

Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos

GIRSU

Carolina Ramírez
crgarcia@fing.edu.uy

Extracción global de materiales (millones de toneladas / año)

Evolución y estado actual

Proyecciones

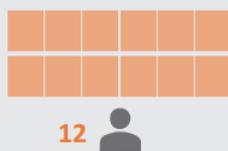
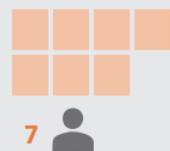


1970
27 mil millones de toneladas

2017
92 mil millones de toneladas

2060 (escenario tendencial)
190 mil millones de toneladas

Demanda de materiales per cápita (toneladas / año)



En 2017, la extracción y el procesamiento de los recursos naturales representaron:



> 90%

Pérdida de biodiversidad global



> 90%

Estrés hídrico global



~50%

gases a efecto invernadero (GEI) globales

COMPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

La composición se refiere a la cantidad relativa de los distintos componentes individuales que forman los RSU.

Se expresa habitualmente como porcentaje en peso:

$$\% \text{ Peso} = \frac{\text{Peso del componente contenido en la muestra}}{\text{Peso total de la muestra}}$$

FACTORES QUE AFECTAN LA COMPOSICIÓN DE LOS RSU

- *Poder adquisitivo de la población*
- *Condiciones climáticas*
- *Hábitos de consumo de la población*
- *Nivel de actividad de la economía*

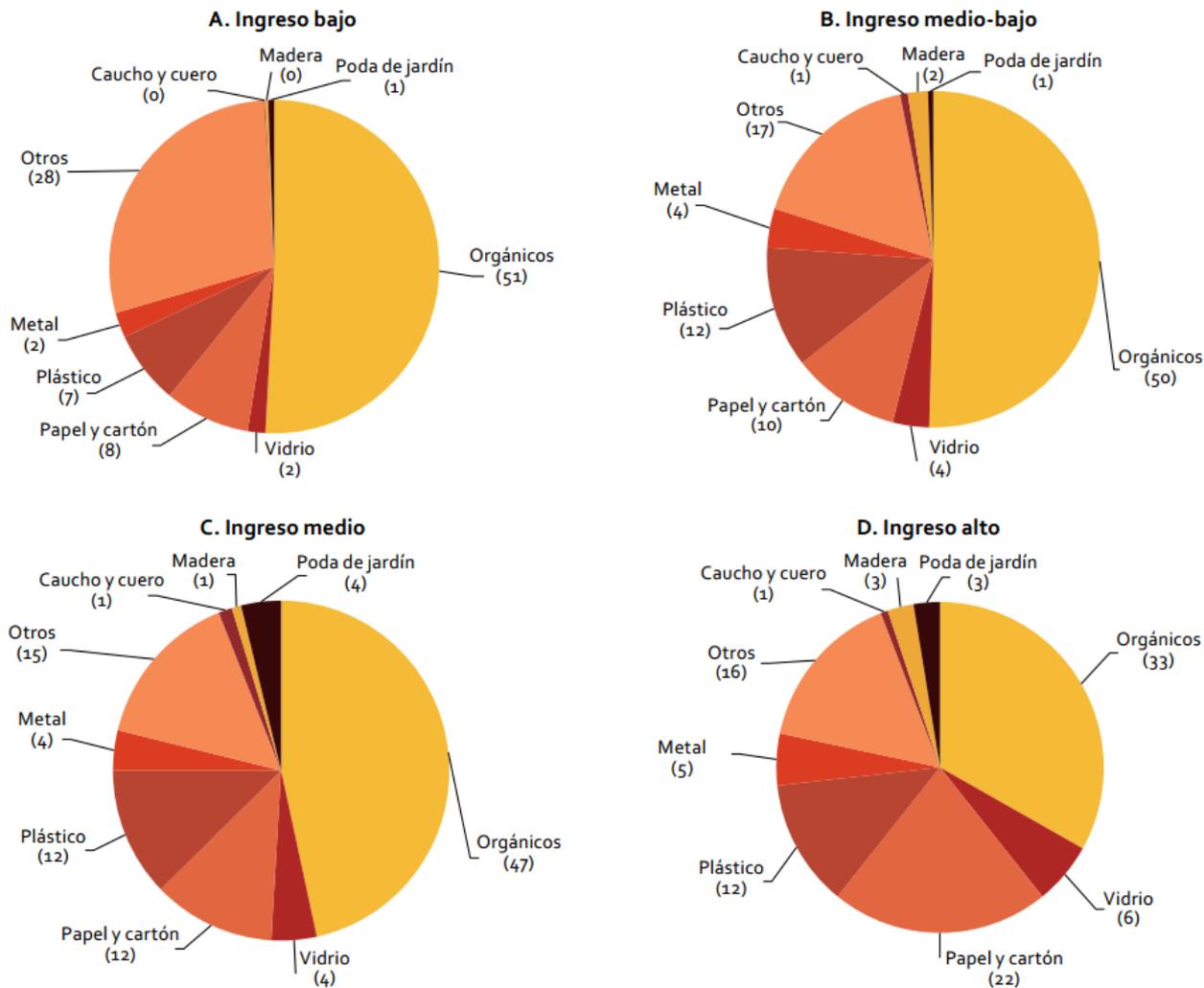


Distribución típica de componentes en los RSU domésticos para países de bajos, medianos y altos ingresos (1990):

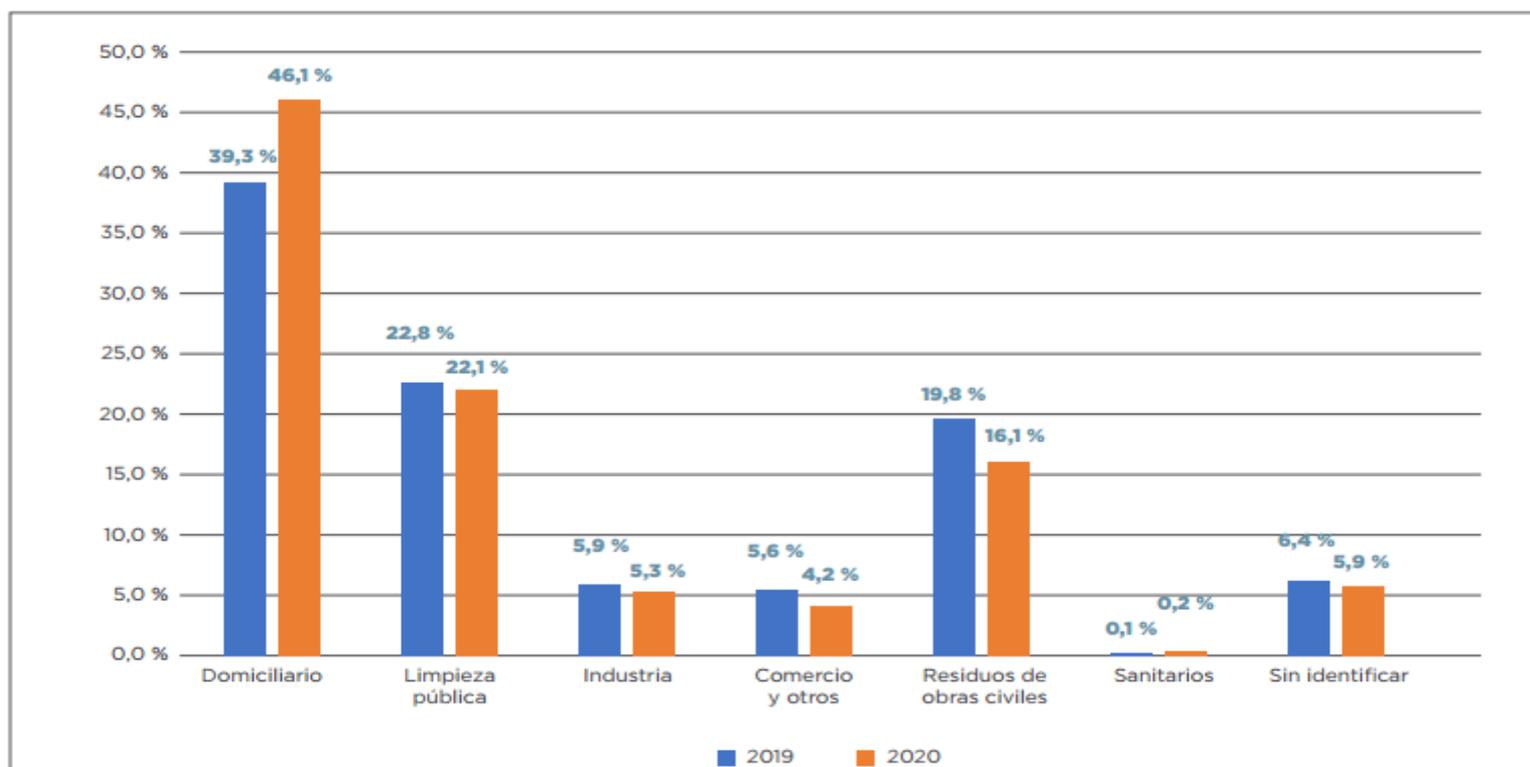
Componente	Países de bajos ingresos	Países de medianos ingresos	Países de altos ingresos ^c
Orgánicos			
Residuos de comida	40-85 ^d	20-65	6-30
Papel			
Cartón	1-10	8-30	20-45
Plásticos	1-5	2-6	5-15
Textiles	1-5	2-10	2-8
Goma			
Cuero	1-5	1-4	0-2
Residuos de jardín			
Madera	1-5	1-10	10-20
Orgánicos misceláneos	—	—	1-4
Inorgánicos			
Vidrio	1-10	1-10	4-12
Latas de hojalata	—	—	2-8
Aluminio	1-5	1-5	0-1
Otros metales	—	—	1-4
Suciedad, cenizas, etc.	1-40	1-30	0-10

Composición de los residuos municipales generados en el mundo por nivel de ingreso de los países, alrededor de 2016^a

(En porcentajes del total de residuos generados)



Composición según corriente de residuos del 13 de marzo al 31 de mayo, 2019-20



PROPIEDADES DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS RSU

- Peso específico.
- Humedad.
- Capacidad de campo.

PESO ESPECÍFICO

El peso específico se define como el peso de un material por unidad de volumen, expresado en Kg/m^3 .

Tipos de residuos	Densidad, kg/m^3
Domésticos (no compactados)	
Residuos de comida	130 – 480
Papel	40 – 130
Cartón	40 – 80
Plásticos	40 – 130
Vidrio	160 – 480
Aluminio	60 – 240
Urbanos	
En camión compactador	180 – 500
En relleno compactado	400 – 800

CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad se refiere a la cantidad de agua presente en los residuos sólidos.

W = contenido de humedad (%)

m_M = masa inicial de la muestra (kg)

m_S = masa de la muestra luego de haber evaporado el agua (a 105 °C) (kg)

CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad se refiere a la cantidad de agua presente en los residuos sólidos.

- **En base seca:** masa de agua en relación con la masa de la muestra seca

$$W = \left(\frac{m_M - m_S}{m_S} \right)$$

CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad se refiere a la cantidad de agua presente en los residuos sólidos.

- **En base húmeda:** masa de agua con relación a la masa total de la muestra.

$$W = \left(\frac{m_M - m_S}{m_M} \right)$$

CONTENIDO DE HUMEDAD

Tipos de residuos	Peso específico, kg/m ³		Contenido en humedad, porcentaje en peso	
	Rango	Típico	Rango	Típico
Domésticos (no compactados)				
Residuos de comida (mezclados)	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
Goma	101-202	131	1-4	2
Cuero	101-261	160	8-12	10
Residuos de jardín	59-225	101	30-80	60
Madera	131-320	237	15-40	20
Vidrio	160-481	196	1-4	2
Latas de hojalata	50-160	89	2-4	3
Aluminio	65-240	160	2-4	2
Otros metales	131-1.151	320	2-4	3
Suciedad, cenizas, etc.	320-1.000	481	6-12	8
Cenizas	650-831	745	6-12	6
Basuras	89-181	131	5-20	15
Residuos de jardín domésticos				
Hojas (sueltas y secas)	30-148	59	20-40	30
Hierba verde (suelta y húmeda)	208-297	237	40-80	60
Hierba verde (húmeda y compactada)	593-831	593	50-90	80
Residuos de jardín (triturados)	267-356	297	20-70	50
Residuos de jardín (compostados)	267-386	326	40-60	50

CAPACIDAD DE CAMPO

La capacidad de campo es la cantidad de agua que puede ser retenida por una muestra de residuos sólidos, sometida a la acción de la gravedad.

- Presión aplicada
- Estado de descomposición del residuo

La capacidad de campo de los residuos no compactados de orígenes domésticos y comerciales está en la gama del 50 al 60%.

PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS RSU

- **Análisis próximo (o análisis físico).**
- **Análisis último (o análisis elemental).**

ANÁLISIS FÍSICO (PRÓXIMO)

El análisis próximo (físico) para los componentes combustibles de los RSU incluye los siguientes ensayos:

1. Humedad (pérdida de humedad cuando se calienta a 105 °C durante una hora).
2. Materia volátil combustible (pérdida de peso adicional con la ignición a 950 °C en un crisol abierto).
3. Carbono fijo (rechazo combustible dejado después de retirar la materia volátil).
4. Ceniza (peso del rechazo después de la incineración en un crisol abierto).

ANÁLISIS ELEMENTAL (ÚLTIMO)

El análisis último (elemental) de un residuo normalmente implica la determinación del porcentaje en peso de:

1. C (carbono)
2. H (hidrogeno)
3. O (oxígeno)
4. N (nitrógeno)
5. S (azufre)
6. Ceniza

ANÁLISIS ÚLTIMO

Datos típicos sobre el análisis elemental de los componentes combustibles en los RSU domésticos^a

Componentes	Porcentaje en peso (base seca)					
	Carbono	Hidrógeno	Oxígeno	Nitrógeno	Azufre	Cenizas
Orgánicos						
Residuos de comida	48,0	6,4	37,6	2,6	0,4	5,0
Papel	43,5	6,0	44,0	0,3	0,2	6,0
Cartón	44,0	5,9	44,6	0,3	0,2	5,0
Plásticos	60,0	7,2	22,8	—	—	10,0
Textiles	55,0	6,6	31,2	4,6	0,15	2,5
Goma	78,0	10,0	—	2,0	—	10,0
Cuero	60,0	8,0	11,6	10,0	0,4	10,0
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
Inorgánicos						
Vidrio ^b	0,5	0,1	0,4	<0,1	—	98,9
Metales ^b	4,5	0,6	4,3	<0,1	—	90,5
Suciedad, cenizas, etc.	26,3	3,0	2,0	0,5	0,2	68,0

PROPIEDADES BIOLÓGICAS DE LOS RSU

- **Biodegradabilidad de los componentes de los residuos orgánicos.**
- **Producción de olores.**
- **Reproducción de moscas.**

BIODEGRADABILIDAD DE LOS COMPONENTES DE RESIDUOS ORGÁNICOS

El contenido de los sólidos volátiles (SV) frecuentemente se utiliza como una medida de la biodegradabilidad de la fracción orgánica de los RSU.

Alternativamente, para estimar la fracción biodegradable de un residuo se puede usar su contenido de lignina.

Tabla 3.4: Fracción biodegradable de algunos residuos orgánicos en función de su contenido de lignina

Componente	Sólidos volátiles (como % de sólidos totales)	Contenido de lignina (CL) (como % de SV)	Fracción biodegradable (FB)
Residuos de comida	7-15	0.4	0.82
Papel de periódico	94.0	21.9	0.22
Papel de oficina	96.4	0.4	0.82
Cartón	94.0	12.9	0.47
Residuos de jardín	50-90	4.1	0.72

PRODUCCIÓN DE OLORES

Los olores pueden desarrollarse cuando los residuos sólidos se almacenan durante largos períodos de tiempo in situ, entre recogidas, en estaciones de transferencia, y en rellenos.



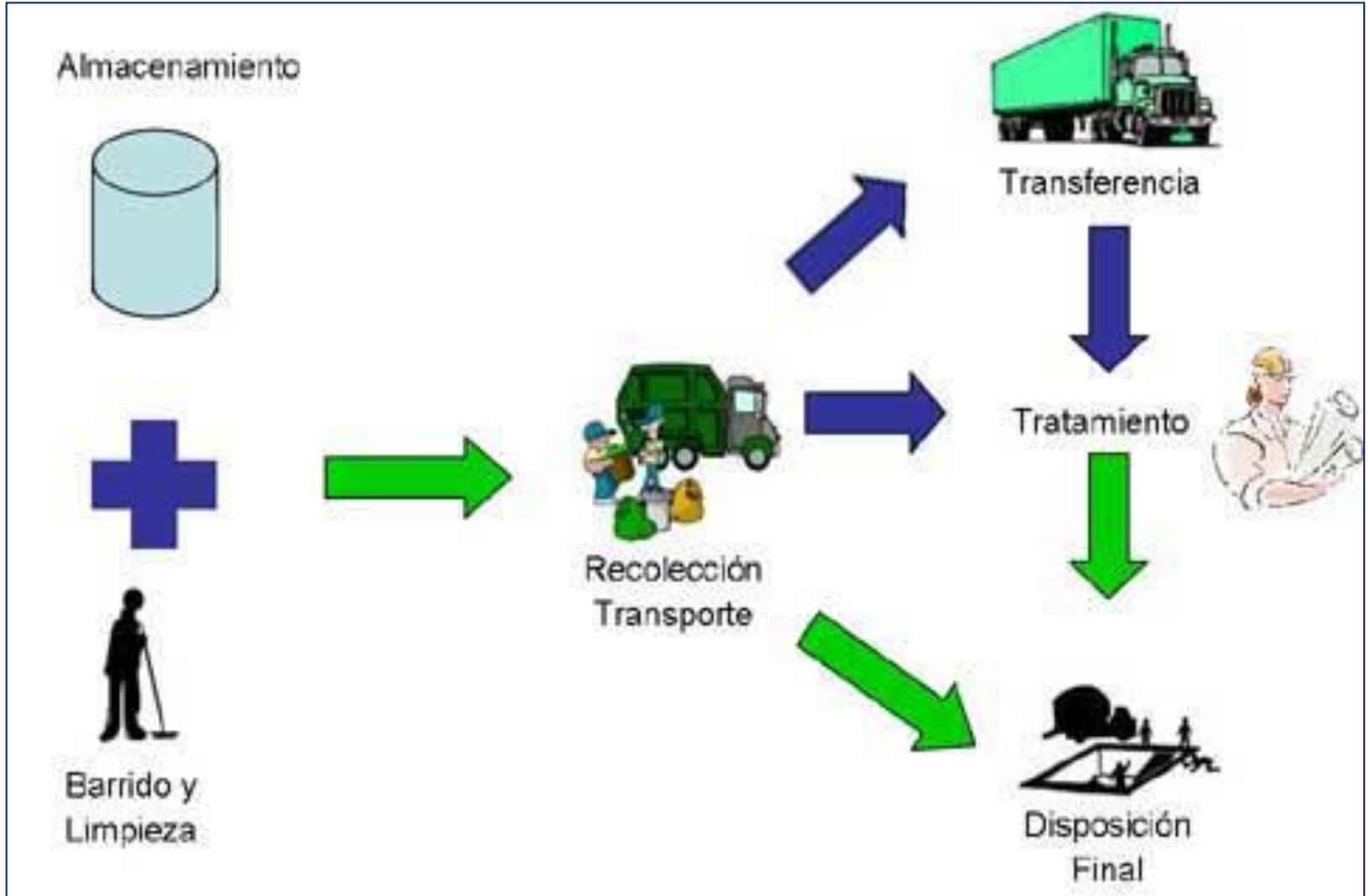
REPRODUCCIÓN DE MOSCAS

Tabla 3.5: Temporalidad del ciclo vital de la mosca común

Desarrollo de los huevos	8 - 12 horas
Primera etapa del período larval	20 horas
Segunda etapa del período larval	24 horas
Tercera etapa del período larval	3 días
Etapa crisálida	4 - 5 días
Total	9 - 11 días



GENERACIÓN



Acondicionamiento en origen (Pregunta 4)

- La *clasificación domiciliar* de desechos facilita su posterior reuso, recuperación o reciclaje.
- Posibilidad de establecer circuitos limpios de:
 - Plásticos
 - Papel
 - Vidrio
 - Metales



Acondicionamiento en origen

- Vertido en recipiente único
- Vertido en dos recipientes separados: residuos secos y residuos húmedos



- Vertido en más de dos recipientes separados: un tipo de residuos secos en cada recipiente (papel, plástico vidrio, metal) y los residuos húmedos en otro

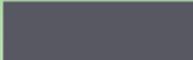


Residuos mezclados (P)

Materiales reciclables (S)

 Plásticos (T)

 Papel y cartón (T)

 Metales (T)

 Vidrios (T)

Residuos compostables (S)

Esquema 1. Extraído de norma UNIT ISO 1239 - "Identificación y clasificación de residuos"

Recolección

- *Recolección domiciliaria*
- *Recolección de residuos en lugares públicos*
- *Recolección especial*
- *Recolección selectiva*
- *Recolección de residuos especiales*

Recolección

Recolección formal:

- Recolección en la acera
- Circuito puerta a puerta, contenedores.
 - Vehículos sin compactación
 - Vehículos con compactación
 - Vehículos para descargar contenedores



Recolección

Recolección formal:

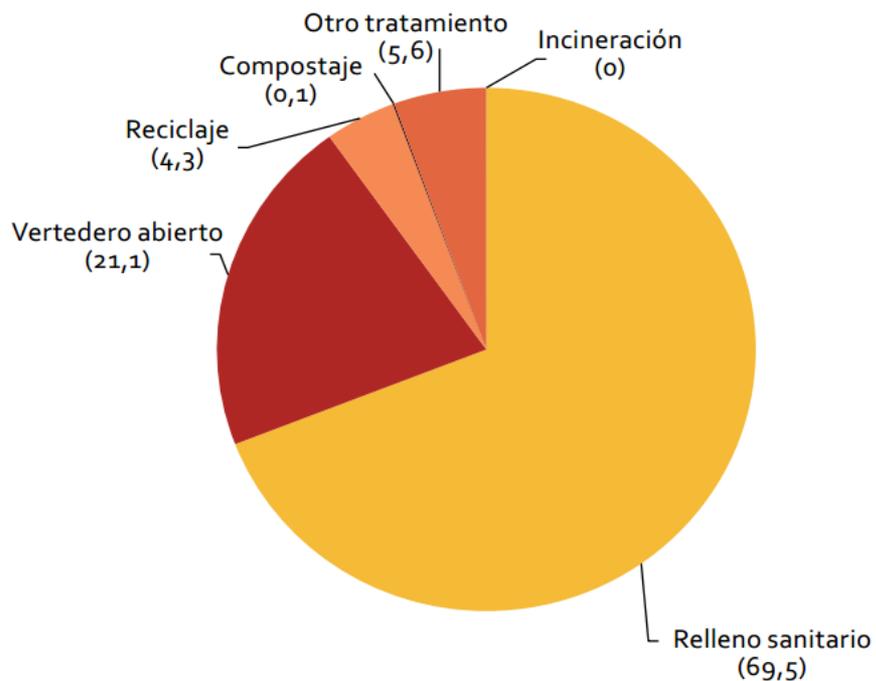
- Circuito puerta a puerta, contenedores.
- Salvo excepciones, no se hace recolección selectiva.

Recolección no formal:

- Trabajo in situ para seleccionar materiales.
- Transporte con capacidad acotada.

Tratamientos de valorización previos a la disposición final (pregunta 5)

América Latina y el Caribe (28 países): tratamiento dado al total de residuos recolectados, alrededor de 2016^a
(En porcentajes del total de residuos recolectados)



Tratamientos de valorización previos a la disposición final

- Si bien la disposición final de los residuos sólidos se realiza en terreno, pueden efectuarse diferentes tratamientos que **apuntan a la recuperación de algún tipo de valor** (energético, material, etc.) antes de colocarlos en su destino último.
- Estos tratamientos pueden tener fines diversos, pero confluyen en un beneficio común: **reducir la cantidad de material** que efectivamente debe disponerse en el terreno.
- Algunas alternativas de tratamiento que tienden a aprovechar al máximo ciertas propiedades de los RSU y a minimizar el descarte final son el **compostaje aerobio, la incineración y el reciclaje**.

Procesamiento primario de RS

- Reducción de tamaño:
 - Trituradoras (Para su posterior compostaje o incineración, o reciclaje en el caso del plástico).
- Reducción de volumen:
 - Compactadoras.
 - Enfardadoras.



Procesamiento primario de RS

- Separación:
 - Cribas (separación por tamaño).
 - Separación neumática (por diferencia de densidad, mediante una corriente de aire).
 - Separación magnética.
 - Separación manual.

Reciclaje

Los RSU son esencialmente una mezcla de distintos materiales, algunos de los cuales pueden ser aprovechados mediante:

- [el reuso o reutilización](#) (rescate del material en su forma original para volverlo a usar con el mismo fin)
- [la recuperación](#) (rescate del material en su forma original para volverlo a usar en otras aplicaciones)
- [el reciclaje](#) (reincorporación al ciclo productivo como materia prima para la fabricación de nuevos bienes).



Reciclaje

El reciclaje incluye:

- La separación y clasificación de los componentes reciclables
- Procesamiento intermedio
- Procesamiento final

Reciclaje

- **PAPEL Y CARTÓN:**

Tipos de papel fabricado a partir de papel reciclado :

- papel para imprenta
- papel de embalaje
- bolsas de papel
- cartón corrugado
- papel higiénico
- ...

Reciclaje

- PLÁSTICOS:



Reciclaje

- **VIDRIO:**
- **METALES:** ferrosos (acero, etc)
no ferrosos (aluminio, cobre, plomo, etc)
- **OTROS MATERIALES:**
 - Madera
 - Neumáticos
 - ROC
 - ...

Reciclaje

(pregunta 6 – pregunta 7)

- ✓ ¿Conoces algún Plan de reciclaje de Residuos Sólidos que se haya llevado o se esté llevando a cabo en Montevideo? Mencionalo.

- ✓ ¿De qué depende que existan o no planes de reciclaje en una ciudad?

Reciclaje



BUSCA EL CONTENEDOR EN TU SUPER

Recicla

- Montevideo
- Canelones
- Maldonado
- Rocha
- Flores
- Rivera

TU ENVASE SIRVE



Llévalos al contenedor de tu super
Recicla, todo comienza por vos



Resumiendo:

- ***Reciclaje:***

- Ventajas:

- reducción de la necesidad de materias primas y energía
 - aumento de la vida útil de los sitios de disposición final
 - generación de puestos de trabajo

- Desventajas:

- costos de recolección y separación
 - falsa concepción de gran rentabilidad

Compostaje

El compostaje aerobio es un proceso en el cual organismos aerobios facultativos, en general termofílicos, descomponen la materia orgánica (con consumo de oxígeno) y dan como producto un mejorador de suelos.



Artesanal



Planta de compostaje

Compostaje

Objetivos:

- estabilizar el material orgánico biodegradable transformándolo a material biológicamente estable
- reducir el volumen original de los residuos
- destruir agentes patógenos
- retener el máximo contenido nutricional de los RSU de modo de obtener un producto que aplicado al suelo mejore sus condiciones para el uso agrícola.



Resumiendo:

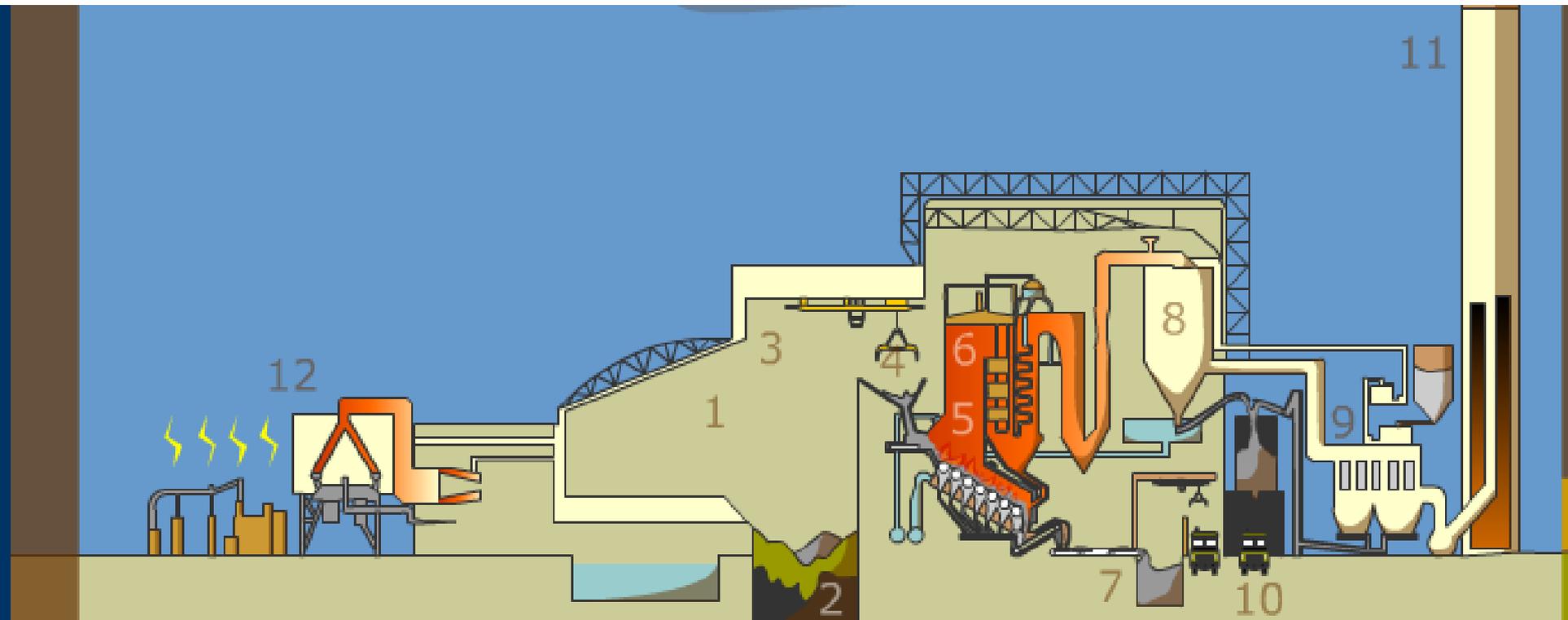
- ***Compostaje:***
 - Ventajas:
 - Obtención de un mejorador de suelos
 - Desventajas:
 - necesidad de una buena clasificación previa
 - dificultades para la colocación del producto final
 - necesidad de un espacio amplio con controles permanentes.

Tratamiento: Incineración



Incineración

Proceso



1	Llega la basura	4	Tolvas de alimentación	7	Cenizas de fondo	10	Cenizas volantes
2	Foso de residuos	5	Parrilla de incineración	8	Tratamiento de gases	11	Chimenea
3	Puentes grúa	6	Horno	9	Filtros	12	Turbinas

Resumiendo:

- ***Incineración:***

- Ventajas:

- reducción importante del peso y volumen de los residuos
 - posibilidad de recuperación de energía
 - Destrucción de patógenos y algunos tóxicos

- Desventajas:

- alto costo inicial y de mantenimiento
 - necesidad de personal calificado para la operación
 - posibilidad de emisión de sustancias tóxicas a la atmósfera si no se mantienen controles adecuados durante la operación.

DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS (pregunta 8)



DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

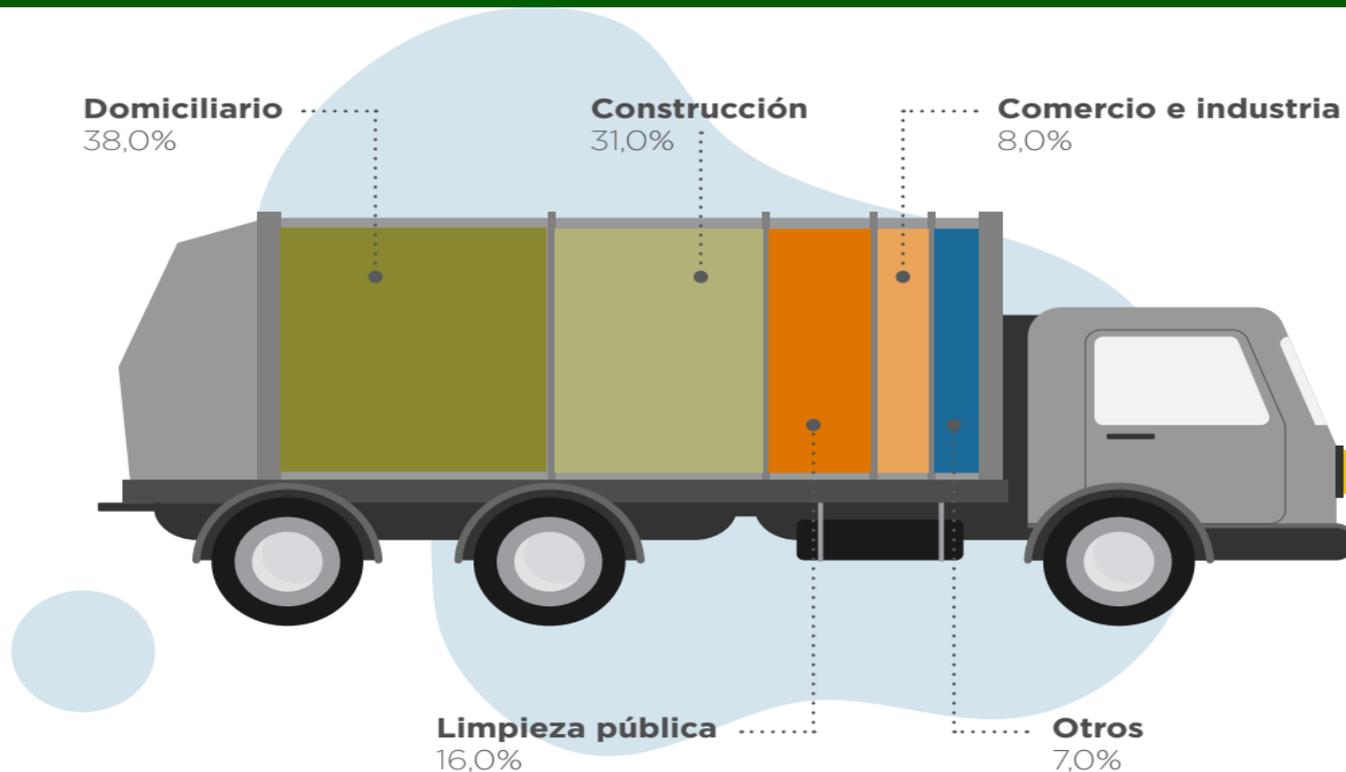
- Vertedero no controlado.
- Vertedero con algún grado de control.
- Relleno sanitario



Ilustración 9: Vertederos a cielo abierto en América Latina y el Caribe: cifras clave

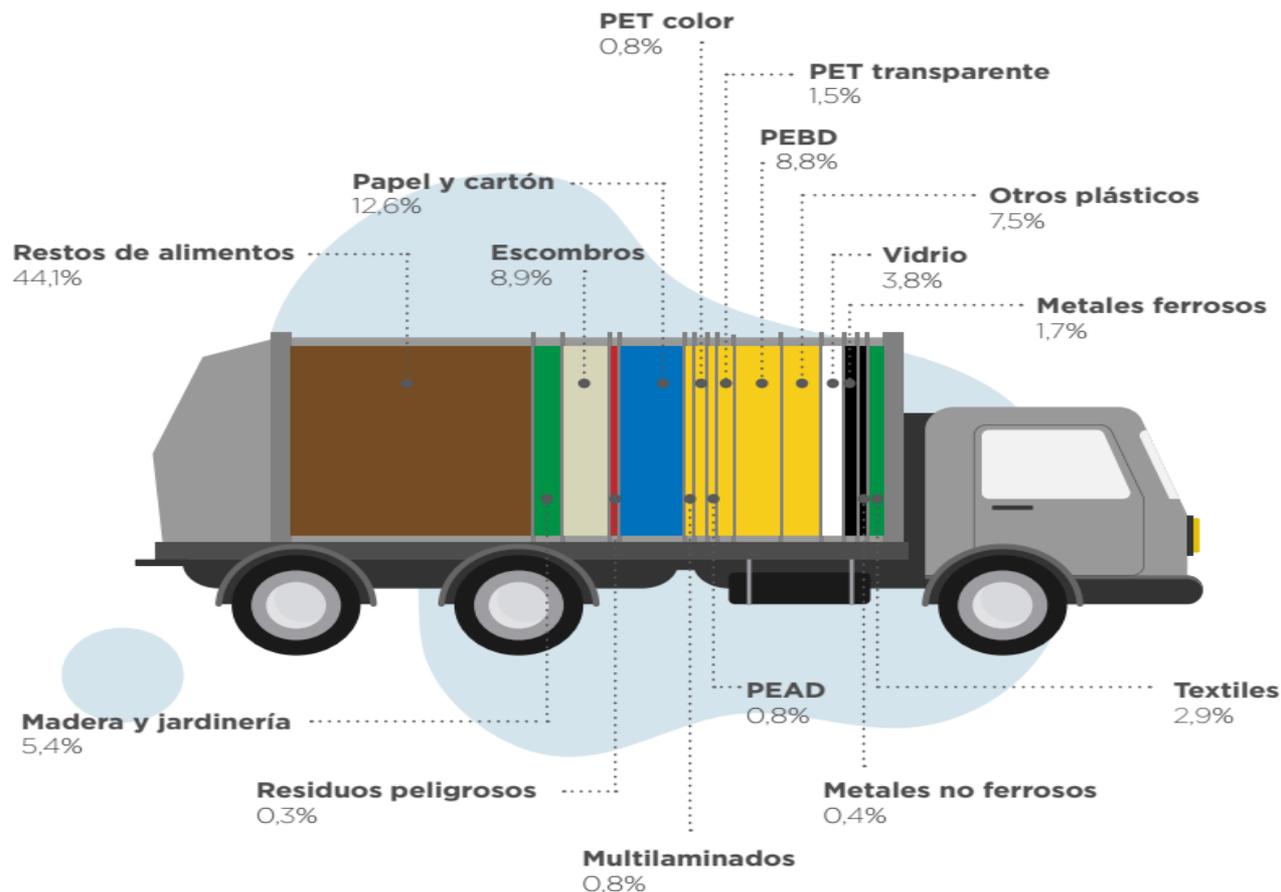




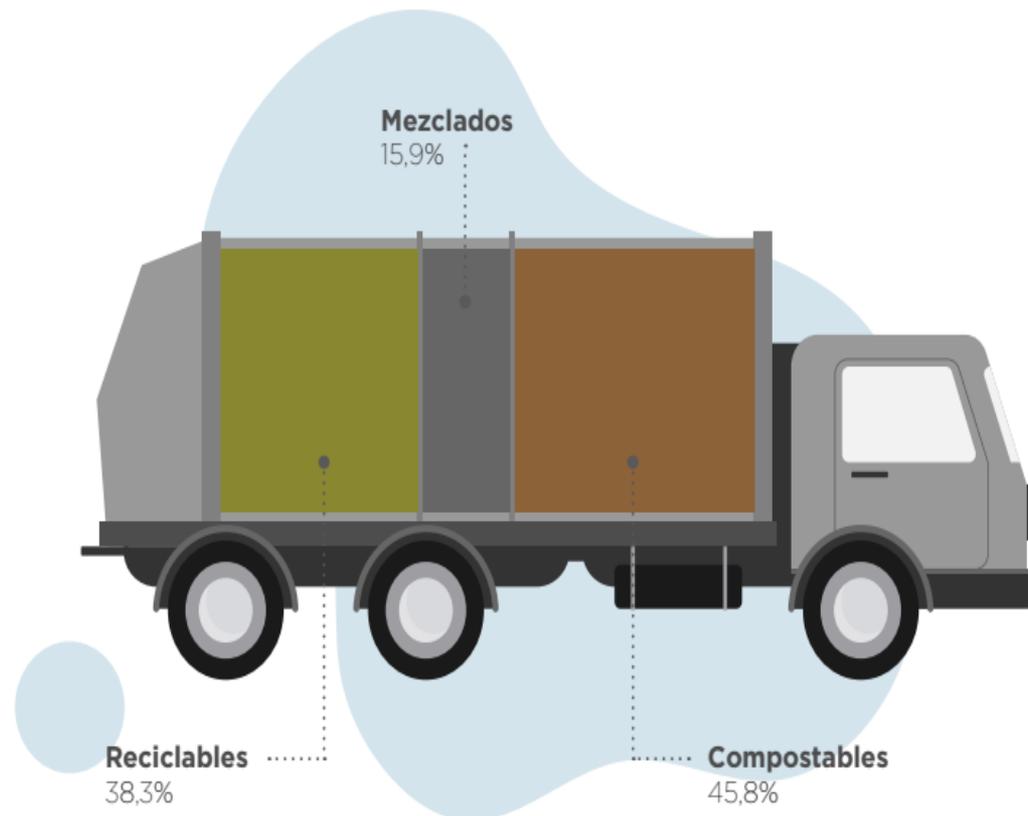


Fuente: Colturato et al. (2019).

- 1,32 habitantes en Montevideo millones de personas (INE, 2011).
- 895.000 Ton de Residuos ingresaron al Felipe Cardozo en 2018.
- 1.300 toneladas diarias de residuos de origen domiciliario y de limpieza pública.
- La tasa de disposición en relleno sanitario resultante es de 0,70 kg/persona-día y 0,29 kg/persona-día



Composición de residuos de origen domiciliario dispuestos en el relleno sanitario Felipe Cardoso, por peso, 2015 (en porcentaje)



Fuente: Colturato et al. (2019).

DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS



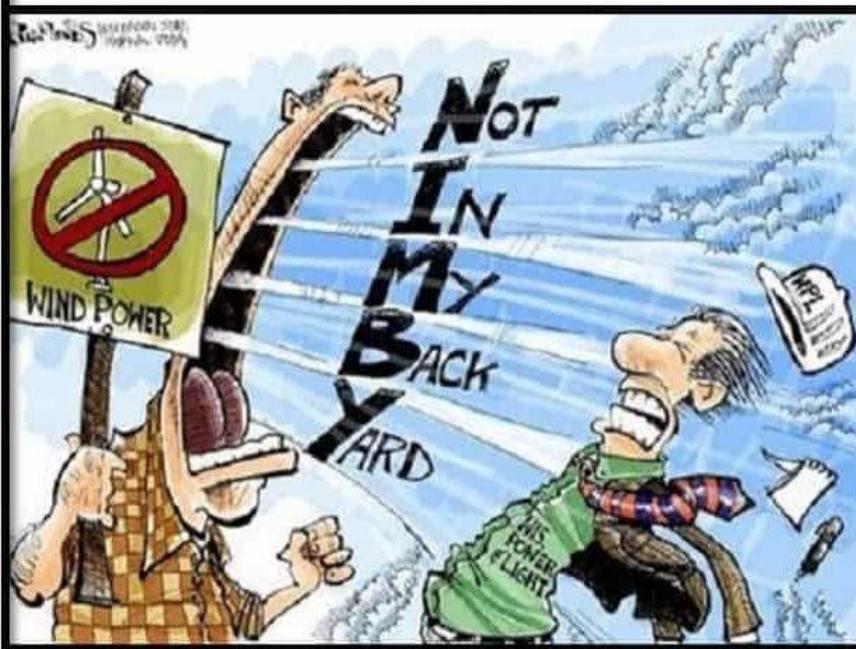
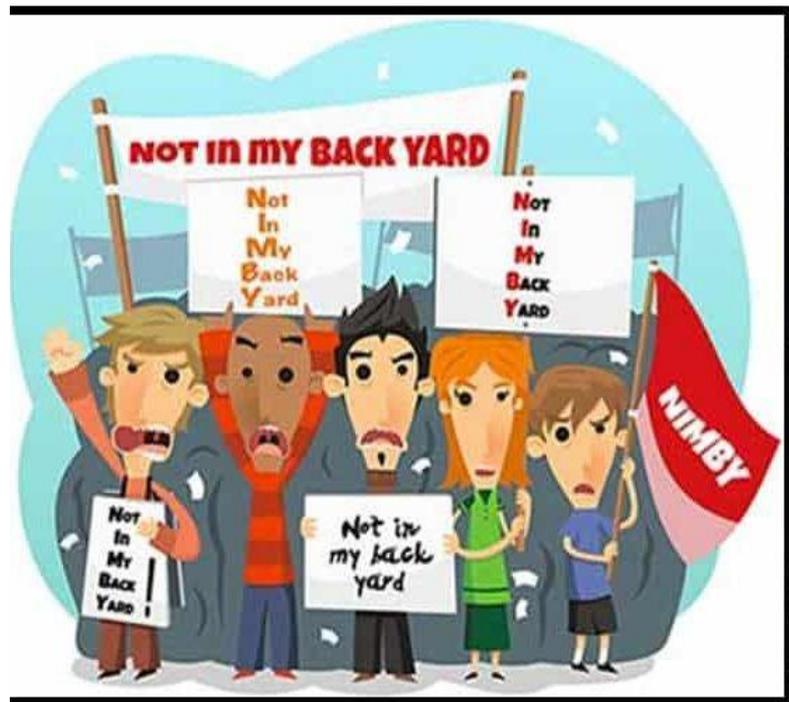
**Relleno
Sanitario**

DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS en Rellenos Sanitarios



DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

Pese a que hoy día sólo se diseñan rellenos sanitarios y no vertederos –controlados o no-, todavía tiene un peso muy grande el “fenómeno NIMBY”:



NIMBY

El fenómeno NIMBY amerita un análisis cuidadoso desde el punto de vista de los derechos y responsabilidades inherentes a los diferentes roles que los ciudadanos tienen, desde tengan en la sociedad.

*Los derechos individuales,
¿terminan cuando comienzan a primar los de la
comunidad?*

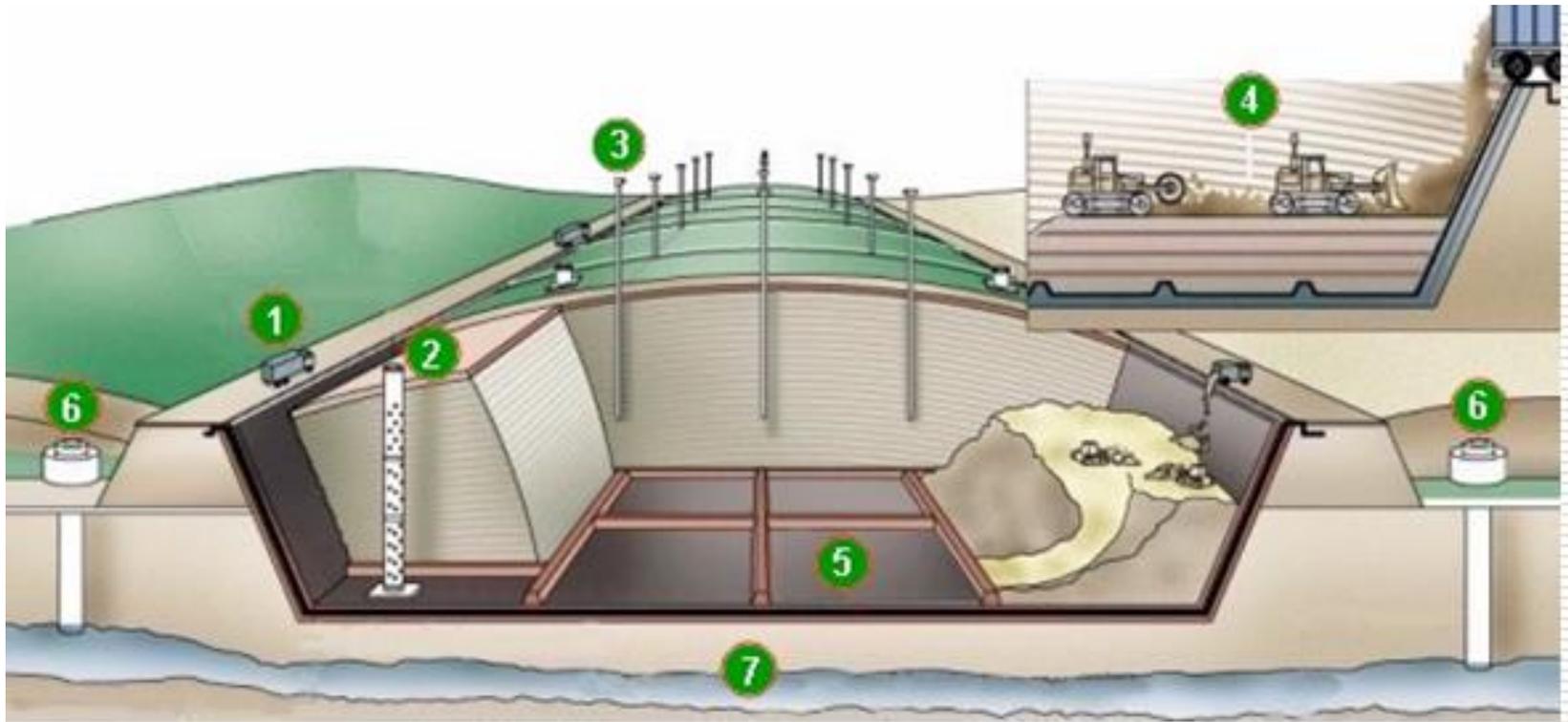
**Not In My
Backyard!**

DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

Elementos necesarios para que un sitio de disposición final de residuos sólidos sea un relleno sanitario:

- Preparación del terreno para lograr un fondo impermeable.
- Sistema de drenaje y tratamiento de lixiviados.
- Cobertura diaria.
- Sistema de recolección y venteo de gases.
- Monitoreo de variables ambientales.

Relleno sanitario - ESQUEMA



- | | | |
|----------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| 1. Circulación camiones. | 4. Cobertura del desecho | 7. Impermeabilización |
| 2. Gases. | 5. Módulo. | |
| 3. Extracción de líquidos | 6. Control de la napas. | |

Releno Sanitario

