P**	**Volumen *** (m3) **V = M / P**
Desechos de comida	15	290	0.52
Papel	45	85	5.29
Cartón	10	50	2.00
Plásticos	10	65	1.54
Residuos Jardín	10	105	0.95
Madera	5	240	0.21
Hojalatas	5	90	0.56
Total	100%		**11.07**

* Tomando como referencia una muestra de 1000 Kg. de desechos sólidos

b) Calculo del peso específico: P = 1000 Kg./11.07 m3 = 90.37

Producción de olores

- Se producen por la degradación anaerobia de los componentes orgánicos de fácil descomposición.
- Productos de la descomposición:
  - **H_2S (olor a huevos podridos)**
  - **Fe S (color oscuro de la materia descompuesta)**
  - **Metilmercaptano**
  - **Aminas**
  - **Diaminas**

Transformaciones de los desechos sólidos

Qué procesos de transformación se pueden utilizar para la gestión de los RSU (naturales o con la participación del hombre).

- Transformaciones físicas
- Transformaciones químicas
- Transformaciones biológicas

TRANSFORMACIONES FISICAS

- ❑ Separación manual/mecánica de los componentes
- ❑ Reducción mecánica del volumen: compactación
- ❑ Reducción de tamaño: desfibrar, triturar, moler.

Transformaciones químicas

- Combustión (oxidación química): la materia orgánica se transforma en CO2, agua, cenizas y calor.
- Pirolisis: formación de gas, alquitrán y carbón.
- Gasificación: combustión parcial de un combustible para generar un gas rico en CO, H2, hidrocarburos saturados.

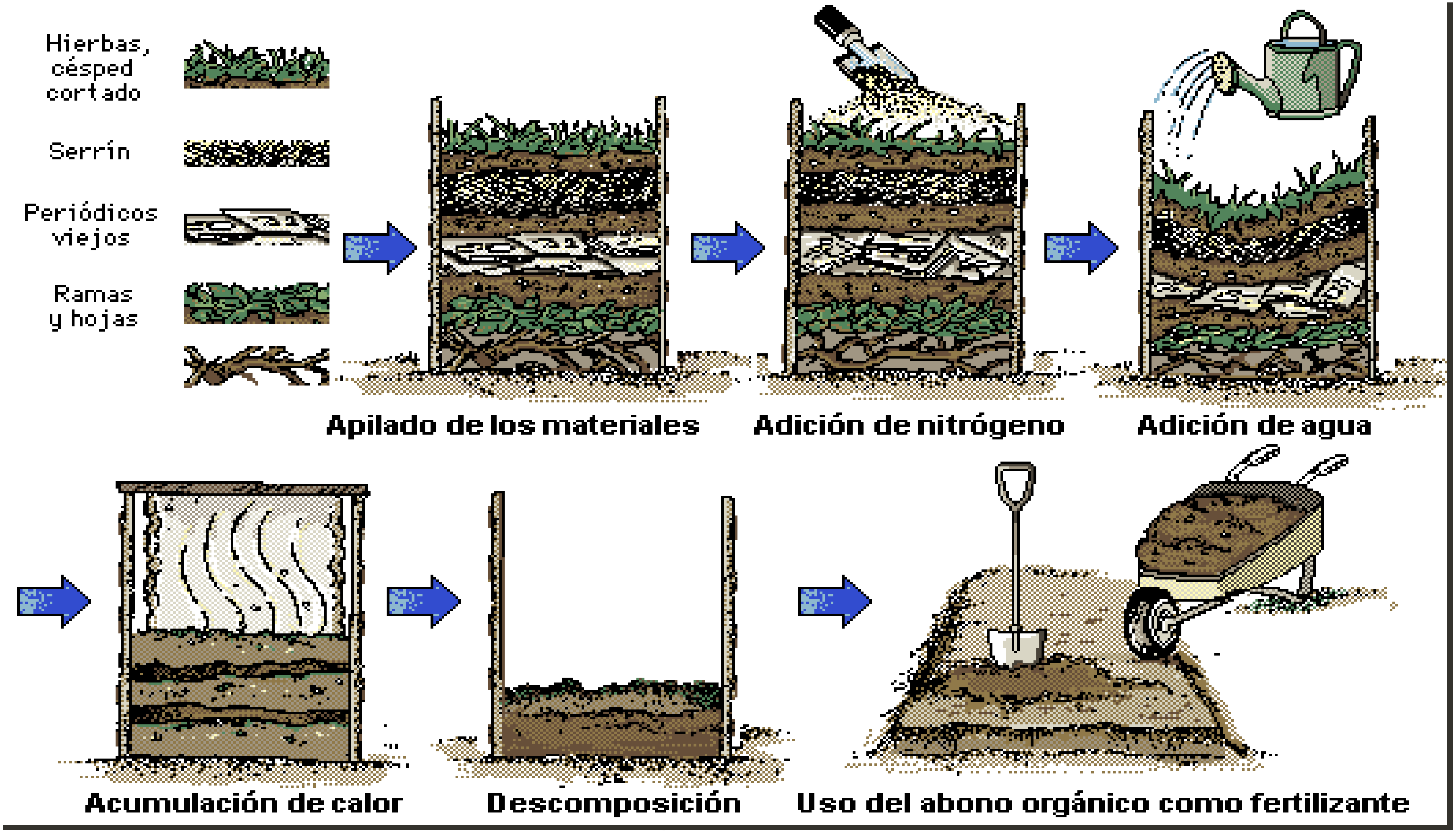
Transformaciones biológicas

Se utiliza para:

  - **Reducir el volumen y el peso del material**
  - **Producir compost**

- Agentes:
  - **Bacterias**
  - **Hongos**
  - **Levaduras**
- Pueden implicar:
  - **Procesos aerobios**
  - **Procesos anaerobios**
- Depende de la naturaleza de los productos finales.

Reciclaje de residuos de jardín



Importancia de las transformaciones

- Mejorar la eficacia de las operaciones y sistemas de gestión de desechos sólidos
- Recuperar los materiales reutilizables y reciclables.
- Recuperar productos para conversión y energía

Gestión de los desechos sólidos

- ☐ Se define como la disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recolección, transporte, procesamiento y evacuación de los desechos sólidos de una manera armónica con los principios de salud pública, economía, ingeniería, conservación del medio ambiente, estética.

Elementos que incluye la gestión de desechos sólidos

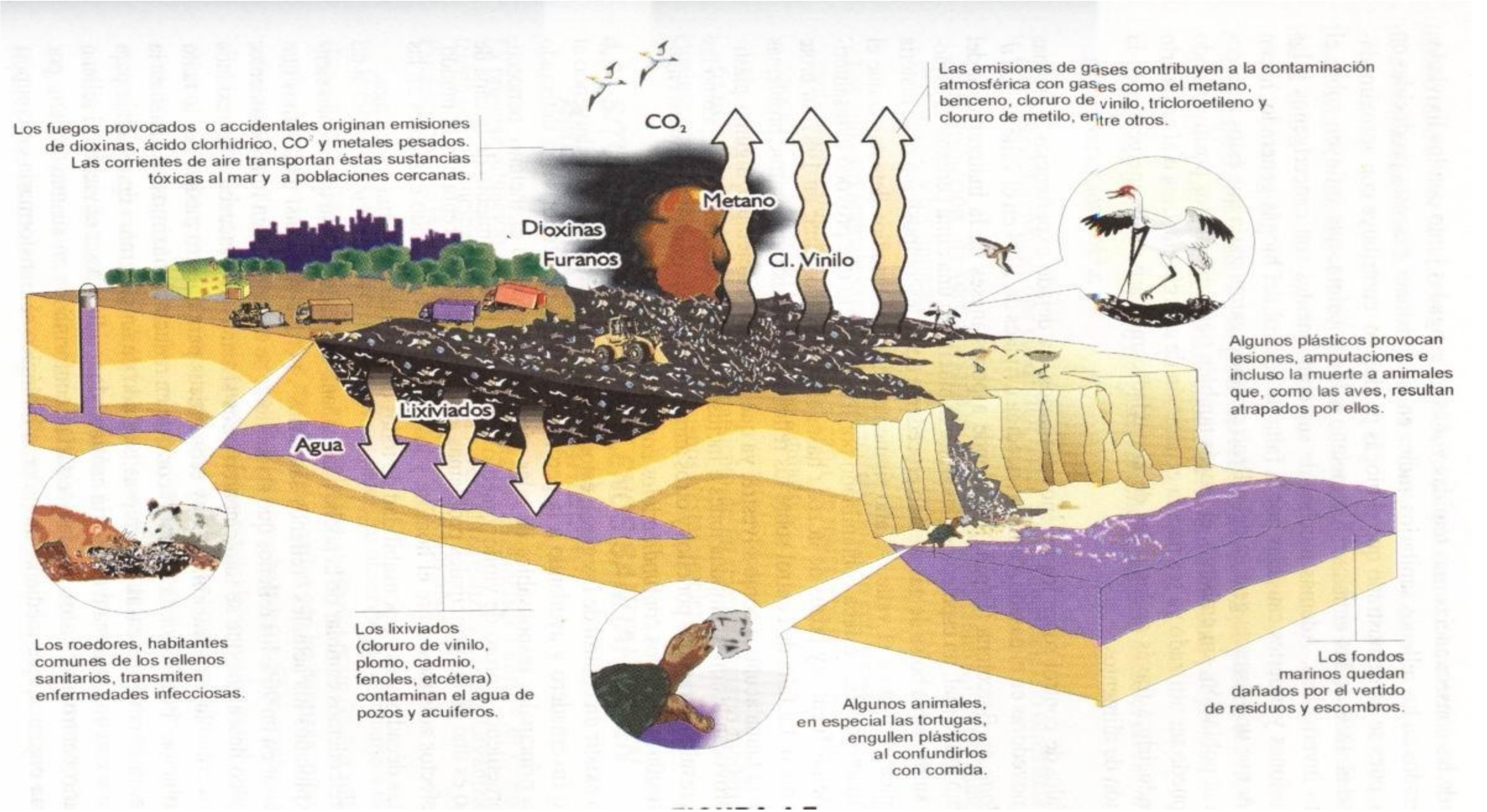
- Aspectos administrativos
- Finanzas
- Leyes
- Planificación
- Aspectos de ingeniería
- Aplicación de normativas reguladoras
- Mejora de métodos científicos para la interpretación de datos
- Identificación de productos de consumo peligrosos y tóxicos
- Financiación de infraestructuras de gestión de residuos
- Planificación urbana y ubicación de los botaderos/rellenos sanitarios
- Capacitación calificada del personal de la unidad de gestión

Rellenos sanitarios (vertederos)

- **Rellenos sanitarios** son las instalaciones físicas utilizadas para la evacuación, en los suelos de la superficie terrestre, de los rechazos provenientes de los residuos sólidos.
- Años atrás se denominaba como "vertedero sanitario controlado" para denominar aquel sitio donde se cubrían los residuos puestos en el vertedero al finalizar cada día de operación.
- En la época actual **"vertedero o relleno sanitario controlado"** se refiere a una instalación ingenieril para la evacuación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), diseñada y explotada para minimizar los impactos ambientales y sobre la salud pública.
- Los vertederos de o rellenos para la evacuación de residuos peligrosos se denominan vertederos o rellenos de seguridad.
- El término "**celda"** se utiliza para describir el volumen de material depositado en un vertedero durante un período de explotación, normalmente 1 día.

Impactos Ambientales en la Operación de un Relleno Sanitario

Ref.: Manejo y disposición de Residuos Sólidos Urbano, ACODAL, Samuel I. Pineda, 1998.



Los fuegos provocados o accidentales originan emisiones de dioxinas, ácido clorhídrico, CO^2 y metales pesados. Las corrientes de aire transportan éstas sustancias tóxicas al mar y a poblaciones cercanas.

Las emisiones de gases contribuyen a la contaminación atmosférica con gases como el metano, benceno, cloruro de vinilo, tricloroetileno y cloruro de metilo, entre otros.

Algunos plásticos provocan lesiones, amputaciones e incluso la muerte a animales que, como las aves, resultan atrapados por ellos.

Los roedores, habitantes comunes de los rellenos sanitarios, transmiten enfermedades infecciosas.

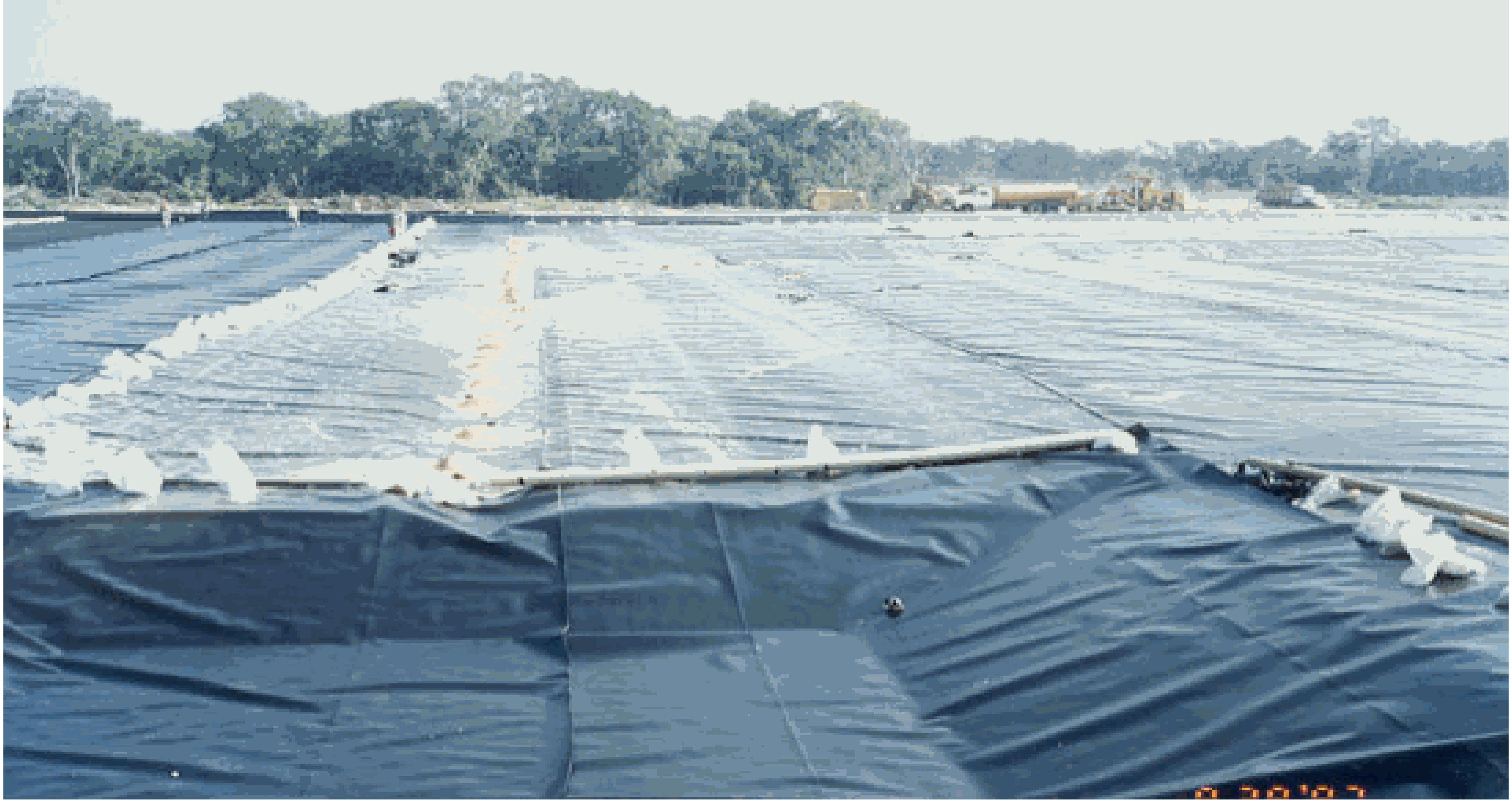
Los lixiviados (cloruro de vinilo, plomo, cadmio, fenoles, etcétera) contaminan el agua de pozos y acuíferos.

Algunos animales, en especial las tortugas, engullen plásticos al confundirlos con comida.

Los fondos marinos quedan dañados por el vertido de residuos y escombros.

Operación en rellenos sanitarios

Tendido de geomembranas en rellenos sanitarios



Descarga de camiones en relleno sanitario

Acarreo de material para formación de celdas

Ejemplo de proyecciones de carga de un relleno sanitario en el horizonte de diseño

% de Crecimiento Poblacional por año:	3	(La basura crece con la población)
Densidad Compactada de la Basura:	740.00 kg/m^3	
Area de Relleno Sanitario	50.00 Ha	
Altura Promedio de Relleno Sanitario	25.00 m	

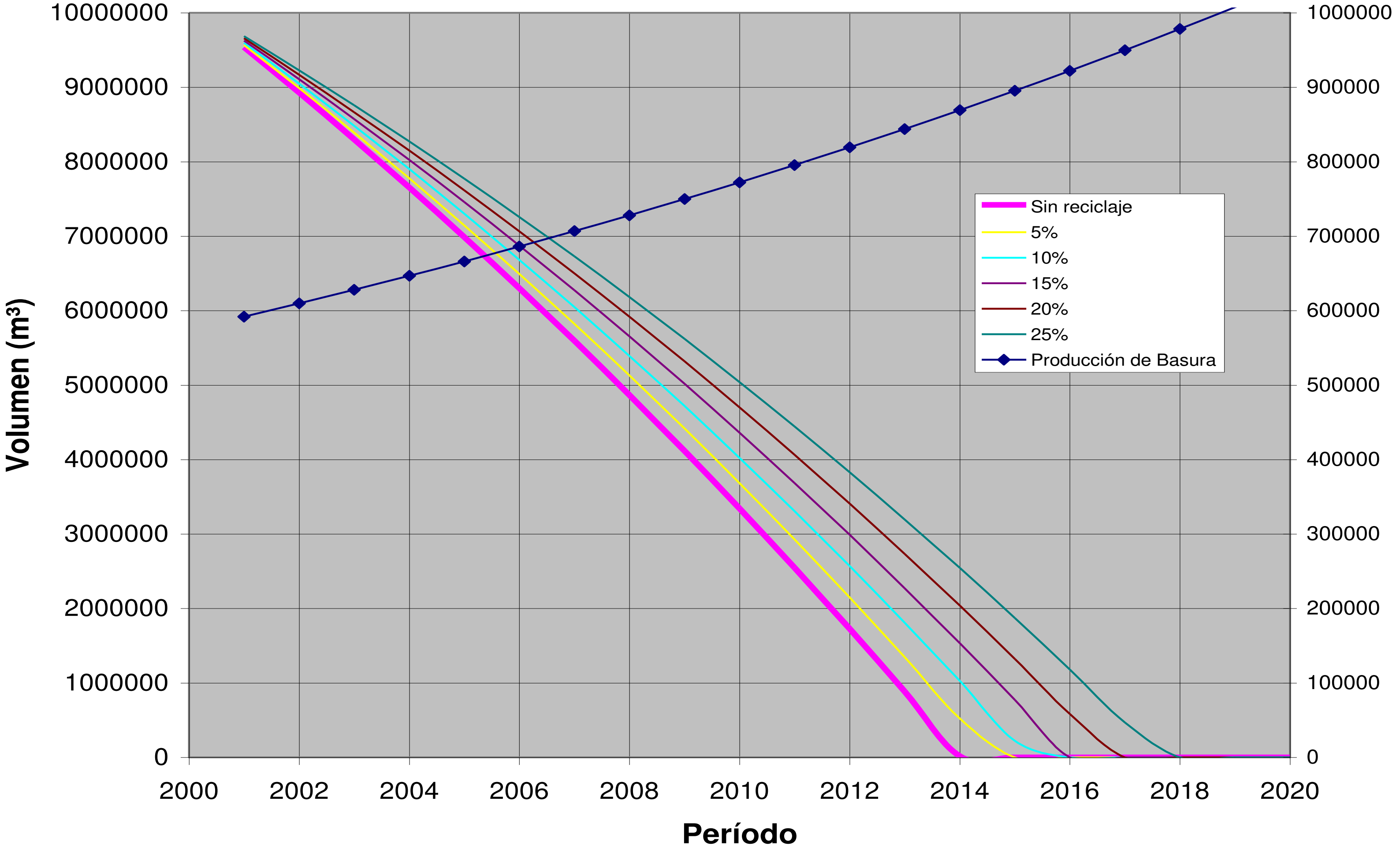
Talud Tipico en un Relleno: 3 : 1

Area Tope del relleno sanitario: 31.04 Ha

Volumen disponible en el Relleno Sanitario 10129599.57 m^3

Tiempo Acumulado	**Año**	**Basura**	**Volumen requerido**		**Volumen disponible**	**Volumen disponible despues de realizar un % de reciclaje**				
			diario	**anual**		**5%**	**10%**	**15%**	**20%**	**25%**
1	2001	1200.00 Ton/día	1621.62 m^3/día	591891.89 m^3	9537707.68 m^3	9567302.273	9596896.868	9626491.462	9656086.057	9685680.652
2	2002	1236.00 Ton/día	1670.27 m^3/día	609648.65 m^3	8928059.03 m^3	8988136.057	9048213.084	9108290.111	9168367.138	9228444.165
3	2003	1273.08 Ton/día	1720.38 m^3/día	627938.11 m^3	8300120.92 m^3	8391594.854	8483068.787	8574542.719	8666016.652	8757490.584
4	2004	1311.27 Ton/día	1771.99 m^3/día	646776.25 m^3	7653344.67 m^3	7777157.416	7900970.161	8024782.906	8148595.651	8272408.396
5	2005	1350.61 Ton/día	1825.15 m^3/día	666179.54 m^3	6987165.13 m^3	7144286.854	7301408.576	7458530.297	7615652.019	7772773.741
6	2006	1391.13 Ton/día	1879.90 m^3/día	686164.93 m^3	6301000.21 m^3	6492430.175	6683860.143	6875290.111	7066720.079	7258150.048
7	2007	1432.86 Ton/día	1936.30 m^3/día	706749.87 m^3	5594250.33 m^3	5821017.796	6047785.257	6274552.719	6501320.181	6728087.643
8	2008	1475.85 Ton/día	1994.39 m^3/día	727952.37 m^3	4866297.96 m^3	5129463.045	5392628.125	5655793.206	5918958.286	6182123.366
9	2009	1520.12 Ton/día	2054.22 m^3/día	749790.94 m^3	4116507.02 m^3	4417161.652	4717816.279	5018470.907	5319125.534	5619780.161
10	2010	1565.73 Ton/día	2115.85 m^3/día	772284.67 m^3	3344222.36 m^3	3683491.217	4022760.078	4362028.939	4701297.799	5040566.66
11	2011	1612.70 Ton/día	2179.32 m^3/día	795453.21 m^3	2548769.15 m^3	2927810.669	3306852.19	3685893.712	4064935.233	4443976.754
12	2012	1661.08 Ton/día	2244.70 m^3/día	819316.80 m^3	1729452.34 m^3	2149459.705	2569467.066	2989474.428	3409481.789	3829489.15
13	2013	1710.91 Ton/día	2312.04 m^3/día	843896.31 m^3	885556.03 m^3	1347758.212	1809960.388	2272162.565	2734364.742	3196566.919
14	2014	1762.24 Ton/día	2381.41 m^3/día	869213.20 m^3	16342.84 m^3	522005.6736	1027668.51	1533331.347	2038994.184	2544657.02
15	2015	1815.11 Ton/día	2452.85 m^3/día	895289.59 m^3	0.00 m^3	0	221907.8758	772335.1922	1322762.509	1873189.825
16	2016	1869.56 Ton/día	2526.43 m^3/día	922148.28 m^3	0.00 m^3	0	0	0	585043.8832	1181578.614
17	2017	1925.65 Ton/día	2602.23 m^3/día	949812.73 m^3	0.00 m^3	0	0	0	0	469219.066
18	2018	1983.42 Ton/día	2680.29 m^3/día	978307.11 m^3	0.00 m^3	0	0	0	0	0
19	2019	2042.92 Ton/día	2760.70 m^3/día	1007656.33 m^3	0.00 m^3	0	0	0	0	0
20	2020	2104.21 Ton/día	2843.52 m^3/día	1037886.02 m^3	0.00 m^3	0	0	0	0	0

Curvas de Demanda de Volumen vs. Volumen disponible (Caso de estudio)



Ejercicio 9: Tasas de generación de residuos por unidad

Utilizando los datos siguientes estimar la tasa de generación de residuos por unidad, por semana para una zona residencial conformada por 1.300 viviendas. El lugar de observación es una estación de transferencia local que recibe todos los residuos recolectados para su evacuación.

Datos:

a) Número de cargamentos de camiones compactadores = 9
b) Tamaño medio del camión compactador = 15,3 m3; peso específico = 297 Kg./m3
c) Número de cargas con remolque de palataforma = 7
d) Volumen medio de remolque de plataforma = 1,5 m3; peso específico = 133 Kg./m3
e) Número de cargas de vehiculos particulares de residentes = 20
f) Volumen estimado de vehiculo doméstico = 0,20 m3; peso específico = 89 Kg./m3

Solución:

Paso 1) Construir la tabla de cálculo para estimar el peso total "X" a partir de los volúmenes y pesos específicos.

Tabla de Cálculo

Tipo de vehiculo	**Número de cargas (A)**	**Volumen medio (m3)** (B)	**Peso específico Kg./m3** (C)	**Peso total Kg. X = (A) x (B) x (C)**
Camion compactador	9	15.3	297	40,896.9
Camion de plataforma	7	1.5	133	1,396.5
Vehiculo particular	20	0.2	89	356.0
Total (Kg./semana)				**42,649.4**

Paso 2) Determinar la tasa de recolección de residuos por unidad tomando como base que en cada vivienda existen 4 personas.

Tasa por unidad = 42,649,4 / (1.300 x 4) x (7 días / semana) = 1.17 Kg. / hab.día

Producción de Biogás (1)

- Cuando los residuos se descomponen en condiciones anaeróbicas, se generan gases como subproductos naturales de esta descomposición.
- En un relleno sanitario, la cantidad de gases producido y su composición depende del tipo de residuo orgánico, de su estado y de las condiciones del medio que pueden favorecer o desfavorecer el proceso de descomposición.
- La descomposición de la materia orgánica en los rellenos sanitarios, que se realiza por la actividad microbiana anaeróbica, genera diversos subproductos, entre ellos el biogás.
- Condiciones favorables de medio para la supervivencia de los microorganismos anaeróbicos pueden desarrollarse a temperaturas de entre 10 y 60 ºC, teniendo un optimo entre 30 y 40 ºC (fase mesofílica) y otro entre 50 y 60 ºC (fase termofílica).

Producción de Biogás (2)

- El pH entre 6.5 y 8.5 permite un buen desarrollo de los microorganismos teniendo un optimo para pH entre 7 - 7.2
- Por lo general, los componentes principales del biogás son el metano (CH4) y el dióxido de carbono (CO2), en proporciones aproximadamente iguales, constituyendo normalmente mas del 97% del mismo.
- Ambos gases son incoloros e inodoros, por lo que son otros gases, como el ácido sulfhídrico y el amoniaco los que le otorgan el olor característico al biogás y permiten su detección por medio del olfato.
- El gas metano se produce en los rellenos en concentraciones dentro del rango de combustión, lo que confiere al biogás ciertas características de peligrosidad por riesgos de incendio o explosión y por lo mismo, la necesidad de mantener un control sobre él.

Tabla 8: Generación de gases N_2, CO_2 y CH_4 en un relleno sanitario típico

Intervalo Temporal desde el vertido de desechos en la celda (meses)	Medio, porcentaje (%) por volumen		
	Nitrógeno, N_2	Dióxido de carbono, CO_2	Metano, CH_4
0-3	5.2	88	5
3-6	3.8	76	21
6-12	0.4	65	29
12-18	1.1	52	40
18-24	0.4	53	47
24-30	0.2	52	48
30-36	1.3	46	51
36-42	0.9	50	47
42-48	0.4	51	48

Fuente: G.Tchobanoglous, H. Theisen y S. Vigil, “Gestión Integral de Residuos Sólidos”, Vol I.1998

(a) Mertz, R.C. y Stone, R.: “Special Studies of a Sanitary Landfill, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Washington, D.C., 1970

Generación de lixiviados/ Tratamiento

- El tipo de instalaciones de tratamiento dependerá de las características del lixiviado, y de la localización geográfica y física del relleno sanitario.
- Las características más preocupantes del lixiviado influyen: DBO, DQO, sólidos totales disueltos (STD), metales pesados y constituyentes tóxicos sin especificar.
- El lixiviado contiene concentraciones extremadamente altas de STD, por ejemplo sobre 50.000 (mg/l), puede ser difícil tratar biológicamente.
- Con valores altos de DBO es preferible emplear procesos de tratamientos anaeróbicos, porque los procesos de tratamientos aeróbicos son caros.
- Concentraciones altas de sulfato pueden limitar el uso de procesos de tratamientos anaeróbicos, debido a la producción de olores procedentes de la reducción biológica de sulfatos a sulfuros.
- La toxicidad producida por los metales pesados también es un problema para muchos procesos de tratamiento biológico. La capacidad de las instalaciones de tratamiento dependerán del tamaño del relleno sanitario y la vida útil esperada.

Tabla 9: Composición de Lixiviados en Rellenos Sanitarios Recientes y Antiguos

Constituyente	Valor, mg/l [b]		
	Relleno Reciente (< 2 años)		Relleno Antiguo (>10 años)
	Rango	Típico	
DBO_5 (demanda bioquímica de oxígeno)	2,000 - 30,000	10,000	100 – 200
COT (carbono orgánico total)	1,500 - 20,000	6,000	80 – 160
DQO (demanda química de oxígeno)	3,000 - 60,000	18,000	100 – 500
TDS Sólidos totales en suspensión	200 – 2,000	500	100 – 400
Nitrógeno orgánico	10 – 800	200	80 – 120
Nitrógeno amoniacal	10 – 800	200	20 – 40
Nitrato	5 – 40	25	5 – 10
Fósforo Total	5 – 100	30	5 – 10
Ortofosfato	4 – 80	20	4 – 8
Alcalinidad como $CaCO_3$	1,000 - 10,000	3,000	200 - 1,000
PH	4.5 - 7.5	6	6.6 – 7.5
Dureza total como $CaCO_3$	300 -10,000	3,500	200 – 500
Calcio	200 - 3,000	1,000	100 – 400
Magnesio	50 – 1,500	250	50 – 200
Potasio	200 - 1,000	300	50 – 400
Sodio	200 - 2,500	500	100 – 200
Cloro	200 - 3,000	500	100 – 400
Sulfatos	50 – 1,000	300	20 – 50
Sales solubles (Cl, SO_4)	200 - 4,000	800	100 – 500
Hierro total	50 - 1,200	60	20 – 200
Plomo	1 – 10	2	0.01 – 0.5
Zinc	25 – 250	50	0.1 – 1.0

Fuente: G.Tchobanoglous, H. Theisen, S. Vigil, *"Gestión Integral de Residuos Sólidos"*, Mc Graw Hill, 1998, y Martín, 1991. b) Excepto el pH, que no tiene unidades.

La Regla de las 3 R’ s

Reducir es lo que se debe tratar de hacer porque es la mejor forma de prevenir y no curar. Esto quiere decir que hay que evitar que se genere la basura utilizando los productos de la manera correcta.

Reusar es tratar de darle algún uso a la basura antes de descartarla, por ejemplo, forrar las cajas, frascos o latas y usarlas para guardar cosas.

Reciclar es una actividad que desarrollan algunas empresas y personas, consiste en rescatar la basura para volver a utilizarla. Del papel y cartón, limpios, se puede recuperar cerca del 40% a través del reciclaje.

Materiales potencialmente reciclables: papel, cartón, maderas, vidrios, varios metales, y otros. Existe la posibilidad de “reciclar" ciertos residuos utilizando el ciclo biológico de la materia.

Se trata de los orgánicos (restos de comida, cáscara de frutas), que pueden emplearse para fabricar compostaje, que es un fertilizante natural que aprovecha los nutrientes de los residuos para convertirlos en alimento para detritos (organismos descomponedores) e indirectamente para las plantas.

Esquema de implantación de las 3 R’ s

Marco Legal Ambiental en el Ecuador relacionado con la contaminación de suelos

- ❑ Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental (R.O. # 97, Mayo 31/1976).
- ❑ Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación en lo relativo al recurso Suelo (R.O. # 989, Julio 30/1992)
- ❑ Reglamento para el Manejo de Desechos Sólidos (R.O. # 991, Agosto 3/1992).
- ❑ Ordenanzas Municipales referentes al Aseo Urbano en la ciudad de Guayaquil.
- ❑ Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria: Recurso Suelo (TULAS 2002)

Bibliografía

- “Ciencias Ambientales”, *Pearson*, McGraw Hill, 2000.
- “Conceptos básicos de Meteorología y Contaminación del Aire”, CEPIS, 2001
- “Contaminación del Aire, origen y control”, Kenneth Wark, Cecil F. Warner, Limusa - Grupo Noriega Editores, 1992.
- “Introduction to Environmental Engineering”, *Davis / Cornwell*, Mc Graw Hill, 1993.
- “Gestión Integral de Residuos Sólidos”, *George Tchobanoglous, Hillary Theisen, Samuel A. Vigil*, Mc Graw Hill, 1998.
- “Manual de referencia de la Ingeniería Ambiental”, Robert Corbitt, Mc Graw Hill, 2003.
- “Manejo y Disposición de Residuos Sólidos Urbanos”, *Samuel I. Pineda*, ACODAL, 1998.