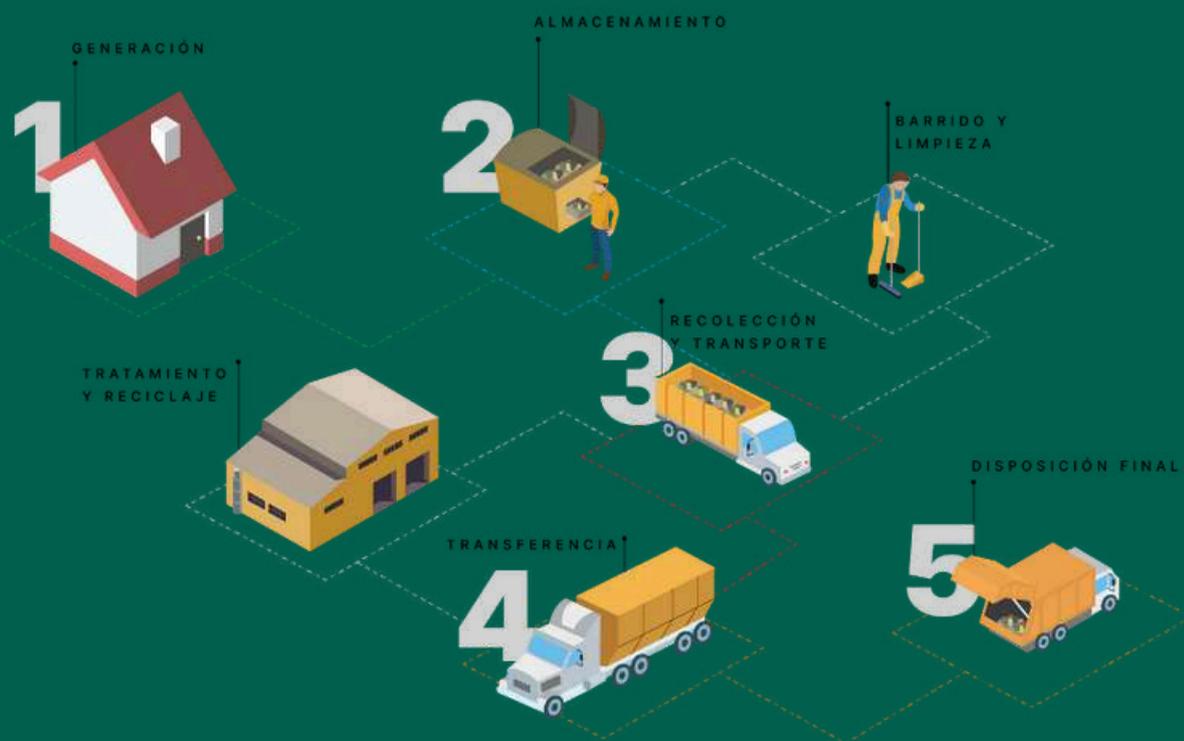


# MANUAL PARA LA PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN LOS PROCESOS DEL MANEJO INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)



Documento de trabajo elaborado por el Proyecto Nacional de Investigación e incidencia "Estrategia transdisciplinaria de investigación y resolución en la problemática de los residuos sólidos urbanos, aplicada en 6 ciudades mexicanas" del CIESAS unidad Golfo, apoyado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) en el marco de las actividades del Programa Nacional Estratégico Agentes Tóxicos y Procesos Contaminantes.

Septiembre 2024

## **Autoras**

Mtra. Regina Trigueros Esquiliano  
Ing. Candelario Fabián Fernández Escamilla

## **Colaboración Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales**

Biol. Josué Fausto Lino González  
Quím. Maricela Díaz Ortiz  
Ing. Sergio Fonseca Parra

## **Diseño Editorial**

Mtra. Elvia Gómez Arce  
Lic. Lucía Mondragón Vincent

Imagen de portada: SERVICIOS AMBIENTALES INTERNACIONALES

## 1. DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

- 1.1. GENERACIÓN
- 1.2. BARRIDO
- 1.3. ALMACENAMIENTO TEMPORAL
- 1.4. RECOLECCIÓN
- 1.5. TRANSFERENCIA
- 1.6. VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS
- 1.7. DISPOSICIÓN FINAL

## 2. NORMATIVA ASOCIADA AL CICLO DE LOS RESIDUOS

## 3. MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

- 3.1. PROBLEMÁTICA DEL MAL MANEJO
- 3.2. GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS Y EL IMPACTO AMBIENTAL POR EL MAL MANEJO
  - 3.2.1. BARRIDO
  - 3.2.2. ALMACENAMIENTO
  - 3.2.3. RECOLECCIÓN
  - 3.2.4. TRANSFERENCIA
  - 3.2.5. VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS
    - 3.2.5.1. RECICLAJE
    - 3.2.5.2. COMPOSTAJE
    - 3.2.5.3. COPROCESAMIENTO
    - 3.2.5.4. INCINERACIÓN
    - 3.2.5.5. DIGESTIÓN ANAEROBIA
    - 3.2.5.6. BIOGÁS
    - 3.2.5.7. PIRÓLISIS
    - 3.2.5.8. GASIFICACIÓN
  - 3.2.6. DISPOSICIÓN FINAL
    - 3.2.6.1. NOM-083-SEMARNAT-2003
    - 3.2.6.2. OPERACIONES BÁSICAS EN EL FRENTE DE TRABAJO

## 4. CONCLUSIONES

## 5. REFERENCIAS RECOMENDADAS

## 6. BIBLIOGRAFÍA

# RELACIÓN DE FIGURAS Y TABLAS

---

**FIGURA 1.** CICLO DE RESIDUOS  
**FIGURA 2.** ESTUDIO DE GENERACIÓN  
**FIGURA 3.** BARRIDO DE RESIDUOS  
**FIGURA 4.** ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS  
**FIGURA 5.** RECOLECCIÓN DE RESIDUOS  
**FIGURA 6.** VEHÍCULO DE TRANSFERENCIA  
**FIGURA 7.** RECUPERACIÓN DE PLÁSTICOS PARA RECICLAJE  
**FIGURA 8.** SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL (SDF)..  
**FIGURA 9.** JERARQUÍA DEL MARCO REGULATORIO AMBIENTAL.  
**FIGURA 10.** RESIDUOS EN ECOSISTEMAS MARINOS  
**FIGURA 11.** RECOMENDACIONES DE EQUIPO DE PROTECCIÓN PARA PERSONAL DE BARRIDO.  
**FIGURAS 12 Y 13.** BARRIDO MANUAL Y MECÁNICO  
**FIGURA 14.** ACUMULACIÓN DE RESIDUOS POR INADECUADO SERVICIO DE BARRIDO.  
**FIGURA 15.** CONTENEDORES FRECUENTEMENTE UTILIZADOS PARA ALMACENAMIENTO EN MÉXICO.  
**FIGURA 16.** TIPOS DE RECIPIENTES  
**FIGURA 17.** CONTENEDORES GRAN CAPACIDAD  
**FIGURA 18.** ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS  
**FIGURA 19.** MÉTODO DE PARADA FIJA  
**FIGURA 20.** TIPOS DE VEHÍCULOS DE RECOLECCIÓN.  
**FIGURA 21.** TIRADERO CLANDESTINO EN VÍA PÚBLICA, RÍO ATOYAC. ELABORACIÓN PROPIA.  
**FIGURA 22.** OPERACIÓN EN ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA SIN CONTROLES  
**FIGURA 23.** RECICLAJE INFORMAL  
**FIGURA 24.** PLANTA DE COMPOSTAJE DE C.U., UNAM.  
**FIGURA 25.** COLOCACIÓN DE LA GEOMEMBRANA IMPERMEABLE.  
**FIGURA 26.** BARRERA IMPERMEABLE.  
**FIGURA 27.** POZOS BIOGÁS.  
**FIGURA 28.** LAGUNA DE LIXIVIADOS.  
**FIGURA 29.** CANALES PARA AGUA PLUVIAL.  
**FIGURA 30.** COBERTURA DE RESIDUOS LAS MATAS.  
**FIGURA 31.** CLAUSURA DE SDF LAS MATAS.  
**FIGURA 32.** TIRADERO A CIELO ABIERTO.

**TABLA 1.** NORMATIVIDAD EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE  
**TABLA 2.** MARCO REGULATORIO FEDERAL Y GENERAL  
**TABLA 3.** MARCO REGULATORIO ESTATAL  
**TABLA 4.** INFRAESTRUCTURA PARA UNA ESTACIÓN DE TRASFERENCIA DE CARGA DIRECTA  
**TABLA 5.** EQUIPAMIENTO PARA ESTACIONES DE TRANSFERENCIA  
**TABLA 6.** RESTRICCIONES PARA LA SELECCIÓN DE UN SDF  
**TABLA 7.** CATEGORÍAS DE LOS SDF  
**TABLA 8.** ESTUDIOS Y ANÁLISIS REQUERIDOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE SDF  
**TABLA 9.** REQUERIMIENTOS DE COMPACTACIÓN  
**TABLA 10.** OBRAS COMPLEMENTARIAS  
**TABLA 11.** EQUIPOS EN RELLENOS SANITARIOS

El presente manual describe las etapas operativas del Manejo Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (MIRSU) y como cada una de ellas, al ser mal ejecutadas, generan diversas afectaciones al ambiente y a la salud pública. Para ello se revisaron los artículos científicos más importantes en el manejo de RSU, abarcando información tanto a nivel nacional como internacional.

Un eficiente manejo de residuos sólidos urbanos integra un conjunto de acciones necesarias para minimizar los impactos al medio ambiente y a la salud de las personas, desde su generación, ya sea desde hogares, empresas y servicios en un municipio o ciudad, pasando por el almacenamiento, recolección, transferencia, tratamiento (reciclaje y valorización) y hasta la disposición final.

En este trabajo se presenta la información en el orden del ciclo de los residuos, identificando las malas prácticas existentes en la MIRSU y también, describiendo los procedimientos requeridos para una adecuada operación en cada una de las etapas del MIRSU.

La Meta 2023-OINV6-M5 “Manuales para la protección del medio ambiente en los procesos del MIRSU” da como resultado un documento que permite acercar a la población y a los responsables de limpia pública del país, sobre la importancia de ejecutar las diferentes tareas del MIRSU de manera correcta y eficaz, ya que logrando esto, se lograría aminorar los daños ambientales ocasionados por las malas prácticas en el MIRSU.

El objetivo principal de este manual es proporcionar a los trabajadores y responsables de la gestión de residuos sólidos urbanos las herramientas y pautas necesarias para llevar a cabo sus actividades de manera más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

Buscamos fomentar la conciencia ambiental y promover prácticas que minimicen el impacto negativo de los residuos sólidos urbanos en nuestros ecosistemas, contribuyendo así a un entorno más limpio y saludable para las generaciones presentes y futuras.

# DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

---

# DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

En el ciclo de los residuos sólidos, la población y las autoridades tienen un papel relevante. La población participa en las etapas de: generación, separación y almacenamiento, las cuales marcan una demanda de los servicios de aseo urbano, por otra parte, participan activamente en el almacenamiento temporal de los mismos hasta que estos son entregados al sistema de limpieza pública. De acuerdo con el Artículo 10 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), los municipios tienen a su cargo las funciones de barrido, recolección, traslado, tratamiento, y disposición final de los residuos.

Es fundamental conocer el ciclo de los residuos (*Figura 1*) para comprender cómo interactúan las diferentes etapas: desde la generación, recolección y hasta el tratamiento y disposición final.

Comprender esta estructura facilita la implementación de medidas eficaces de inversión en infraestructura, reducción, reutilización y reciclaje, promoviendo la gestión sostenible de los recursos y la minimización del impacto ambiental y social asociado a los residuos.

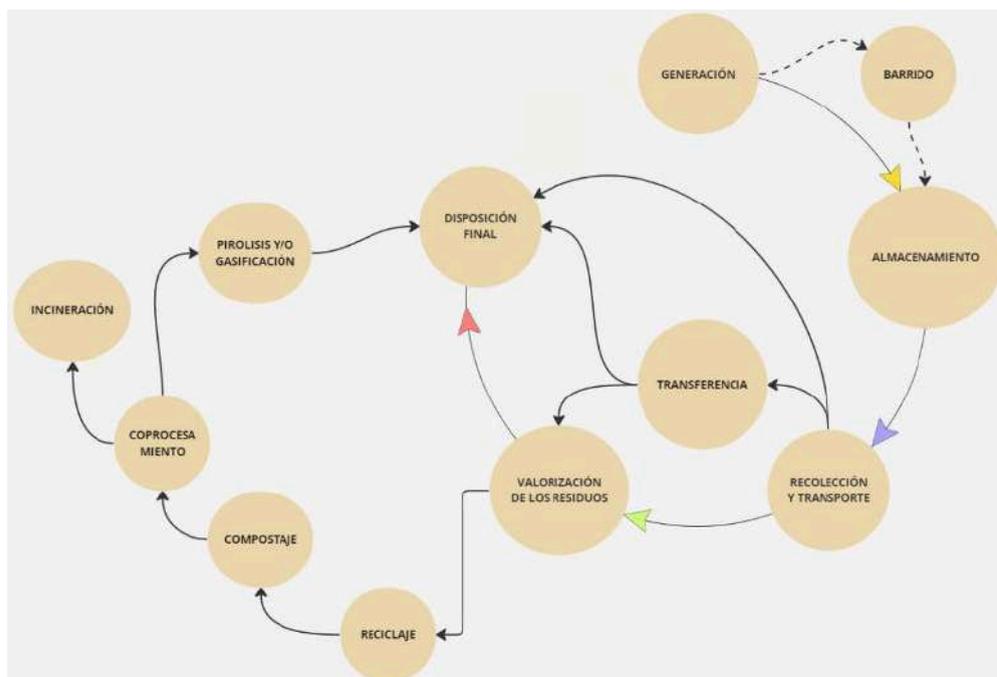


Figura 1. Ciclo de residuos

Fuente: Elaborado por Mayra Berenice López Bermúdez

# DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

---

El ciclo del manejo de los RSU debe considerar por una parte la menor generación de residuos y por la otra el mayor aprovechamiento de estos, de tal forma que se pueda minimizar la cantidad de recursos destinados a un SDF.

Asimismo, a partir de la acumulación de estos residuos es que se debe prestar el servicio público de limpia a fin de que se trasladen a un espacio adecuado para su tratamiento y evitar contaminación, suciedad, deterioro al ambiente, entre otros.

Por último, los residuos que no se puedan, en primera instancia: reutilizar, reciclar, se deberán aprovechar con alguna otra tecnología y en caso de que no tengan posibilidad de aprovechamiento, se llevarán a un SDF que cumpla con la normatividad que permita minimizar el daño ambiental. El servicio debe prestarse desde una perspectiva de sostenibilidad, lo que significa que por una parte se debe

buscar la máxima valorización de los residuos generados ya sea mediante su reúso, reciclaje o aprovechamiento térmico, pero también que aquellos residuos que no se puedan aprovechar se destinen en un sitio adecuado (SEGOB, 2022).

Dentro de este manual se asume la recolección diferenciada como práctica estándar, esencial para cualquier comunidad que aspire a un sistema de manejo de residuos sólidos urbanos efectivo y sostenible.

Por lo tanto, todas las pautas y recomendaciones que se presentan en este manual se basan en esta premisa fundamental: la separación en la fuente es el primer paso imprescindible hacia un manejo eficiente y respetuoso con el medio ambiente.

# DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

## 1.1. GENERACIÓN

La generación de residuos abarca las actividades en las que los materiales son identificados sin ningún valor adicional, y son desechados (Tchobanoglous et al., 1994). De acuerdo con la LGPGIR, es la acción de producir residuos a través del desarrollo de procesos productivos o de consumo.

Ahora bien, en la generación hay diferentes conceptos, los cuales se explican a continuación:

**A) Tasa de generación:** es la cantidad promedio que genera una unidad o componente de una fuente de generación en la unidad de tiempo. Algunos ejemplos de tasas de generación son:

- Domiciliarias: kg/hab/día, g/hab/día
- Industriales: kg/día, t/día, t/semana
- Comerciales: kg/empleador/día, kg/m<sup>2</sup>
- Hoteles: kg/huésped/día, kg/cuarto/día
- Hospitalarias: kg/cama/día
- Parques: kg/paseante/día

**B) Fuente de generación:** es todo sitio donde se originan residuos debido a la actividad humana.

**C) Tipos de fuentes:** domiciliarios, industriales, comerciales.

Para conocer la cantidad de residuos generados debe hacerse un estudio de generación (**Figura 2**). Este estudio es un conjunto de actividades planeadas que tienen como objetivo determinar la generación media, la composición y las características físicas, químicas y biológicas de los residuos sólidos que se originan en una fuente de generación cualquiera.



**Figura 2. Estudio de Generación**  
Fuente: Pronaii Residuos

Cuando se realiza un estudio de generación, es importante basarse en las normas que se tienen actualmente en el país. Entre las normas que se pueden consultar, se encuentran las siguientes:

# DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

## 1.1. GENERACIÓN

**A) Norma Mexicana NMX-AA-15-1985.** Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Muestreo - Método de Cuarteo. Establece el método de cuarteo para residuos sólidos municipales y la obtención de especímenes para los análisis en el laboratorio.

**B) Norma Mexicana NMX-AA-19-1985.** Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Peso Volumétrico "IN SITU". Establece un método para determinar el peso volumétrico de los residuos sólidos municipales en el lugar donde se efectuó la operación de "cuarteo".

**C) Norma Mexicana NMX-AA-22-1985.** Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Selección y Cuantificación de Subproductos. Establece la selección y el método para la cuantificación de subproductos contenidos en los residuos sólidos municipales.

**D) Norma Mexicana NMX-AA-61-1985.** Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Determinación de la generación. Especifica un método para determinar la generación de residuos sólidos municipales a partir de

un muestreo estadístico aleatorio. Para efectos de aplicación de esta norma los residuos sólidos municipales se subdividen en domésticos (que son los generados en casas habitación) y en no domésticos (generados fuera de las casas habitación).

## 1.2. BARRIDO



**Figura 3. Barrido de residuos**  
Fuente: Pronaii Residuos

Esta etapa se refiere a la actividad de remoción de residuos sólidos de áreas públicas, como calles, parques, aceras, entre otros lugares, con el fin de mantener limpio el entorno urbano. El barrido de calles y áreas públicas se efectúa principalmente en las vías pavimentadas de intensa circulación peatonal y puede ser manual o mecánico.

# DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

## 1.3. ALMACENAMIENTO TEMPORAL

Es la acción de retener temporalmente los residuos sólidos, en tanto se recolectan para su posterior transporte a las estaciones de transferencia, tratamiento o disposición final. Cabe mencionar que, si el almacenamiento se hace de la manera correcta, la recolección será más eficaz y el transporte será más económico y eficiente; además, es necesario el almacenamiento debido a la dificultad de recolectar o disponer los residuos en el preciso momento en que se generan.



Figura 4. Almacenamiento de residuos

Fuente: Pronaii Residuos

## 1.4. RECOLECCIÓN

La recolección consiste en recoger los residuos dispuestos en puntos indicados y su carga en los vehículos recolectores hasta su descarga en los sitios de disposición final (SDF) o en su entrega a alguna planta procesadora para su aprovechamiento (SEGOB, 2022).

La recolección es un elemento esencial en el manejo de residuos (*Figura 5*). La falta de un sistema adecuado de recolección interrumpe por completo el flujo del manejo de los residuos y los generadores de residuos recurren a prácticas ilegales e indeseables, como el depósito en sitios prohibidos y la quema de residuos (Mohee et al., 2015).

Los sistemas de recolección son componentes importantes de un sistema de gestión de residuos en términos de costos y recursos (Rodrigues et al., 2016). Son responsables de una proporción significativa de los gastos de las autoridades e implican problemas operativos complejos (Faccio et al., 2011). Debido al gran consumo de combustible y mano de obra involucrada, la recolección constituye una parte importante de los costos, representando del 50 al 75 % del monto total de la gestión de residuos (Tavares et al., 2009).



Figura 5. Recolección de residuos

Fuente: Pronaii Residuos

# DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

## 1.5. TRANSFERENCIA

El objetivo principal de las estaciones de transferencia es recibir los residuos sólidos de los vehículos de recolección y transferirlos a uno de mayor capacidad para transportarlos hasta las plantas de separación o a los SDF. Por lo general, los vehículos de transferencia (ver Figura 6) llegan a transportar una carga útil de aproximadamente de 20 a 25 toneladas de residuos, y reciben un promedio de cinco a seis vehículos de recolección (Instituto Nacional de Ecología [INE], 1996).



**Figura 6. Vehículo de transferencia -  
Presentación Estaciones de Transferencia**  
Fuente: Mayra Berenice López Bermúdez

Las estaciones de transferencia son infraestructuras clave en el manejo eficiente de residuos sólidos. Conviene instalar una estación de transferencia en áreas urbanas o regiones donde la generación de residuos es alta y constante, y donde la distancia hasta los sitios de disposición final es considerable.

Estas estaciones son especialmente beneficiosas en zonas densamente pobladas, donde la recolección directa de residuos de cada hogar o negocio hasta el lugar de disposición final sería costosa y poco práctica.

Además, las estaciones de transferencia son útiles en áreas donde las condiciones geográficas o ambientales hacen difícil o inseguro tener sitios de disposición final cercanos a las comunidades. Al centralizar la recolección de residuos en una estación de transferencia, los vehículos de transporte pueden cargar grandes volúmenes de desechos de múltiples fuentes en un solo lugar. Esto no solo reduce los costos operativos al optimizar las rutas de transporte, sino que también facilita el monitoreo y control de los desechos, asegurando que se manejen de acuerdo con las normativas ambientales.

Entre las ventajas que presentan las estaciones de transferencia, están las siguientes:

- Disminución de los costos globales de transporte y de horas improductivas de mano de obra empleada en la recolección.

# DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

## 1.5. TRANSFERENCIA

- Reducción del tiempo improductivo de los vehículos de recolección en su recorrido al sitio de disposición final.
- Aumento de la vida útil y disminución en los costos de mantenimiento de los vehículos recolectores.
- Incremento en la eficiencia del servicio de recolección, por medio de una cobertura más homogénea y balanceada en las rutas de recolección.
- Mayor regularidad en el servicio de recolección, debido a la disminución de desperfectos de ejes, muelles, suspensiones y llantas que sufrían al transitar hasta el SDF.
- Reducción en la contaminación ambiental.
- Se reducen las afectaciones a la salud pública.

## 1.6. VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS

La valorización de residuos se refiere al proceso de maximizar el valor económico y ambiental de estos, transformándolos en recursos que puedan reintegrarse nuevamente en procesos productivos en lugar de simplemente eliminarlos. Este enfoque implica una serie de técnicas y prácticas que van más allá del simple reciclaje.

La valorización de residuos incluye la reutilización, remanufactura, reciclaje,

compostaje, recuperación de energía y otros métodos que permiten aprovechar al máximo los materiales y recursos presentes en los residuos. A continuación, se describen las formas más comúnmente utilizadas para la valorización de residuos:



Figura 7. Recuperación de plásticos para reciclaje  
Fuente: Pronaii Residuos

**El reciclaje** puede considerarse como el proceso gradual de recuperación y reprocesamiento de recursos hasta su nivel de consumo óptimo sin generar costos ambientales adicionales (Khan et al., 2019). De acuerdo con la LGPGIR el aprovechamiento de los residuos se refiere al conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado (**Figura 7**) y recuperación de materiales secundarios o de energía.

# DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

---

## 1.6. VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS

Para llevar a cabo esta etapa se realizan las siguientes actividades:

- A) Recuperación de materiales.
- B) Clasificación y compactación.
- C) Transporte.
- D) Procesamiento de transformación.

**El compostaje** es un proceso de descomposición biológica, por vía aerobia, de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos urbanos en condiciones controladas. Las bacterias actuantes son termofílicas, desarrollándose el proceso a temperaturas comprendidas entre 50 y 70°C, lo que produce la eliminación de los gérmenes patógenos y la inocuidad del producto. Mediante el compostaje se recupera la fracción orgánica para su empleo en la agricultura, como abono.

**El coprocesamiento** es el uso de materiales derivados de residuos para reemplazar recursos minerales naturales y/o combustibles fósiles tradicionales como carbón, combustóleo y gas natural en procesos industriales y se aplica a nivel mundial principalmente en la industria cementera y en plantas termoeléctricas. Mediante diferentes procesos de tratamiento previo (procesamiento), los residuos se pue-

den transformar en llamados Combustibles Derivados de Residuos (CDR).

**La incineración** de residuos sólidos urbanos (IRSU) es la quema de residuos en un proceso controlado dentro de instalaciones específicas construidas para tal propósito. El objetivo principal de la IRSU es reducir el volumen y la masa de RSU, y convertirlos químicamente en materiales inertes en un proceso de combustión sin la necesidad de agregar combustible adicional (combustión autotérmica). Como efecto secundario, también permite la recuperación de energía, minerales y metales del flujo de residuos.

**La digestión anaerobia** (DA) es la descomposición de materia orgánica mediante microorganismos en ausencia de oxígeno libre. La DA ocurre en forma natural en condiciones carentes de oxígeno, como en el sedimento de algunos lagos, y se puede utilizar en condiciones controladas para generar biogás. Para ese propósito se usa un reactor hermético, llamado digestor anaeróbico, para proveer las condiciones favorables para que los microorganismos conviertan la materia orgánica, el sustrato, en biogás y un

# DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

---

## 1.6. VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS

residuo sólido-líquido llamado digestato.

**La Captura de Gas de Relleno Sanitario** (GRS) representa un tipo de tecnología de aprovechamiento energético de residuos, esencial para parcialmente mitigar los impactos climáticos negativos de la operación de rellenos sanitarios (RS), para lo cual el gas metano generado en el relleno sanitario debe ser capturado lo más posible.

**La pirólisis y/o gasificación** es la desgasificación de residuos en condiciones controladas con oxígeno, durante la cual se forma gas de pirólisis y un coque sólido. El objetivo de ambas es el tratamiento de los residuos para reducir su volumen y peligrosidad, al mismo tiempo de capturar (y concentrar) o destruir sustancias potencialmente dañinas. El proceso ofrece también un medio para recuperar energía, contenido mineral y/o químico de los residuos en la forma de productos de “reciclaje” útiles como gas de síntesis, combustóleo, carboncillo o coque.

## 1.7. DISPOSICIÓN FINAL

La disposición final es la última etapa del ciclo del manejo de los residuos la cual no puede ser evitada ya que, independientemente del manejo y tratamiento que se le otorguen, siempre existirá una parte por disponer, siendo el relleno sanitario el método adecuado para realizar dicha disposición. De acuerdo con la NOM-083-SEMARNAT-2003, los SDF se clasifican en:

**A) Relleno sanitario:** obra de infraestructura que involucra métodos y obras de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, con el fin de controlar, a través de la compactación e infraestructura adicional, los impactos ambientales.

**B) Sitio controlado:** Sitio inadecuado de disposición final que cumple con las especificaciones de un relleno sanitario en lo que se refiere a obras de infraestructura y operación, pero no cumple con las especificaciones de impermeabilización.

**C) Sitio no controlado:** sitio inadecuado de disposición final que no cumple con los requisitos establecidos en la NOM-083-SEMARNAT-2003, estos sitios también son conocidos como “Tiradero a Cielo Abierto”. Estos sitios son fuentes generadoras de contaminantes y afectaciones al ambiente.

# DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

## 1.7. DISPOSICIÓN FINAL

El relleno sanitario, en contraste con los sitios controlados y no controlados (**Figura 8**), es un medio de disposición final amigable con el ambiente para los residuos sólidos. La estructura general de un relleno sanitario incluye sistemas de impermeabilización para el fondo y taludes del relleno sanitario, sistema de recolección y drenaje de biogás, cobertura diaria y cubierta de cierre final, tratamiento de lixiviados, utilización de gases de relleno sanitario, entre otros (Youcai y Ziyang, 2017).

Es esencial reconocer que un "sitio no controlado" no representa una alternativa responsable ni sostenible para el manejo de los residuos. Los sitios no controlados, también conocidos como tiraderos a cielo abierto, carecen de las estructuras y sistemas necesarios para contener de manera segura los residuos. Esto puede llevar a la contaminación del suelo, agua y aire, así como a la propagación de enfermedades y afecciones de salud pública.



Figura 8. Sitios de disposición final (SDF)

Fuente: SICA

# NORMATIVA ASOCIADA AL CICLO DE LOS RESIDUOS

---

# NORMATIVA ASOCIADA AL CICLO DE LOS RESIDUOS

---

Una vez que se ha adquirido una comprensión integral del ciclo de residuos, resulta igualmente crucial familiarizarse con el marco legal que lo regula para posteriormente, poder entender tanto las afectaciones de las malas prácticas, así como al guía para un buen manejo.

Si bien en México no existen normas específicas para cada etapa, es fundamental conocer el marco jurídico de referencia que proporciona las bases legales para la gestión adecuada de los residuos.

El artículo 115 fracción III de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece las atribuciones de los municipios en materia de servicios públicos, incluyendo la recolección, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos urbanos (RSU). Este artículo sienta las bases para que los municipios mexicanos asuman la responsabilidad de gestionar adecuadamente los residuos generados en sus localidades.

Posteriormente, en 1988 se promulgó la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), que establece las disposiciones generales para la protección del medio ambiente.

en México. Esta ley proporciona el marco jurídico para la regulación de diversas actividades que pueden tener impacto ambiental, incluida la generación, manejo y disposición final de los residuos.

En el año 2003, se publicó la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), que tiene como objetivo establecer los principios, bases generales, instrumentos de política, así como los procedimientos y criterios para la prevención y gestión integral de los residuos. Esta ley reconoce la importancia de adoptar un enfoque integral y sostenible en la gestión de los residuos, promoviendo la reducción en su generación, la reutilización, el reciclaje y otras prácticas que minimicen su impacto ambiental.

Para complementar la LGPGIR, el 30 de noviembre de 2006 se publicó su Reglamento que tiene por objeto reglamentar la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y rige en todo el territorio nacional y las zonas donde la Nación ejerce su jurisdicción. Asimismo, se han emitido diversos ordenamientos normativos específicos que regulan aspectos particulares en la gestión de residuos.

# NORMATIVA ASOCIADA AL CICLO DE LOS RESIDUOS

A continuación, en la **Tabla 1** se presenta el Marco Regulatorio respecto al manejo de RSU en América Latina y el Caribe y se analizan las leyes específicas y las normativas aplicables,

así como el marco legal mexicano, el cual, aplicándolo cabalmente, proporciona las herramientas necesarias para impulsar una gestión integral y responsable de los residuos en el país.

**Tabla 1. Normatividad en América Latina y el Caribe**

País	Normatividad
Argentina	Ley 25,916. Gestión de Residuos Domiciliarios. Las disposiciones a la ley establecen los presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de los residuos domiciliarios, sean éstos de origen residencial, urbano, comercial, asistencial, sanitario, industrial o institucional, con excepción de aquellos que se encuentren regulados por normas específicas.
Bolivia	Ley 755. Gestión Integral de Residuos en el Estado Plurinacional de Bolivia. La presente Ley tiene por objeto establecer la política general y el régimen jurídico de la Gestión Integral de Residuos en el Estado Plurinacional de Bolivia, priorizando la prevención para la reducción de la generación de residuos, su aprovechamiento y disposición final sanitaria y ambientalmente segura, en el marco de los derechos de la Madre Tierra, así como el derecho a la salud y a vivir en un ambiente sano y equilibrado
Brasil	Ley 12,305 de Residuos. Es la principal directriz del gobierno federal para la gestión de residuos en Brasil. En los últimos años, varios ministerios y organismos gubernamentales han tenido asignaciones relacionadas al tema, destacándose entre ellos el Ministerio de Medio Ambiente (MMA), el Ministerio de las Ciudades (MCIAS) y la Fundación Nacional de Salud (FUNASA).
Colombia	Decreto 4741. Tiene por objeto prevenir la generación de residuos o desechos peligrosos, así como regular el manejo de los residuos o desechos generados, con el fin de proteger la salud humana y el ambiente
Costa Rica	Ley 8,839 para la Gestión de Residuos. Esta Ley tiene por objeto regular la gestión integral de residuos y el uso eficiente de los recursos, mediante la planificación y ejecución de acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, ambientales y saludables de monitoreo y evaluación.
Cuba	Ley 41 de 1983. Establece los principios básicos para la regulación de las relaciones sociales en la salud pública. En cuanto a los residuos sólidos comunes dispone, en su artículo 65, que el Ministerio de Salud Pública dicta medidas relacionadas con el control sanitario del ambiente referido a la prevención de la atmósfera, suelos y aguas, así como de los residuos sólidos comunes.

Fuente: Elaboración propia con base en las Normativas en América Latina y el Caribe respecto al manejo de RSU

# NORMATIVA ASOCIADA AL CICLO DE LOS RESIDUOS

**Tabla 1. Normatividad en América Latina y el Caribe**

País	Normatividad
El Salvador	Ley de gestión integral de residuos y fomento al reciclaje. Esta ley tiene por objeto lograr el aprovechamiento y disposición final sanitaria y ambientalmente segura de los residuos, a fin de proteger la salud de las personas, el medio ambiente y fomentar una economía circular, a través del establecimiento de una visión sistémica en la gestión integral de los residuos, la determinación de los actores y su forma de interacción, y la asignación de responsabilidades para lograr cambios conductuales en la población.
México	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Tiene por objeto garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación.
Paraguay	Ley 3,956 Gestión Integral de los residuos sólidos en la República de Paraguay. Esta Ley tiene por objeto el establecimiento y aplicación de un régimen jurídico a la producción y gestión responsable de los residuos sólidos, cuyo contenido normativo y utilidad práctica deberá generar la reducción de los mismos, al mínimo, y evitar situaciones de riesgo para la salud humana y la calidad ambiental.
Perú	Decreto Legislativo No. 1,278 - Ley de gestión integral de residuos sólidos. Establece derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, con la finalidad de propender hacia la maximización constante de la eficiencia en el uso de los materiales y asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos económica, sanitaria y ambientalmente adecuada.
República Dominicana	Ley General de Gestión Integral y Coprocesamiento de Residuos Sólidos, No. 225-20. G. O. No. 10990. Esta Ley tiene por objeto prevenir la generación de residuos, además de establecer el régimen jurídico de su gestión integral para fomentar la reducción, reutilización, reciclaje, aprovechamiento y valorización, así como regular los sistemas de recolección, transporte y barrido; los sitios de disposición final, estaciones de transferencia, centros de acopio y plantas de valorización; con la finalidad de garantizar el derecho de toda persona a habitar en un medio ambiente sano, proteger la salud de la población, así como disminuir la generación de gases de efecto invernadero, emitidos por los residuos.
Venezuela	Ley de Gestión Integral de la Basura. Establece las disposiciones regulatorias para la gestión integral de la basura, con el fin de reducir su generación y garantizar que su recolección, aprovechamiento y disposición final sea realizada en forma sanitaria y ambientalmente segura.

Fuente: Elaboración propia con base en las Normativas en América Latina y el Caribe respecto al manejo de RSU

# NORMATIVA ASOCIADA AL CICLO DE LOS RESIDUOS

---

En América Latina y el Caribe ha prevalecido el manejo de los residuos bajo el esquema de “recolección y disposición final” dejando a un lado el aprovechamiento, reciclaje y tratamiento de los residuos, así como la disposición final con aprovechamiento energético. En muchos países de la región se utilizan los tiraderos a cielo abierto sin las debidas especificaciones técnicas; se continúa con la práctica de recolección sin clasificación y/o separación de los residuos desde el origen; existe un enorme número de recolectores trabajando en las calles y en los SDF.

Igualmente, en América Latina aún se llevan a cabo prácticas de manejo de residuos que involucra al sector informal y los problemas que enfrenta esta población. Para enfrentar esta desigualdad, Colombia ha trabajado en la formalización del sector informal, con el Decreto 596 de 2016 que reforma y adiciona el Decreto 1077 de 2015 respecto del esquema de la actividad de utilización del servicio público de saneamiento y el régimen transitorio para la formalización de los recicladores, junto con otras provisiones. Entre los logros significativos de dicha regulación, está la remuneración a los recicladores que demuestren que el reciclaje es la

actividad económica a la que se dedican (Gómez-Maldonado et al., 2023).

Brasil es otro ejemplo de éxito en la mejora de condiciones del sector informal, ya que ha servido como referente mundial para mejorar las tasas de formalización de la actividad y no estigmatizarla, a través de la ley “National Solid Waste Policy” (da Silva et al., 2019).

En el aprovechamiento de residuos por medio del compostaje, pese a que la materia orgánica representa un alto porcentaje de los RSU, las prácticas de compostaje no se encuentran proporcionalmente desarrolladas. Sin embargo, la Dirección de Gestión Ambiental (DIGA) en la comuna de La Pintana, en el sur de Santiago de Chile región donde es importante resaltar la existencia de programas de compostaje y lumbricultura, existe un caso de éxito respecto al aprovechamiento de residuos orgánicos, con ellos se reducen 30 t/día de las 150 t/día generadas en la comuna (20%). Este programa de compostaje está incluido dentro de la gestión integrada de residuos que parte de la recolección selectiva y donde la educación de la comunidad, el reciclaje, la recuperación de energía y el

# NORMATIVA ASOCIADA AL CICLO DE LOS RESIDUOS

compostaje poseen roles protagónicos (CEPAL, 2016).

Para México, se identifican leyes, reglamentos, normas y demás disposiciones jurídico-administrativas, del orden federal y generales que se consideran necesarias como marco regulatorio en materia de Gestión Integral de Residuos Sólidos y en las que se basa el presente documento.

Tras considerar el marco jurídico nacional e internacional que regula la gestión de residuos en México, incluyendo la Constitución Política, diversos tratados internacionales, y leyes generales sobre el equilibrio ecológico y la gestión integral de residuos, es fundamental abordar también las legislaciones a nivel estatal y municipal.

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos instruye a estados y municipios a adecuar sus legislaciones correspondientes en tanto éstas en ningún caso sean anticonstitucionales o inconstitucionales.

Las leyes estatales vigentes en materia de residuos se pueden consultar en la siguiente liga:

<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/gobiernos.htm>

Tabla 2. Marco regulatorio Federal y General	
MARCO JURÍDICO FEDERAL Y GENERAL	
CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS.	
CONVENIOS Y TRATADOS INTERNACIONALES	
LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE.	
LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS.	
REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS.	
NORMAS OFICIALES MEXICANAS.	
PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2019-2024.	
PROGRAMA NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS 2022-2024	
PROGRAMA NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL 2022-2024	

Fuente: Elaboración

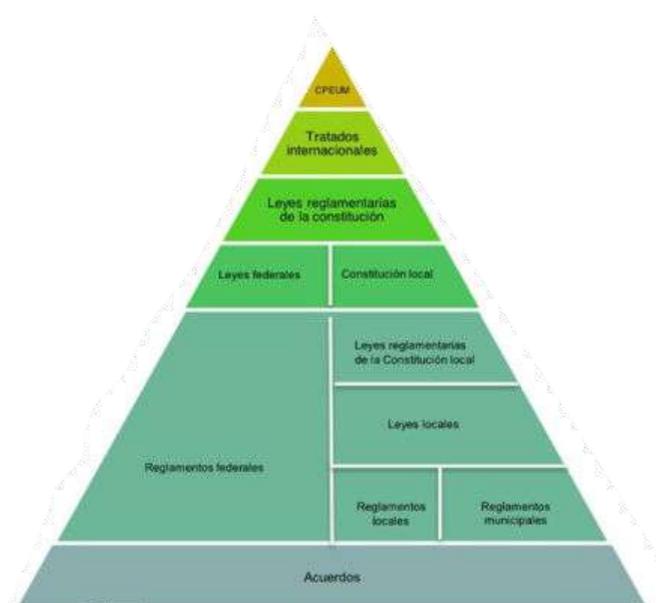


Figura 9. Jerarquía del Marco Regulatorio Ambiental

Fuente: Pronaii Residuos

# NORMATIVA ASOCIADA AL CICLO DE LOS RESIDUOS

El DBGIR menciona que nueve estados carecen de legislación específica en residuos, integrándola en leyes ambientales más generales, otros estados han desarrollado normativas detalladas que regulan de manera explícita la gestión integral de residuos,

demostrando así la relevancia de una legislación estatal efectiva y adaptada a contextos locales. A continuación, se enlistan las normas estatales existentes con injerencia en residuos sólidos urbanos.

Tabla 3. Marco regulatorio Estatal	
Estado de México	<b>NTEA-001-SEGEM-AE-2003.</b> Establece los requisitos para el almacenamiento, tratamiento y disposición final de residuos orgánicos generados en centros de sacrificio de animales para consumo humano.
	<b>NTEA-006-SMA-RS-2006.</b> Establece los requisitos para la producción de los mejoradores de suelos elaborados a partir de residuos orgánicos.
	<b>NTEA-011-SMA-RS-2008.</b> Establece los requisitos para el manejo de los residuos de la construcción para el Estado de México.
	<b>NTEA-010-SMA-RS-2008.</b> Establece los requisitos y especificaciones para la instalación, operación y mantenimiento de la infraestructura para el acopio, transferencia, separación y tratamiento de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, para el Estado de México.
	<b>NTEA-013-SMA-RS-2011.</b> Establece las especificaciones para la separación en la fuente de origen, almacenamiento y entrega separados al servicio de recolección de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, para el Estado de México.
	<b>NTEA-020-SeMAGEM-RS-2019.</b> Establece las condiciones para la instalación y operación de los centros integrales de residuos en el Estado de México.
	<b>NTEA-020-SeMAGEM-RS-2019.</b> Establece las condiciones para la instalación y operación de los centros integrales de residuos en el Estado de México.
	<b>NTEA-021-SeMAGEM-RS-2019.</b> Establece las condiciones para los centros integrales de residuos o instalaciones que usen como combustible materiales provenientes de residuos sólidos urbanos o de manejo especial ubicadas en territorio mexiquense.

Fuente: Elaboración propia

# NORMATIVA ASOCIADA AL CICLO DE LOS RESIDUOS

**Tabla 3. Marco regulatorio Estatal**

Guanajuato	Norma Técnica Ambiental <b>NTA-IEG-004/2000</b> . Establece las condiciones necesarias para llevar a cabo el manejo, almacenamiento y disposición final, de los residuos sólidos generados por la industria del calzado.
	Norma Técnica Ambiental <b>NTA-IEG-003/2001</b> . Establece los requisitos para el manejo de los residuos industriales no peligrosos, mediante las siguientes operaciones: 1) separación en sitio, 2) identificación, 3) acopio interno, 4) almacenamiento temporal, 5) transporte externo, 6) tratamiento y 7) disposición final.
	Norma Técnica Ambiental <b>NTA-IEE-005/2007</b> . Establece las especificaciones para la gestión integral de los residuos agrícolas (esquilmos) así como para prevenir, reducir y mitigar los efectos adversos al ambiente y a la salud de los habitantes, mediante prácticas inocuas y manejo sustentable de los mismos.
Querétaro	Norma técnica ambiental estatal, que establece los requisitos para el manejo de los residuos de la construcción y demolición y su trazabilidad para el estado de Querétaro.
Jalisco	<b>NAE-SEMADET-01-2016</b> . Criterios y Especificaciones Técnicas bajo las cuales se deberá realizar la separación, clasificación, valorización y destino de los residuos de la construcción y demolición del Estado de Jalisco. Publicada en el periódico oficial "El Estado de Jalisco", el 08 de octubre de 2016.
	<b>NAE-SEMADES-007/2008</b> . Establece criterios y especificaciones técnicas bajo las cuales se deberá realizar la separación, clasificación, recolección selectiva y valorización de los residuos en el Estado de Jalisco. Publicada en el periódico oficial "El Estado de Jalisco", el 16 de octubre de 2018.
Ciudad de México	<b>NADF-024-AMBT-2013</b> . Establece los criterios y especificaciones técnicas bajo los cuales se deberá realizar la separación, clasificación, recolección selectiva y almacenamiento de los residuos del Distrito Federal.
	<b>NADF-020-AMBT-2011</b> . Establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Distrito Federal.
	<b>NADF-007-RNAT-2004</b> . Establece la clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción en el Distrito Federal.
	<b>NADF019-AMBT-2018</b> . Residuos eléctricos y electrónicos – requisitos y especificaciones para su manejo.
Nuevo León	<b>NAE-SMA-008-2022</b> . Tiene como finalidad establecer el manejo integral de los residuos de la construcción en el estado de Nuevo León

Fuente: Elaboración propia

# NORMATIVA ASOCIADA AL CICLO DE LOS RESIDUOS

---

Es importante mencionar que la Ley de Infraestructura de la Calidad en México tiene como objetivo, entre otros, establecer las disposiciones para la normalización, metrología, evaluación de la conformidad y acreditación. Proporciona un marco legal para el desarrollo de las normas como la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, establece los requisitos que deben cumplir los rellenos sanitarios en México para garantizar la protección del ambiente y la salud humana.

Para demostrar que un SDF cumple con la norma NOM-083-SEMARNAT-2003, los responsables de los rellenos sanitarios deben someterse a un proceso de inspección y ordenamiento que se encuentran establecidos en la misma, es importante mencionar que la evaluación de la conformidad (que también es parte de una norma) puede aplicarse si por alguna razón, alguna persona física o moral requiere saber si se cumple cabalmente con la aplicación de la norma en cuestión, para esto, puede contratar a un Organismo de Evaluación de la Conformidad.

La evaluación de la conformidad puede ser realizada por Unidades de Inspección acreditados alguna Entidad

de Acreditación (EMA) y aprobados por la SEMARNAT. Estos organismos emiten dictámenes sobre si el relleno sanitario cumple con los requisitos de la norma.

Si el dictamen de la evaluación de conformidad no es favorable, significa que el relleno sanitario no cumple con los requisitos establecidos en la norma. En ese caso, el responsable del relleno sanitario debe tomar medidas correctivas para acatar lo señalado antes de que se le otorgue el dictamen de cumplimiento con la norma. Esta evaluación se realiza a petición de parte, lo cual deriva en que la SEMARNAT deba vigilar el cumplimiento de esta disposición.

MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE  
Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS  
EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

---

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

## 3.1. PROBLEMÁTICA DE UNA MALA GESTIÓN

Los residuos sólidos urbanos (RSU) se recolectan, transportan y eliminan de manera desorganizada y desordenada en los países en desarrollo (Mor y Ravindra, 2023), enfrentando grandes desafíos en la gestión de residuos en comparación con los países desarrollados, ya que estas economías emprenden acciones en materia política y esquemas prácticos, como la jerarquía de residuos y los esquemas de reembolso de depósitos, donde han dado resultados positivos para abordar el problema de la generación de residuos (Oke et al., 2022).

Las actividades humanas y comerciales han provocado efectos negativos en el ambiente, incluidos los ecosistemas terrestres y marinos (**Figura 10**). Por ejemplo, la deforestación, la pesca, la minería y la generación de residuos son factores importantes en los cambios ambientales, incluido el cambio climático y la pérdida de biodiversidad (Ceschi et al. 2021).

La responsabilidad del manejo de residuos en la mayoría de los países es de las autoridades locales, a su vez, el manejo de los residuos se considera un derecho humano fundamental (Hoornweg et. al. 2013).

Por otra parte, las economías en desarrollo no cuentan con la capacidad e infraestructura necesaria para la gestión de residuos, además, este problema se agrava por el aumento de la población, la urbanización y cambios en el comportamiento de consumo (Pereira y Fernandino, 2019).

La gestión de los RSU es un proceso técnico-administrativo que abarca la planificación, el diseño, la implementación y la evaluación para garantizar una correcta gestión de los residuos. Actualmente, se generan 2,010 millones de t/año de RSU a nivel mundial, de los cuales el 33% se gestiona de forma inadecuada (Chen et, al. 2020).



Figura 10. Residuos en ecosistemas marinos

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

En América Latina y el Caribe, la generación de residuos per cápita es de 1.04 kg/hab./día y es responsable de la gestión de 541,000 toneladas de RSU por día (Nazmul Islam, 2017). De los RSU generados sólo el 10% se recicla, mientras que el 90% restante termina en SDF (ONU, 2018).

En las diferentes etapas del manejo de los residuos, se han detectado impactos negativos al ambiente ocasionados por la mala práctica en su manejo. A continuación, se presentan las malas prácticas identificadas para cada etapa del ciclo de residuos seguidas de guías puntuales para una gestión eficiente.

## 3.1. GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS Y EL IMPACTO AMBIENTAL POR MAL MANEJO

### 3.2.1. BARRIDO

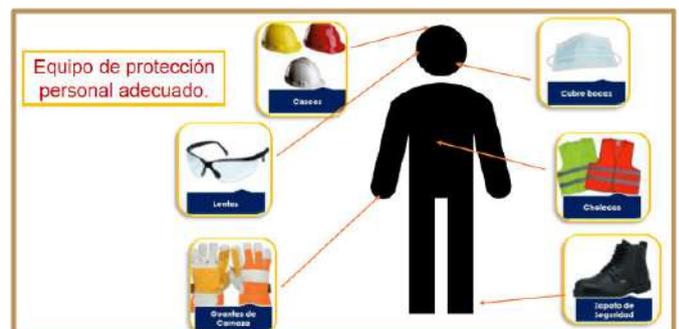
El barrido es una de las partes más importantes de un sistema de aseo urbano, tanto por la imagen e impacto que tiene un buen servicio al público, como por su alto costo.

Para un manejo eficiente se deben definir las calles, aceras, parques, plazas, y otras áreas públicas que requieran barrido municipal, y se debe establecer un calendario indicando rutas, frecuencia y los horarios de

de limpieza para cada área. Los residuos recolectados deberán depositarse en contenedores de manera diferenciada.

Los indicadores referenciales de la Organización Mundial de la Salud, se deberían cumplir con rendimientos mínimos diarios por empleado, de 1.5 km por turno, barriendo ambos extremos de la calle.

El personal a cargo, además de conocer la importancia de su labor para realizarla de manera adecuada, deberá contar con equipo básico de protección **(Figura 11)**:



**Figura 11. Recomendaciones de Equipo de Protección para personal de Barrido.**

Fuente: Barrido Manual y Mecánico

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

Este servicio incluye tanto el barrido manual (*Figura 12*) y mecánico (*Figura 13*) de calles, parques, jardines, lugares recreativos y otros; que en general producen basura constituida por hojas, arena, lodos, ramas, envases de bebidas y papeles como cajetillas de cigarro, envolturas, periódicos y otros.



**Figura 12 y 13. Barrido Manual y Mecánico.**  
Fuente: Capacitación para homologación de capacidades en la Gestión de residuos sólidos. SICA

Un mal barrido de las calles puede tener varias consecuencias ambientales negativas, ya que puede contribuir a la contaminación del entorno y al deterioro de la calidad del agua y del aire. A continuación, se detallan algunas de las posibles consecuencias ambientales:

**Contaminación del agua:** Cuando el barrido de calles se realiza de manera inadecuada, las partículas de suciedad, polvo, aceites derramados, hojas y otros desechos pueden acumularse en las alcantarillas y sistemas de drenaje pluvial.

**Contaminación del aire:** El polvo y las partículas suspendidas en el aire generados por un barrido inadecuado pueden contribuir a la contaminación del aire (*Figura 14*).



**Figura 14. Acumulación de residuos por inadecuado servicio de barrido.**  
Fuente: Pronaii Residuos

**Deterioro del suelo:** El barrido inadecuado de las calles puede llevar a la acumulación de contaminantes en el suelo, lo que puede afectar la calidad y la salud del suelo.

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

## 3.2.2. ALMACENAMIENTO

El almacenamiento es el proceso previo a la fase de recolección, en la cual los usuarios deben saber qué tipo de recipiente deben usar para disponer sus residuos, así como conocer cómo deben clasificarlos.

Es esencial resaltar la importancia fundamental de la separación en la fuente como un punto de partida ineludible. La correcta separación de los residuos sólidos en origen es la piedra angular de cualquier sistema de manejo de residuos sostenible. Este proceso, conocido como recolección diferenciada, implica clasificar los residuos en categorías específicas, como orgánicos, papel, plástico, vidrio y otros materiales, en el momento en que se generan.

La separación en la fuente tiene un impacto directo en la efectividad y eficiencia de todo el ciclo de residuos sólidos urbanos. Al fomentar la separación en origen, se optimizan los procesos posteriores de recolección, transporte, valorización y disposición final. Los materiales separados pueden ser dirigidos hacia los canales adecuados de reciclaje, compostaje o valorización energética, lo que reduce la cantidad de residuos destinados a vertederos y minimiza el impacto ambiental.

Cuando los ciudadanos participan activamente en el proceso de separación, se crea una conciencia colectiva sobre el manejo responsable de los residuos, lo que a su vez puede llevar a cambios de comportamiento a largo plazo.

La manera correcta de almacenar temporalmente los residuos sólidos implica seguir ciertas prácticas y pautas para garantizar la eficacia de la recolección y el transporte, así como para minimizar el impacto ambiental. Algunas de las prácticas recomendadas para el almacenamiento adecuado de residuos sólidos son:

**Separación adecuada:** Clasificar los residuos en diferentes contenedores según su tipo (orgánicos, papel, plástico, vidrio, etc.) para facilitar el proceso de reciclaje y disposición final.

**Contenedores adecuados:** Utilizar contenedores resistentes y adecuados para el tipo de residuo que se va a almacenar. Los contenedores deben estar bien cerrados para evitar la dispersión de olores y la entrada de plagas.

**Limpieza regular:** Limpiar los contenedores de manera regular para evitar malos olores y la acumulación de residuos en las áreas de almacenamiento.

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

---

**Almacenamiento temporal:** Almacenar los residuos en un área designada y alejada de fuentes de agua para prevenir la contaminación. También es importante evitar el contacto directo con el suelo para evitar la filtración de líquidos contaminantes.

**Educación y conciencia:** Educar a la comunidad sobre la importancia de separar los residuos en origen y almacenarlos de manera adecuada. La conciencia pública puede ayudar a mejorar las prácticas de almacenamiento.

**Recolección regular:** Establecer un calendario regular de recolección de residuos para evitar la acumulación excesiva y asegurar que los residuos sean transportados a las instalaciones adecuadas a tiempo.

Es fundamental diferenciar entre generadores domiciliarios y no domiciliarios para establecer correctamente las prácticas de almacenamiento. Para los generadores domiciliarios, es esencial fomentar la separación de residuos en origen, proporcionando contenedores adecuados y educación sobre la clasificación de desechos. Además, se deben establecer programas regulares de recolección para evitar la acumulación excesiva en hogares y comunidades.

En el caso de generadores no domiciliarios, como empresas e industrias, se requiere un manejo más específico. Esto implica implementar sistemas internos de separación de residuos, utilizar contenedores especializados para diferentes tipos de desechos y cumplir estrictamente con las regulaciones ambientales locales.

Esta operación es responsabilidad del generador y en algunos casos del municipio cuando realiza almacenamiento temporal por cuestiones logísticas. Para esta acción los generadores utilizan diferentes tipos de recipientes (ver Figura 15). Los principales recipientes suelen ser: cajas de cartón, cajas de madera, bote de lámina, bote de plástico con tapa, bolsas de papel y bolsas de plástico.

En esta etapa se debe de considerar el estado de los residuos, es decir, si son biodegradables o no biodegradables, puesto que los residuos que son rápidamente degradables, no se deben de almacenar por mucho tiempo (tres días máximo) debido a los olores que desprenden y por la aparición de fauna nociva, asimismo, por la producción de lixiviados.

Generalmente para realizar el almacenamiento, existen diferentes

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

---

alternativas de contenedores y recipientes para depositar los RSU, y su selección se realiza en función de la cantidad de residuos y el tipo de almacenamiento; domiciliario, no domiciliario y público, y con ello facilitar el proceso de recolección. A continuación, la CEPAL (2016) describe los recipientes, bolsas y otros contenedores que son utilizados en el almacenamiento de los RSU.

**A) Recipientes de almacenamiento de plástico y goma:** este ha sido una de las formas de recipiente más utilizado. Generalmente se fabrican de plástico o goma y están provistos de una tapa para evitar los malos olores y la proliferación de insectos. Este tipo de contenedores constituyen un producto económico y rústico, pero que exige una intervención manual.

**B) Bolsas y sacos desechables:** suelen ser de plástico, y en algunos países de papel, y están provistos de una cinta para su cierre, con lo que se evita los malos olores y el derrame de residuos. La capacidad de estas bolsas o sacos varía entre 30 y 110 litros según la frecuencia de recolección.

**C) Contenedores con ruedas:** los contenedores con ruedas se fabrican en material plástico de alta resistencia,

la capacidad de estos contenedores varía entre 90 y 1,100 litros. Están equipados con los siguientes elementos:

- Los contenedores pequeños, con dos ruedas fijas, o grandes, de cuatro ruedas giratorias, en función de la forma y capacidad.
- Una tapa equipada de bisagra.
- Un sistema de enganche especial para la elevación y vaciado automáticos en los camiones recolectores equipados de elevador de contenedores.

**D) Contenedores de gran capacidad:** este tipo de contenedores pueden ser abiertos o cerrados, y en algunos casos poseen un equipo auto compactador que permite una reducción de dos terceras partes del volumen de los residuos. Construidos con láminas de acero reforzadas por largueros del mismo material, disponen de puntos de enganche delanteros y traseros que permiten su carga en vehículos especiales que van equipados con elevadores tipo "ampliroll", "cadenas", también llamados "roll on-roll off".

**E) Contenedores para recolección selectiva:** están diseñados para recibir exclusivamente un solo tipo de residuo: vidrio, latas, cartón o papel, plásticos,

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

etc., por lo que se instalan en los centros de acopio, que a su vez están distribuidos en zonas estratégicas de la ciudad para favorecer la recolección selectiva de aquellos residuos que es interesante someter a procesos de recuperación. Sus capacidades pueden ser desde 200 litros.



**Figura 15. Contenedores frecuentemente utilizados para almacenamiento en México.**

Fuente: Elaboración propia

El almacenamiento domiciliario, se refiere al almacenamiento de residuos generados en cocinas, baños y recamaras. El uso de recipientes puede variar desde bolsas de plásticos a botes de plástico con tapa pero siempre privilegiando la separación en fuente por lo que se recomiendan dispositivos como los que se muestran a continuación:

Es posible utilizar los recipientes similares a los que se presentan en la **Figura 16** para realizar el almacenamiento, de acuerdo con SEDESOL (2015).



**Figura 16. Tipos de recipientes.**

Fuente: Diseño de botes-separadores de residuos sólidos para viviendas de interés social de la zona conurbada Veracruz -Boca del Río-Medellín, México. Ma. Isabel Jiménez Loya.

La instalación de contenedores en la vía pública, donde exista alto tráfico de personas (avenidas principales, parques, plazas, comercios y mercados) debe considerar la separación diferenciada, haciéndose necesario instalar un contenedor de gran capacidad para cada tipo de residuos (**Figura 17**), por ejemplo, papel, metal, plásticos, vidrio y residuos orgánicos (SEGOB, 2022).



**Figura 17. Contenedores de gran capacidad diferenciados.**

Fuente: Elaboración Guía CEPAL 2016.

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

En una segunda etapa, así como se menciona en la NADF-024-AMBT-2013 de la CDMX, se recomienda que los residuos inorgánicos con potencial de reciclaje sean clasificados en los siguientes grupos:

- Plásticos
- Vidrios
- Metales
- Ropas y textiles
- Maderas
- Envases multicapas

Tomando como base la Plataforma Articulada para el Desarrollo Integral de los Territorios (PADIT, 2021) - plataforma de actores y recursos en función de la política pública de desarrollo territorial de Cuba, y en particular de la Guía para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales; a continuación, se explican criterios; técnicos para el cálculo del diseño de localización de contenedores en la vía pública o puntos de recolección:

**A) Conocer la capacidad de llenado del contenedor disponible.** Una vez identificada su capacidad se deberá estimar el llenado para el 70-75% del volumen. Por ejemplo, para contenedores de 1 m<sup>3</sup>, se calcula la demanda para cubrir 0.7-0.75 m<sup>3</sup> (700-750 L) de su capacidad. Esta es una

práctica internacional para que por fallos o atrasos en el servicio diario o en circunstancias extremas de generación no se desborden los contenedores.

**B) Determinar la tasa de generación per cápita (gpc) expresado en la siguiente unidad:** kg/hab/día, se multiplica por los usuarios, incluidos la población flotante, que serán considerados en la recolección y se calcula la cantidad de contenedores necesarios según el ejemplo siguiente:

$$\begin{aligned} \text{gpc} &= 0.550 \text{ kg/hab/día} \\ \text{Población} &= 3,000 \text{ habitantes} \\ 0.550 \text{ kg/hab/día} \times 3,000 \text{ habitantes} &= 1,650 \text{ kg/día.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{gpc} &= 0.300 \text{ kg/trab/día} \\ \text{Población} &= 200 \text{ trabajadores} \\ 0.300 \text{ kg/hab./día} \times 200 \text{ trabajadores} &= 60 \text{ kg/día.} \end{aligned}$$

$$\text{Total} = 1,710 \text{ kg/día}$$

**C) Conociendo el peso volumétrico de los RSU sin compactar se calcula:**

$$\begin{aligned} \text{P.V.} &= 190 \text{ kg/m}^3 \\ 1,710 \text{ kg/día} / 190 \text{ kg/m}^3 &= 9 \text{ m}^3/\text{día} \text{ ó } 9000 \text{ L/día.} \end{aligned}$$

$$\text{Para un contenedor de } 1 \text{ m}^3 \text{ se divide } 9 \text{ m}^3 / 0.7 \text{ m}^3 = 12.85 = 13 \text{ contenedores (solo para un día).}$$

Además de lo anterior, es muy importante considerar que, el cálculo para determinar cuántos contenedores de residuos se debe ubicar en vías públicas en México (o en cualquier otro

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

lugar) depende también de varios factores y puede variar según las necesidades y regulaciones locales como:

- Densidad de población
- Frecuencia de recolección
- Volumen de residuos
- Tipo de residuos
- Normativas locales

Cuando el número de usuarios es inferior a 120 en una determinada zona, es necesario ubicar uno y valorar la factibilidad de ajustar la frecuencia de recolección. Si, por el contrario, la generación sobrepasa el 75% de llenado, se podrá solucionar con otra unidad o priorizando el servicio a esta zona por la vulnerabilidad de saturación, de acuerdo con la disponibilidad del municipio. Para zonas donde la frecuencia de recolección es menor, se deben realizar los cálculos y multiplicar la generación por los días que se definan.

La localización se realiza sobre un plano del área y luego en el terreno. Nunca se deben ubicar puntos de recolección frente a escuelas, centros de salud o asistencia social, en espacios de estacionamiento ni en otros que interrumpa el tránsito vehicular.

*Cuando no se presenta un almacenamiento correcto para los residuos, esto puede propiciar riesgos potenciales para el ambiente y la salud (Kumar y Verma, 2022), particularmente por el uso de contenedores abiertos. Generalmente los residuos son almacenados en recipientes inadecuados como cajas de cartón, bolsas de papel o contenedores abiertos (Figura 18), por ejemplo, en el caso del almacenamiento de residuos orgánicos, estos están compuestos en un 70% de agua, y cuando no se separan de manera correcta, pueden estar contaminados con metales pesados que están presentes en otros tipos de residuos. El lixiviado que se genera, si no se aísla adecuadamente, puede provocar el riesgo de contaminación del agua (Vodyanitskii, 2016).*



**Figura 18. Almacenamiento de residuos.**

Fuente: Pronaii Residuos

*Algunos residuos producen muchos organismos patógenos y compuestos orgánicos volátiles durante un breve período de almacenamiento, esto significa efectos perjudiciales para la salud de las personas cercanas y los trabajadores de limpieza (Cheng et al., 2019). Existen estudios donde se menciona que los trabajadores de limpieza a menudo padecen diversas enfermedades agudas y crónicas, como bronquitis, diarrea, gastroenteritis y dermatitis (Lavoie et al., 2006).*

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

De acuerdo con SEDESOL (2015), entre los impactos ambientales que ocasiona un mal almacenamiento, están los siguientes:

- Proliferación de fauna nociva.
- Fugas de residuos plásticos al ambiente.
- Generación de lixiviados, cuando los recipientes se encuentran expuestos a la lluvia y no se encuentran adecuadamente cubiertos.
- Si el almacenamiento no se realiza de forma diferenciada, es difícil reciclar los residuos.

### 3.2.3. RECOLECCIÓN

La recolección de los RSU representa el servicio más importante de la gestión de los residuos. Según el Diagnóstico Básico para la Prevención y Gestión Integral de Residuos 2020 (DBGIR), la recolección en México presenta una importante área de oportunidad debido principalmente a las localidades más alejadas de las cabeceras municipales que no reciben el servicio.

En primera instancia es necesario calcular la capacidad de recolección necesaria para cubrirla con los vehículos necesarios y adecuados según las características de los caminos de acceso a cada comunidad.

De acuerdo con SEDESOL (2015), en México los métodos de recolección más empleados son:

**A) Método de parada fija o de esquina:** este método consiste en recoger los residuos en las esquinas de las calles, en donde previamente por medio de una campana se comunica la llegada del camión y los usuarios acuden a entregar sus residuos. **(Figura 19)**



Figura 18. Método de parada fija.

Fuente: Pronaii Residuos

**B) Método de acera:** consiste en que simultáneamente al recorrido del camión por su ruta, los trabajadores de la cuadrilla van recogiendo los residuos, previamente colocados por los residentes en el frente de sus hogares.

**C) Método de contenedores:** este método de recolección requiere del empleo de camiones especiales y que los contenedores estén ubicados en forma accesible al vehículo recolector.

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

---

**D) Recolección con separación simultánea:** es el proceso mediante el cual se lleva a cabo la recolección segregada en el mismo vehículo recolector.

Existen dos maneras de realizar el diseño de rutas de recolección, por micro rutas o macro rutas.

**A) Macro rutas:** es la división de la ciudad en sectores operativos, a la determinación del número de camiones necesarios en cada una y a la asignación de un área del sector en cada vehículo recolector. Básicamente consiste en dos etapas, proyecto de gabinete y ajustes de campo; en el primero se hace el cálculo teórico de las necesidades u áreas asignadas a cada vehículo, y en el segundo se afinan los contornos de estas para balancearlos y nivelar las cargas de trabajo entre las diferentes cuadrillas.

Para lograr la zonificación del sector, se debe de dividir en zonas que serán cubiertas por un vehículo recolector durante la semana. Para poder ejecutarlo se debe de contar con la siguiente información para cada colonia o barrio dentro del sector:

- Planos que contengan urbanización, áreas pavimentadas, topografía

- Zonas de habitación unifamiliar: nivel socioeconómico, número de casas, tránsito, vialidad y número de habitantes por vivienda
- Localización de puntos de generación de residuos sólidos: mercados, centros comerciales, hospitales, escuelas, etc.
- Tasa de generación de residuos
- Método de recolección a utilizar

**B) Micro ruta:** es el recorrido específico que deben de realizar diariamente los vehículos recolectores en los sectores de la ciudad donde han sido asignados. El diseño de micro rutas debe de hacerse con base en una serie de factores variables de acuerdo con la ciudad en estudio, los cuales se enuncian a continuación:

- Plano que contenga trazo urbano, topografía, ancho y tipo de calles.
- Método de recolección.
- Equipo de recolección.
- Densidad de la población.
- Tasa de generación de residuos.

En el caso del diseño de las micro rutas, hay dos métodos:

- Método Heurístico: no requiere programas de cómputo y se basa en la experiencia y sentido común

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

---

- Método determinístico: requiere de programas de cómputo determinísticos.

También, es importante definir la frecuencia de recolección, para eso, se deben de ubicar los puntos de generación de RSU, además, de establecer horarios de recolección e identificar las zonas atendidas por cada vehículo recolector en la semana.

Por último, se debe de determinar la capacidad de recolección, es decir, conocer la cantidad de vehículos recolectores y verificar sus condiciones y características de cada uno de ellos (estos pueden ser de volteo, de carga trasera o lateral, con o sin compactación).

Para llevar a cabo una correcta recolección se deben de establecer rutas y horarios de recolección. La determinación de rutas y horarios se organiza en función de la capacidad de recolección del municipio, es decir, de la disponibilidad de vehículos recolectores, lo que se debe de realizar tan frecuentemente como sea posible y al menos se debe recorrer cada ruta una vez a la semana. Además, el diseño de rutas de recolección de residuos debe considerar factores como la concentración poblacional en núcleos

urbanos, la cantidad de residuos generados y la distancia del punto de recolección a la estación de transferencia (SEGOB, 2022).

Actualmente se emplean tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales permiten reducir los gastos en recolección y transporte de residuos. El análisis espacial basado en redes y la capacidad para manejar grandes datos hacen de los SIG una herramienta útil para preparar modelos dinámicos con condiciones realistas para la optimización de rutas (Malakahmad et al. 2014).

Según el Manual Técnico sobre Generación, Recolección y transferencia de residuos Sólidos municipales (SEDESOL 2003), como reglas básicas se debe de considerar lo siguiente:

- El diseño de rutas trata de aumentar la distancia productiva en relación con la distancia total.
- Los recorridos no deben fragmentarse ni traslaparse. Cada uno debe consistir en tramos que queden dentro de la misma área de la ciudad o localidad en estudio.
- El inicio de una ruta debe estar cerca del garage y el final cerca del lugar de disposición final de residuos sólidos.

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

---

- En lugares con pendientes fuertes o desniveles altos, debe procurarse hacer el recorrido de la parte alta a la parte baja. Si se presentan hondonadas que hay que bajar y luego subir, hay que procurar atenderlas al comienzo del viaje, cuando el vehículo recolector va con poca carga.
  - Tratar de recolectar simultáneamente ambos lados de la calle. Sin embargo, ello no es recomendable en avenidas muy anchas o con mucho tránsito.
  - Se debe respetar el sentido de circulación y la prohibición de ciertos virajes.
  - Evitar los giros a la izquierda y las vueltas en U, porque hacen perder tiempo, son peligrosos y obstaculizan el tránsito.
  - Las calles con mucho tránsito deben recorrerse en las horas en que este disminuye.
  - Cuando hay estacionamientos de vehículos, hay que procurar efectuar la recolección en los momentos que la calle está más despejada.
  - En las calles muy cortas o sin salida, es preferible que los vehículos recolectores no entren en ellas, sino que esperen en la esquina y que el personal vaya a buscar los receptáculos con los residuos, o en su caso el público lo deposite en la esquina más cercana a la ruta de recolección. Esto economiza mucho tiempo.
  - Cuando la recolección se hace simultáneamente a ambos lados de la calle, deben hacerse recorridos largos y rectos, con pocas vueltas.
  - Cuando la recolección se hace primero por un lado de la calle y después por el otro, generalmente es mejor tener recorridos con muchas vueltas a la derecha alrededor de manzanas.
  - Es preciso reconocer muy bien las características propias de la ciudad para que las rutas de los camiones recolectores no causen muchos problemas.
- Existen diversos estudios y metodologías para diseñar rutas de recolección de RSU. Una de las herramientas más utilizadas son los modelos matemáticos, de forma particular el procedimiento de búsqueda adaptativa aleatorio codicioso con las siglas (GRASP) se aplica para obtener soluciones aproximadas en escenarios de la vida real (Expósito-Márquez et al., 2019). Su aplicación en el ámbito de los sistemas de recolección es aumentar la cantidad de recolección de residuos reciclables, priorizando aquellos contenedores con mayor nivel de llenado basado en un análisis de datos históricos. En esta metodología indica que un aspecto importante es verificar la calidad de los datos existentes sobre todo en el proceso de gestión de residuos, tanto para las empresas gestoras de residuos como para las operadoras. El principal objetivo de evaluar estrategias a partir de los datos es seleccionar las mejores opciones en los procesos de toma de decisiones.
- El éxito de cualquier sistema de recolección dependerá en gran parte

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

de la selección de un equipo apropiado, por lo que a continuación se describe la metodología que se deberá aplicar, para realizar una adecuada selección vehicular de los equipos de recolección de basura:

- Descripción del proceso de revisión vehicular.
- Revisión del motor.

El elemento fundamental del vehículo es el motor, a través del cual la energía térmica se transformará en energía mecánica, para que mediante un sistema de transmisión de la zona de contacto de las llantas con el pavimento del vehículo se ponga en movimiento.

Por otro lado, el tamaño de la máquina y su potencia, son función del peso bruto total, del área frontal, del tipo de superficie de rodamiento, de la pendiente a vencer y de la velocidad de tránsito.

Considerando los factores antes descritos se ha encontrado la siguiente fórmula empírica para calcular la potencia del motor.

$$P = 1.013 (0.0037 V (aW + pW + 0.0047 SV^2))$$

Donde:

- P = Potencia requerida en HP.
- V = Velocidad del vehículo en Km/h
- a = Coeficiente adimensional que es función del tipo de pavimento donde se transite.
- W = Peso bruto total (peso propio más carga de basura).
- p = Pendiente de la calle o carretera esperada en %.
- S = Superficie frontal expuesta en m<sup>2</sup>.

Las principales alternativas en cuanto a vehículos de recolección son los camiones recolectores con caja compactadora; camión recolector con caja cerrada sin compactación; camiones para contenedores de gran capacidad, camiones de caja abierta y otros tipos de vehículos (**Figura 20**). De igual modo, la CEPAL (2016) detalla los diferentes vehículos de recolección, los cuales se presentan a continuación:

**A) Camión recolector con caja compactadora:** estos vehículos están equipados con una caja compactadora que dispone de una tolva para la carga de los residuos y un dispositivo de compresión. Se clasifican también según la ubicación del sitio de carga, como de carga trasera, lateral o frontal.

**B) Camión recolector con caja cerrada sin compactación:** las características técnicas de este tipo de equipos son

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

similares. La única diferencia es que no cuenta con un sistema de compactación por lo que su capacidad de carga es menor.

**C) Camión para contenedores de gran capacidad:** son vehículos especiales que van equipados con elevadores con un gancho mecánico, tipo "cadenas", etc., para poder levantar y depositar los grandes contenedores sobre el chasis del camión para su posterior transporte.

**D) Camión de caja abierta:** este tipo de vehículos se suele utilizar en áreas rurales donde el volumen de residuos es muy reducido y no se dispone de suficientes medios económicos para realizar un servicio adecuado.

**E) Otros tipos de vehículos:** este tipo de vehículos corresponde a la clasificación de caja abierta como son los remolques y vehículos de volteo.

Es importante hacer mención que, en localidades pequeñas, se emplean motocicletas adaptadas para la recolección (Campeche, Mérida y algunas localidades del estado de Sonora, entre otras.)

En los países en desarrollo, la infraestructura de recolección es

inadecuada, con caminos que son demasiado angostos o inaccesibles, lo que impide que los vehículos de recolección cubran todas las áreas y permitiendo que los residuos permanezcan donde se generaron. Un factor que contribuye a la baja recolección es la falta de fondos para comprar vehículos de recolección y contenedores de residuos adecuados. Además, la recolección es ineficiente porque todavía se utilizan vehículos de recolección obsoletos sin el mantenimiento adecuado. Todas estas fallas tienen un impacto en los procesos de transferencia y transporte de residuos (Mohee et al., 2015).



Figura 20. Tipos de vehículos de recolección.

Fuente: Elaboración propia

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

En municipios con alta densidad de población se presenta una mayor eficacia de recolección que permite recoger mayor cantidad de residuos en un área más reducida (Molinos-Senante, 2020); sin embargo, en localidades rurales que son pequeñas, los caminos de acceso son angostos restringiendo la operación de vehículos grandes, por lo que los servicios de recolección tienen que realizarse de manera manual aumentando los costos de mano de obra (Guerrini et al., 2017).

*En México y otros países de América Latina se tiene una baja cobertura de población atendida (Salazar-Adams, 2021), esto propicia que los usuarios opten por quemar los residuos a cielo abierto (Melo 2019), en el caso que estas comunidades estén ubicadas en zonas cercanas a cuerpos de agua, estos llegan a arrojar sus residuos a ríos, asimismo los residuos no recolectados llegan a acumularse en vía pública (Figura 21) y posteriormente ser arrastrados a cuerpos de agua, o acumularse en tierra.*



**Figura 21. Tiradero clandestino en vía pública.**

Fuente: Pronaii Residuos

Otro factor que afecta en la eficiencia de la recolección es el método de recolección utilizado en cada municipio. Por ejemplo, Guerrini menciona que cuando se emplea el método de acera, a diferencia de la recolección en contenedores en la calle, se correlacionó positivamente con la eficiencia, y la recolección separada de residuos también se encontró como una variable negativamente correlacionada con la eficiencia de la recolección de residuos (Greco et al., 2015). Así pues, cada municipio y responsables de limpia deben tomar decisiones sobre qué método de recolección se debe implementar para hacer más eficiente la gestión de residuos.

Según datos del DBGIR 2020, la cobertura de recolección nacional es de 83.87%, lo cual significa que 19,377 t/día de residuos no son recolectados.

## 3.2.4. TRANSFERENCIA

La determinación del municipio de contar o no con estaciones de transferencia, depende del número de toneladas de residuos que maneje diariamente, el número de vehículos recolectores y el número de rutas atendidas, así como la distancia al SDF.

De acuerdo con los estudios de tiempos

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

y movimientos llevados a cabo en cada municipio, se deberán evaluar las condiciones del sistema de recolección en cuanto a las distancias de recorrido y tiempos empleados en dicha actividad. A partir de esto, se determinará la necesidad de contar con una estación de transferencia que permita reducir los costos operacionales asociados a las grandes distancias que tendrían que recorrer los vehículos recolectores a un relleno sanitario lejano.

Para determinar la viabilidad y factibilidad de una estación de transferencia, se debe realizar un análisis del punto de equilibrio, el cual permita definir el radio de cobertura máximo para ejecutar el transporte de los residuos en forma directa con los vehículos recolectores, entre las fuentes generadoras y la estación de transferencia.

El sistema de transferencia para residuos sólidos municipales se está volviendo una instalación necesaria en las grandes ciudades, debido al continuo alejamiento de los sitios de tratamiento y de disposición final. (Estaciones de transferencia de residuos sólidos en áreas urbanas, Ing. Jorge Sánchez Gómez. 1996).

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2016) menciona que la ubicación de una estación de transferencia se torna viable cuando la distancia entre los núcleos generadores de residuos y los SDF es grande. Aunque la factibilidad de la instalación debe ser considerada particularmente según las condiciones locales y sus necesidades, estudios realizados sobre el tema indican que, ante una distancia de aproximadamente 25-30 km ya es conveniente estudiar la posibilidad de implantación de una estación de transferencia para la minimización de los costos de transporte.

La SEGOB (2022) indica que las estaciones de transferencia deben de contar con una serie de características que permitan operar de manera eficiente y segura. Entre las características más importantes se encuentran:

- Ubicarse lo más cercano posible de los lugares de generación de residuos y en la trayectoria hacia las instalaciones de tratamiento o SDF.
- Ubicarse al menos a 200 metros de lugares de concentración como son escuelas, mercados, hospitales, etc.
- Ubicarse en vialidades con una alta capacidad para el tránsito de vehículos pesados.

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

Asimismo, SEGOB menciona que el equipamiento básico de las estaciones de transferencia debe ser el siguiente:

- Montacargas o cargador frontal para el acarreo, empuje o acomodo de residuos.
- Señalamientos sobre áreas de trabajo y para protección civil.
- Extinguidores o equipo para control de incendios.
- Báscula.
- Equipo de compactación.
- Sistemas de carga, tales como grúas viajeras y almejas.

Una estación de transferencia requiere de cierta infraestructura para operar de manera correcta, cabe destacar que en México y países de América Latina estas instalaciones operan con sistemas de descarga directa, así pues, el INE (1996) detalla la infraestructura necesaria para una estación de transferencia con descarga directa.

*(Tabla 4)*

Tabla 4. Infraestructura para una estación de transferencia de carga directa		
Infraestructura	Detalle	Características
Vialidades exteriores	Adecuaciones geométricas	Evitar conflictos en la fluidez vehicular, por ello es necesario realizar estudios y mediciones vehiculares con la finalidad de tener un conocimiento detallado de la infraestructura existente en la zona; entre los estudios y mediciones requeridas están los levantamientos topográficos, aforo vehicular, y señalización y semaforización.
	Carril de desaceleración	Vialidad por donde ingresan a la estación de transferencia los vehículos recolectores y de transferencia. La finalidad de esta vialidad es la de no entorpecer la circulación, así como para disminuir la velocidad de los vehículos recolectores y de transferencia antes de pasar al área de acceso de la estación. El ancho del carril será de 4 m que es el ancho máximo que se da para vehículos de transferencia. La longitud recomendada será de 100 m considerando una velocidad de ingreso de 50 km/h.
Vialidades interiores	Carril de encolamiento	Será un sitio para que los vehículos de recolección y de transferencia se estacionen temporalmente esperando su turno ya sea para ingresar al patio de descarga o al túnel de transferencia en el caso de vehículos de transferencia.

Tabla 4. Infraestructura para una estación de transferencia de carga directa

Fuente: Elaboración propia con base a información del Instituto Nacional de Ecología (INE 1996)

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

Tabla 4. Infraestructura para una estación de transferencia de carga directa		
Infraestructura	Detalle	Características
Vialidades interiores	Rampas	Las pendientes de las rampas de acceso y salida de la estación de transferencia, tanto para vehículos recolectores como de transferencia, deberán ser inferiores al 8% el cual es considerado como un valor máximo para la pendiente de una rampa. La pendiente ideal sería que por cada 10 m que se avance, la superficie de rodamiento se elevará o profundizará un metro. El ancho de las rampas de acceso y salida para vehículos recolectores será de 3.5 m mientras que para vehículos de transferencia será de 4 m, es conveniente que las rampas cuenten con 2 carriles con el fin de evitar detenciones en la operación de la estación por la descomposición de algún vehículo.
	Señalización	Realizar una revisión de las diversas áreas pertenecientes a la estación de transferencia, con la finalidad de distribuir y establecer el tipo de señalización a colocar; esta señalización deberá ser colocada en sitios visibles y con alturas apropiadas para que el personal las ubique rápidamente; entre las señalizaciones a utilizar están: reducción de velocidad, zona de encolamiento, zona de descarga, extinguidor, sanitarios, flechas de sentido de circulación, líneas separadoras de carril, etc.
	Diseño de vehículos para trayectorias mínimas de voltear y para caminos	Un camino planeado para que pasen camiones se adapta a cualquier coche de pasajeros. Así, los vehículos para diseño que se consideran generalmente son una unidad sencilla de camión de carga o autobús; combinación de semi remolque con tractor y la combinación de camión y remolque. Sin embargo, para un camino especificado, el diseño se debe basar en el vehículo más grande esperado, a menos que el vehículo más grande usará el camino tan raramente que el costo agregado de construcción no se justificará. En esos casos, es práctico elaborar el diseño para un vehículo menor y permitir que transiten en forma ocasional vehículos más grandes.
Zona de descarga de residuos sólidos	Patio de maniobras	Es el sitio que utilizan los vehículos de recolección para realizar sus maniobras de acomodo antes de depositar los residuos transportados en las líneas de atención, las cuales caerán dentro de la carrocería de transferencia.
	Líneas de servicio	Área destinada para que los vehículos recolectores depositen los residuos transportados dentro de los servidores. Las líneas de servicio constan de 4 servidores (tolvas), este criterio se estableció considerando la longitud de la caja de transferencia con lo que se estará en posibilidad de descargar 4 camiones simultáneamente.

Tabla 4. Infraestructura para una estación de transferencia de carga directa

Fuente: Elaboración propia con base a información del Instituto Nacional de Ecología (INE 1996)

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

**Tabla 4. Infraestructura para una estación de transferencia de carga directa**

Infraestructura	Detalle	Características
Zona de carga	Patio de carga	Sitio en el cual se realizan las maniobras de acomodo y circulación de los vehículos de transferencia. Su ubicación está por debajo de las líneas de servicio, la altura estará en función del tipo de caja de transferencia a emplear.
Servicios generales	Oficinas	Lugar destinado para el personal que opera la estación de transferencia y donde se realizarán labores de organización y administración, por ejemplo.
	Talleres	Área que cuenta con el equipo e instalaciones necesarias para realizar reparaciones menores y mantenimiento rutinario de los vehículos de transferencia.
	Estacionamientos	Sitios destinados para los vehículos al servicio de la estación de transferencia. Entre los vehículos se encuentran los de recolección, los de transferencia, los del personal que labora en la estación y de los visitantes.
Obras complementarias	Techumbre	Es una medida de mitigación para evitar la dispersión de polvos, partículas, y humo hacia los alrededores de la estación, así como un aislante acústico que evite la propagación de ruido, el cual en algunos casos rebasa los límites permisibles.
	Caseta de control	La función de esta caseta es la de llevar un registro y pesaje de los vehículos que ingresan y salen de la estación de transferencia, así como el de vigilancia evitando la entrada de personal y vehículos no autorizados.
	Báscula	Su función es la de registrar el peso y la tara de los diferentes vehículos de recolección y transferencia que ingresan o salen de la estación. El tipo de báscula a emplear es el de plataforma en la cual el vehículo se coloca y por medio de dispositivos electrónicos la lectura llega a una computadora, la que a su vez almacena los datos en su memoria. La báscula necesita de una pequeña caseta donde se instalará la computadora junto con otros implementos. La capacidad de la báscula será de 50 toneladas.
	Barda perimetral y barrera visual	La función de ambas es la de limitar el perímetro de la estación, dando un aspecto exterior estético y agradable de la instalación.
Controles ambientales	Aspersores y extractores	Son equipos que mitigan la propagación de polvos, partículas, y humos dentro de las áreas del patio de maniobras, líneas de servicio, patio de carga, etc., que afectan el sistema respiratorio de los trabajadores que laboran en la estación.

**Tabla 4. Infraestructura para una estación de transferencia de carga directa**

Fuente: Elaboración propia con base a información del Instituto Nacional de Ecología (INE 1996)

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

Los equipos dependerán del tipo de estación de transferencia en la que se realicen las operaciones de descarga de residuos. Actualmente existen dos tipos de estaciones de transferencia en cuanto a la operación de descarga, la directa y la indirecta. La directa emplea la gravedad para el traslado de los residuos de los vehículos de recolección a los vehículos de transferencia, y la indirecta utiliza centros de almacenamiento, además de equipos mecanizados, para mover los residuos y alimentar los vehículos de transferencia.

Núñez y Victoria (2013) exponen los equipamientos que debe de presentar cada estación de transferencia de acuerdo con su tipo de operación. **(Tabla 5)**

Con el continuo avance de la urbanización, las estaciones de transferencia, que son puntos clave para recolección y transporte de residuos, pueden permitir ahorros económicos, pero si son mal operadas, también pueden ser una fuente de emisión de partículas y gases (Hu et al, 2022).

Tabla 5. Equipamiento para estaciones de transferencia	
Operación	Equipamiento
Descarga directa	Montacargas o cargador frontal
	Báscula
	Vehículos de transferencia
	Sistemas de ventilación (extractores de aire, ventiladores o ductos)
Descarga indirecta	Montacargas, cargador frontal o excavadora
	Báscula
	Vehículos de transferencia
	Sistemas de ventilación (extractores de aire, ventiladores o ductos)
	Tractor con hoja topadora
	Fosas con grúas de almeja

Tabla 5. Equipamiento para estaciones de transferencia

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

En cuanto a su operación y mantenimiento (**Figura 22**), las estaciones de transferencia producen los siguientes impactos ambientales: consumo de combustible (diésel), emisión de gases como son: partículas de benceno ( $C_6H_6$ ), hidrocarburo aromático policíclico (HAP), compuestos aromáticos, compuestos halogenados,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $NH_3$ ,  $HF$ ,  $N_2O$ ,  $HCl$ ,  $SO_x$ ,  $NO_x$ ,  $Pb$ ,  $Cd$ ,  $Mn$ ,  $Ni$ ,  $Hg$ ,  $Zn$  (Pujara et.al, 2023). En el mantenimiento de los vehículos los impactos son los siguientes: gasto de agua para una frecuencia de lavado una vez cada 30 viajes, con un consumo de agua de 200 litros cada vez, un cambio de aceite cada 20,000 km, generando 35 litros de cada cambio de aceite usado y sustitución de los neumáticos, con una frecuencia media de 30,000 km, en la mayoría de los casos, los neumáticos van a SDF.

Lamentablemente se han registrado varios casos de estaciones de transferencia que terminan como tiraderos a cielo abierto por malas prácticas.



**Figura 22. Operación en estación de transferencia sin controles. Presentación Estaciones de Transferencia.**

## 3.2.5. VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS

Conocer la composición de los residuos sólidos es importante para poder enfrentar adecuadamente su manejo. Son grandes las posibilidades para llevar a cabo acciones que permitan la valorización de los residuos, mediante la selección y clasificación de los subproductos.

Cada localidad tiene la atribución de orientar a la ciudadanía sobre las prácticas de reducción, reutilización y reciclaje, separación en la fuente y aprovechamiento y valorización de los residuos; así como promover programas de capacitación a las personas servidoras públicas sobre la gestión integral de los residuos (SEDEMA, 2022). También, es fundamental implementar estrategias que contribuyan a elevar la cultura ambiental de sus habitantes mediante la creación de programas de capacitación, y la difusión permanente de los impactos de la generación de residuos en la pérdida de la biodiversidad y el calentamiento global.

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

A continuación, se describirán las recomendaciones para cada opción viable de valorización:

## 3.2.5.1. RECICLAJE

La CEPAL (2016) menciona que, para contar con un reciclaje efectivo, se puede efectuar de dos formas como pasos previos:

**A) Separar los subproductos presentes en los residuos para su recuperación directa.** Para la efectividad de este sistema se necesita, por un lado, la participación ciudadana al tener que depositar en diferentes recipientes los subproductos como puede ser el caso de vidrio, papel, cartón o plásticos; y por otro lado la recolección de dichos subproductos puede realizarse por separado, en vehículos distintos o en vehículos especiales compartimentados.

**B) Efectuar un tratamiento global de los RSU** mediante técnicas, tales como la trituración, cribado y clasificación neumática para su correspondiente preparación del subproducto y separación de las fracciones ligeras; y sistemas de clasificación por vía húmeda, electromagnética, electrostáticos, ópticos y flotación por espumas para la obtención y depuración de metales y vidrio.

Para mejorar el reciclaje, se deben de definir estrategias locales y ser gestionadas por el municipio, ya que cada región tiene sus particularidades (Ferri et al., 2015). Las campañas de sensibilización son fundamentales en este contexto. Los niveles más altos de educación y orientación en las unidades de detección dan como resultado tasas más altas de recolección selectiva. También es fundamental integrar el sector informal de recolección de materiales reciclables en un sistema formal de gestión de residuos (Ibáñez-Forés et al., 2018).

Los trabajadores que recolectan y venden los materiales son fundamentales para la cadena de producción en países en desarrollo. Ellos son los principales agentes encargados de recolectar, clasificar y comercializar los residuos reciclables (Fidelis et al., 2020), siendo piezas cruciales en la recuperación de materiales reciclables (**Figura 23**). Sin embargo, muchos de ellos viven en situaciones de pobreza (Fuss et al., 2021).

A pesar de contribuir al aumento de la tasa de reciclaje, los recicladores trabajan de manera informal en condiciones precarias (Rebehy et al., 2017).

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS



**Figura 23. Reciclaje Informal**

Fuente: Hace falta

Por su importancia en la cadena de producción del reciclaje, las autoridades estatales o municipales deben de promover la formación y el crecimiento de cooperativas de recicladores y asociaciones de recicladores de materiales reutilizables y reciclables. Estas acciones fomentarían la inclusión social y económica, así como con su inclusión en programas de responsabilidad compartida sobre los productos a lo largo de su ciclo de vida.

Es importante registrar a los trabajadores informales en cooperativas, realizar estrategias para incrementar el mercado de reciclables, regular el precio de mercado establecido por las empresas de reciclaje a fin de que sea atractivo para los recicladores, promover la legislación

regulatoria para los productos de embalaje y apoyar la creación de nuevas pequeñas empresas que promueven el reciclaje.

Los residuos reciclados se han convertido en insumos importantes que apoyan el desarrollo socioeconómico sostenible (Zeng y Li, 2018). Una de las fortalezas del aprovechamiento de residuos lo constituye el reciclaje, ya que en esta materia se registran cifras a la altura de los países desarrollados en materiales como el PET, aluminio, papel y cartón (DBGIR, 2020).

La sustitución de nuevas materias primas por recicladas reduce el uso de energía en las industrias (Khan et al., 2021). Un ejemplo de ello es el reciclaje de los residuos de la construcción y demolición (RCD) como agregado reciclado para la fabricación de materiales de construcción (Rojas-Valencia, 2020). Por ello, el reciclaje disminuye las emisiones directas e indirectas generadas por el proceso de gestión de residuos. Además, reciclar residuos impacta positivamente en la salud humana y de otros seres vivos (Giovanis et al., 2020). Por lo tanto, el reciclaje no solo puede reducir la contaminación ambiental, sino que la reutilización de materiales también puede crear valores económicos, sociales y ambientales positivos.

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

Las tecnologías de reciclaje bien establecidas ya están operando cerca de sus límites, como es el caso del reciclaje mecánico (Ragaert et al., 2017), este reciclaje consiste en recolectar, clasificar, lavar, moler y, opcionalmente, volver a componer y peletizar, particularmente en el residuo plástico, pues con este material es posible fabricar nuevos productos. Tanto el reciclaje mecánico como la recuperación de energía tienen desventajas. Los diferentes productos y flujos de residuos varían en su capacidad para ser reciclados mecánicamente, por ejemplo, la mayor parte de los envases de plástico flexible y multicapa no son aptos para el reciclaje mecánico (Kaiser et al., 2017). Otro problema del reciclaje mecánico es la degradación termomecánica del polímero (Ragaert et al., 2017), lo que hace que el reciclado sea de menor calidad que los polímeros vírgenes, esto se conoce como “downcycling”.

## 3.2.5.1. COMPOSTAJE

Es un proceso natural que descompone la materia orgánica en humus, lo cual es beneficioso para la salud del suelo. La cáscara y la pulpa de las industrias de procesamiento de frutas y verduras, los productos lácteos, las cáscaras de huevo, los periódicos, las servilletas y otros residuos orgánicos son ejemplos de residuos orgánicos industriales. (Figura 24).

Se deben establecer unos criterios de calidad, como salinidad, condiciones sanitarias, contenido en metales pesados, entre otros. Se recomienda contemplar la NMX-AA-180-SCFI-2018

que establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial.



Figura 24. Planta de compostaje de C.U., UNAM.

Fuente: Huego Alberto Quintero

Para fabricar composta a base de residuos orgánicos tanto domiciliaria como a escala municipal, es necesario contemplar los siguientes puntos:

**A) Elegir los residuos orgánicos adecuados:** Los residuos orgánicos que se pueden utilizar para hacer composta son las cáscaras de huevo, los restos de frutas, las verduras, las legumbres, los desechos del café o el té, entre otros.

**B) Es importante no incluir residuos orgánicos animales o lácteos,** productos que contengan levadura, grasa, heces de animales domésticos, entre otros.

**C) Separar los residuos orgánicos:** Es importante separar los residuos

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

orgánicos de los residuos inorgánicos para facilitar el proceso de compostaje.

**D) Definir el lugar:** Es necesario definir un lugar adecuado para hacer la composta, ya sea en un contenedor o en un espacio al aire libre.

**E) Comenzar a acomodar los residuos:** Es importante acomodar los residuos orgánicos en capas alternas de materiales húmedos y secos.

**F) Los materiales húmedos** pueden ser restos de frutas y verduras, café, yerba o restos de poda.

**G) Los materiales secos** pueden ser hojas secas, ramas, papel, cartón, entre otros.

**H) Mantener la humedad:** Es importante mantener la composta húmeda para que las bacterias puedan hacer su trabajo.

**I) Es importante remover la composta** para que se airee permitiendo la entrada de oxígeno, lo que es esencial para que se produzca la degradación natural de los residuos orgánicos y evita la fermentación anaeróbica, que puede generar malos olores y atraer insectos.

Para fabricar composta a gran escala, se requiere de diferentes plataformas de proceso que permitan el tratamiento a gran escala de los desechos orgánicos dependiendo de su avance en el proceso.

*El compostaje si no se lleva a cabo de manera correcta puede generar gases como el amoníaco, el metano y el dióxido de carbono. Así mismo, si no se maneja adecuadamente los lixiviados que se generan pueden filtrarse en el suelo y contaminar el agua. Lo anterior repercutiría en malos olores afectando la calidad de vida de las personas que viven cerca de un centro de compostaje.*

## 3.2.5.3. CO-PROCESAMIENTO

Es el uso de residuos en procesos industriales, como cemento, cal, producción de acero, centrales eléctricas o cualquier planta de combustión grande (GTZ-Holcim, 2006). Significa la sustitución del combustible primario y las materias primas por residuos, lo que permite la recuperación de energía y de materiales a partir de residuos. Los materiales y residuos usados en este proceso incluyen generalmente plásticos y papel de las actividades comerciales e industriales, neumáticos y aceites usados, residuos de biomasa (por ejemplo, paja, residuos de madera no tratada, lodos secos de aguas residuales), residuos de telas y de las operaciones de desmantelamiento de los autos, residuos industriales peligrosos (por ejemplo, ciertos lodos industriales, aserrín impregnado, solventes residuales), así como pesticidas obsoletos, medicamentos caducos, sustancias químicas y

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

---

farmacéuticas; a todos estos residuos se les conoce como combustibles derivados de residuos (CDR).

Los CDR típicamente se agregan al proceso de combustión mediante un sistema de dosificación independiente. El co-procesamiento en hornos cementeros ofrece la ventaja de que las reacciones del clínker a 1,450°C permiten la total incorporación de cenizas y en particular la unión química de los metales con el material del clínker. Los compuestos orgánicos tóxicos se destruyen por completo en la flama a temperaturas mayores a >2,000°C. La sustitución directa del combustible primario en el proceso de producción representa una recuperación de energía mucho más eficiente que la de otras tecnologías de aprovechamiento energético de residuos, alcanzando por lo general un 85 - 95% dependiendo de las propiedades de los residuos. Requiere flujos de residuos relativamente homogéneos con una característica definida para asegurar una combustión controlada.

*Para optar por el co-procesamiento es indispensable realizar un estudio físico químico de los residuos, a fin de conocer su balance energético. Un alto contenido de cloro o mercurio en los residuos puede causar problemas operativos o ambientales. Por lo tanto, residuos de PVC-plástico, por ejemplo, no son aptos para co-procesamiento. Las normas de calidad definen las características de CDR, como el contenido de metales en trazas, cloro y azufre. Un poder calorífico de unos 10 - 15 MJ/kg del CDR es el deseado para una operación económicamente robusta.*

*El co-procesamiento, mediante la recuperación de material y energía; contribuye a la reducción de los impactos ambientales de los residuos en un vertedero, así como en la producción de cemento, un proceso intensivo en términos de consumo de recursos y que genera diversas emisiones al aire que deben ser monitoreadas y reducidas más allá de los límites legalmente prescritos mediante técnicas apropiadas.*

*Es necesario que quien opta por esta tecnología, se asegure mediante un proceso de trazabilidad, que la cementera en la cual se está llevando el proceso, cumpla con las normas ambientales como adherirse a ciertos principios, como los de la Convención de Basilea (2012). Al utilizar CDR, las emisiones deben ser iguales o menores que sin el uso de CDR. Para este fin, el uso de tecnologías de punta y procedimientos como la alimentación directa del CDR a las zonas de alta temperatura en el horno es obligatorio.*

***Antes de optar por el co-procesamiento se deberá privilegiar el reuso y el reciclaje, una vez agotadas estas alternativas se podrá someter a co-procesamiento u otras tecnologías de termo valorización.***

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

---

## 3.2.5.4. INCINERACIÓN

La incineración controlada de residuos sólidos urbanos está diseñada para evitar que lleguen a sitios de disposición final residuos domésticos típicamente mezclados y sin tratar en altos volúmenes y algunos tipos de residuos industriales y comerciales. Un parámetro clave es el contenido de energía, conocido como poder calorífico inferior (PCI) el cual no debe ser menor a 7 MJ/kg.

Es un proceso de tratamiento térmico de residuos que consiste en calentar los residuos sólidos a temperaturas extremadamente altas en un sistema cerrado (Rahman y Alam, 2020). El calor producido en las plantas de incineración se puede utilizar para generar energía eléctrica. Estas plantas tienen varias fases de filtración para evitar que los subproductos se liberen al ambiente. Esta tecnología es útil para ciertos tipos de residuos, como hospitalarios, residuos químicos y peligrosos, porque los patógenos y toxinas son destruidos por las altas temperaturas utilizadas en el proceso. Esta tecnología es más popular en Japón, Singapur, los Países Bajos y algunos países europeos (Singh, 2023).

Es importante tener en consideración

que para que esta tecnología sea eficiente, deberá evitar en medida de lo posible el contenido de materia orgánica, la cual provee humedad a la mezcla provocando que el poder calorífico inferior disminuya.

Toda vez que, la incineración controlada de residuos representa un enfoque totalmente diferente a la imagen tradicional de la quema sin control, a cielo abierto e insegura; y al contar con procesos de combustión en instalaciones altamente especializadas y reguladas, requiere ser operada por especialistas con habilidades técnicas específicas. En caso de no existir especialistas a nivel local deberán contactarse expertos nacionales o internacionales para el desarrollo e implantación de la tecnología.

Lo anterior es de especial cuidado ya que estas instalaciones generan grandes cantidades de gases de combustión que deberán ser tratados, incluso cuando la incineración haya ocurrido bajo óptimas condiciones de combustión y se debe garantizar el monitoreo y reporte continuo de emisiones.

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

---

*La incineración genera un 25% de residuos en la forma de escoria (ceniza de fondo) y cenizas volantes. La ceniza de fondo consiste en partículas finas que caen al fondo del incinerador durante la combustión, mientras que las cenizas volantes hacen referencia a las partículas finas en los gases de escape que deben ser eliminadas mediante un tratamiento del gas de combustión. Estos residuos requieren atención adicional y, en el caso de cenizas volantes peligrosas, un lugar seguro para su disposición final.*

## 3.2.5.5. DIGESTIÓN ANAEROBIA

La Digestión anaerobia en digestores a menor escala ha tenido una larga tradición en países en vías de desarrollo para aprovechar el contenido energético de residuos orgánicos en contextos rurales. El sustrato primario en estos casos proviene de la agricultura, en especial del estiércol de animales, rastros, y otros residuos orgánicos relativamente fáciles de manejar ya que uno de los grandes obstáculos en la operación exitosa es la capacidad de garantizar fracciones de residuos orgánicos consistentemente bien separadas.

Si se opta por esta tecnología, el municipio deberá asegurarse de tener separación diferenciada y homogénea desde la fuente ya que en caso de que entren al proceso residuos mezclados con plásticos, papel, telas, pinturas, barnices, etc, se fracasará en la

generación de energía.

Esta tecnología evita que los residuos orgánicos lleguen a sitios de disposición final, siendo totalmente recomendable, para granjas porcícolas, rastros, recolección de carnicerías, entre otros; mientras que se asegure que la corriente de residuos orgánicos será completamente pura.

La digestión anaerobia tiene como posible riesgo ambiental, la fuga de biogás de digestores operados en forma incorrecta.

## 3.2.5.6. BIOGÁS

La captura de gas de relleno sanitario es de gran importancia en virtud de la cantidad de sitios de disposición final existentes en el país (tanto no controlados, controlados y rellenos sanitarios) aun cuando debería de ser la tecnología que vaya de salida al utilizar otras tecnologías que eviten la llegada de residuos a estas instalaciones.

Los proyectos de captura de gas metano generado en relleno sanitario (GRS) requieren un alto contenido de residuos orgánicos, por lo que, privilegiándose tecnologías como compostaje o digestión anaerobia que eviten que este tipo de residuos lleguen a los sitios de disposición final,

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

esta tecnología caerá en desuso a través de los años.

Para recolectar el gas metano o biometano, se insertan tuberías perforadas en el sitio de disposición de residuos para capturar el gas. Estas tuberías se pueden instalar en posición vertical u horizontal. El gas entra en los tubos perforados y se transfiere a un sistema de purificación de gas para eliminar en particular el ácido sulfhídrico. Después de la limpieza, el gas se puede aprovechar para fines energéticos.

Actualmente, la generación de electricidad utilizando biogás a partir de RSU ha ganado popularidad en todo el mundo (Cudjoe et al., 2020). La fracción orgánica de los RSU sufre reacciones químicas y biológicas en los SDF, que producen CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> (Purmessur y Surroop, 2019). Estos gases son una fuente potencial de generación de electricidad a través de la tecnología energética del biogás. Se estima que alrededor de 1,500 millones de toneladas de RSU que se disponen anualmente en SDF generan aproximadamente 75,000 millones de Nm<sup>3</sup> de metano, lo que podría generar entre 6,500 y 10,000 MWh de electricidad al año (Yechiel y Shevah, 2016).

*Los operadores de rellenos sanitarios deben asegurarse de que no existan riesgos importantes causados por la migración del gas del relleno sanitario hacia el exterior, a través del subsuelo o acumulándose fuera del relleno sanitario en una mezcla que podría ser explosiva o tóxica. Así mismo es importante minimizar la liberación de gases y realizar monitoreos ambientales.*

*El aprovechamiento de Biometano se forma por la digestión anaerobia de materia orgánica en el cuerpo del relleno sanitario, que es como un tipo de reactor biológico sobredimensionado. Para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de los rellenos sanitarios a la atmósfera, el gas metano debe ser capturado aun cuando estando ya en operación es imposible capturar todo el gas emitido por el relleno sanitario.*

## 3.2.5.7. PIRÓLISIS

Es la descomposición térmica de la materia rica en carbono que se produce en ausencia de oxígeno. El papel, los plásticos, el carbón, el cartón, los residuos animales y humanos, neumáticos y otros materiales pueden usarse. Los principales productos que se producen son el bioaceite (aceite de pirólisis), el carbón vegetal (biocarbón) y el gas de síntesis con un alto poder calorífico (Singh, 2023). En los últimos años, esta tecnología ha atraído mucha atención en la comunidad industrial y científica como una plataforma versátil y prometedora para convertir los residuos plásticos en recursos valiosos.

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

Sin embargo, todavía es difícil afinar un proceso de pirólisis selectivo y eficiente para reducir la distribución del producto para una producción comercial factible (Dai et al., 2022).

## 3.2.5.8. GASIFICACIÓN

A diferencia de la incineración, es un proceso de oxidación parcial que ocurre en una cantidad limitada de oxígeno. La gasificación es la transformación química de residuos sólidos o líquidos en un gas. Una cantidad limitada de oxígeno reacciona con la materia a base de carbono (no se quema) y la descompone en moléculas más simples llamadas gas de síntesis, que es una mezcla de hidrógeno (H<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO). El gas de síntesis producido se utiliza para impulsar turbinas asociadas con centrales eléctricas. Esta tecnología es el proceso mediante el cual la energía química almacenada en los residuos se convierte en otra energía química en forma de gas (Ciuta et al., 2018).

*La pirólisis o gasificación no se pueden considerar tecnologías independientes fáciles de manejar, ya que su operación requiere un buen entendimiento de la composición de los residuos entrantes y del proceso. La operación libre de problemas de una planta de pirólisis requiere técnicos altamente especializados por los requerimientos específicos de residuos a*

*utilizarse en el proceso y los productos sólidos resultantes con los que hay que tener especial cuidado.*

***Es de extrema importancia resaltar que, cualquier tecnología de valorización energética deberá ser considerada siempre y cuando se privilegie, esto es, se le dé prioridad al reúso y al reciclaje. Esto obedece a respetar el trabajo realizado por los recolectores de materiales que son el eslabón primario en la valorización de residuos y que este trabajo es su fuente de ingresos.***

## 3.2.6. DISPOSICIÓN FINAL

Un relleno sanitario exitoso requiere una buena operación y monitoreo además de una buena ubicación y diseño.

Es importante resaltar que algunos RS, para alcanzar una buena operación se operan bajo esquemas intermunicipales y bajo la dirección de un organismo operador descentralizado.

La operación de un relleno sanitario requiere la integración de varios componentes necesarios, como equipos, secuencias de depósito de residuos y métodos de colocación, compactación de residuos y colocación diaria de cubiertas. Además, se deben abordar y/o implementar aspectos tales como la colocación de caminos temporales, impermeabilización del sitio (**Figura 25**), la seguridad y la

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

protección, el control de entrada de residuos y la gestión de aguas pluviales. La operación técnica de depositar eficientemente los residuos en un relleno sanitario se acompaña de procedimientos ambientales de control de ruidos, olores, fuego, fauna nociva, polvo, entre otros (Cossu y Stegmann, 2019).



**Figura 25. Colocación de la geomembrana impermeable. Relleno Sanitario de Zaachila, Oaxaca.**  
Fuente: Sistemas de Ingeniería y Control Ambiental

De la misma manera, Cossu y Stegmann mencionan que los rellenos sanitarios deben de ser monitoreados por su desempeño con respecto a los lixiviados, el aire, las aguas subterráneas, la cobertura de residuos y los asentamientos. Los resultados también deben ser entregados a las autoridades y deben ser accesibles al público.

La organización de un relleno sanitario debe cubrir los siguientes temas:

- Definición de residuos admitidos a disposición.
- Control de entrada al relleno sanitario.
- Manipulación de Residuos de Manejo Especial (RME).
- Pretratamiento biológico de RSU (cuando corresponda).
- Operación eficiente del frente de trabajo.
- Mejora general de las condiciones de los rellenos sanitarios.
- Documentación y registro de las actividades del relleno sanitario.

## 3.2.6.1. NOM-083-SEMARNAT-2003

Todas las regulaciones específicas del sitio deben registrarse en un "Manual de operación básico", de acuerdo con lo que se indica en la NOM-083-SEMARNAT-2003. Debido a la importancia de la disposición final y en consecuencia de la normatividad asociada, en esta sección se desarrollará un resumen de los puntos más importantes de dicha norma a fin de que se tenga claridad en los procesos.

La NOM-083-SEMARNAT-2003 determina las especificaciones para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un SDF de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Dentro de esta norma se

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

estipulan ciertas restricciones para la ubicación de un nuevo SDF, las cuales se presentan en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Restricciones para la selección de un SDF	
No.	Restricción
1	Cuando se pretenda ubicar a una distancia menor de 13 km del centro de la(s) pista(s) de un aeródromo de servicio al público o aeropuerto, la distancia elegida se determinará mediante un estudio de riesgo aviario.
2	Ubicar fuera de áreas naturales protegidas.
3	Ubicar a una distancia mínima de 500 m de localidades mayores o iguales a 2,500 habitantes contados a partir del límite de la traza urbana existente o contemplada en el plan de desarrollo urbano.
4	Ubicar fuera de zonas de: marismas, manglares, esteros, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales, fluviales, recarga de acuíferos, arqueológicas; ni sobre cavernas, fracturas o fallas geológicas.
5	Ubicar fuera de zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años. En caso de no cumplir, se debe de demostrar que no existirá obstrucción del flujo en el área de inundación o posibilidad de deslaves o erosión que afecten la estabilidad física de las obras que integren el SDF.
6	Ubicar a una distancia mínima de 500 con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas.
7	La ubicación entre el límite del SDF y cualquier pozo de extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero, tanto en operación como abandonados, será de 100 m adicionales a la proyección horizontal de la mayor circunferencia del cono de abatimiento. Cuando no se pueda determinar el cono de abatimiento, la distancia al pozo no será menor de 500 m.

Tabla 6. Restricciones para la selección de un SDF

La norma clasifica a los SDF de acuerdo con la cantidad de toneladas de residuos sólidos que ingresan por día. (**Tabla 7**)

Tabla 7. Categorías de los SDF	
Tipo	Tonelaje recibido (t/día)
A	Mayor a 100
B	50 hasta 100
C	10 y menor a 50
D	Menor a 10

Tabla 7. Categorías de los SDF

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

Asimismo, la norma establece los estudios y análisis previos requeridos para la selección del SDF, estos se presentan a continuación:

**A) Estudio geológico:** determinar el marco geológico regional con el fin de obtener su descripción estratigráfica, así como su geometría y distribución, considerando también la identificación de discontinuidades, tales como fallas y fracturas; también, puede proporcionar información de cortes litológicos de pozos perforados en la zona e informes realizados por alguna institución particular u oficial.

**B) Estudios hidrogeológicos:** determinar evidencias y uso del agua subterránea, así como la ubicación de las evidencias de agua subterránea (manantiales, pozos y norias), en la zona de influencia, para conocer el gradiente hidráulico; identificar el tipo de acuífero (confinado o semiconfinado); y realizar el análisis del sistema de flujo.

También, para la realización del proyecto para la construcción y operación de un SDF debe contar con estudios y análisis previos, de acuerdo con el tipo de SDF, los cuales son:

**A) Estudio topográfico:** este estudio debe incluir la planimetría y altimetría a detalle del sitio seleccionado para el

SDF. Además, se deberán elaborar secciones específicas tanto longitudinales, como transversales.

**B) Estudio geotécnico:** se realiza para obtener los elementos de diseño necesarios y garantizar la protección del suelo, subsuelo, agua superficial y subterránea, la estabilidad de las obras civiles y del SDF a construirse (incluyendo al menos las pruebas de:

- Exploración y muestreo: exploración para definir sitios de muestreo, muestreo e identificación de muestras, análisis de permeabilidad de campo y peso volumétrico In-situ.
- Estudios en laboratorio: análisis granulométrico mediante el SUCS, permeabilidad, prueba Proctor, límites de consistencia (Límites de Atterberg), consolidación unidimensional, análisis de resistencia al esfuerzo cortante y humedad

Con las propiedades físicas y mecánicas definidas a partir de los resultados de laboratorio, se deben realizar los análisis de estabilidad de taludes de las obras de terracería correspondientes.

**C) Evaluación geológica:** precisar la litología de los materiales, así como la geometría, distribución y presencia de

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

fracturas y fallas geológicas en el sitio, así como determinar las características estratigráficas del sitio.

**D) Evaluación geohidrológica:** determinar los parámetros hidráulicos, dirección del flujo subterráneo, características físicas, químicas y biológicas del agua, además de determinar las unidades hidrogeológicas que componen el subsuelo, así como las características que las identifican (espesor y permeabilidad).

Entre los estudios específicos que debe de contar el SDF, se encuentran los de generación y composición:

**A) Generación y composición de RSU y RME:** se deben elaborar estos estudios de la población por servir, con proyección para al menos la vida útil del SDF.

**B) Generación de biogás:** se debe estimar la cantidad de generación esperada del biogás, mediante análisis químicos este quilométricos, que tomen en cuenta la composición química de los residuos por manejar.

**C) Generación de lixiviado:** se debe cuantificar el lixiviado mediante algún balance hídrico.

En la **Tabla 8** se indican los estudios a

realizarse según el tipo de SDF por desarrollar:

Tabla 8. Estudios y análisis requeridos para la construcción de SDF			
Estudios y análisis	A	B	C
Geológico y Geohidrológico Regionales	x		
Evaluación Geológica y Geohidrológica	x	x	
Hidrológico	x	x	
Topográfico	x	x	x
Geotécnico	x	x	x
Generación y composición de RSU y Residuos de Manejo Especial	x	x	x
Generación de biogás	x	x	
Generación de lixiviado	x	x	

Tabla 8. Estudios y análisis para la construcción de SDF

En cuanto a las características constructivas y operativas de un SDF, la NOM-083 debe cumplir con lo siguiente:

**A) Contar con una barrera geológica** natural o equivalente, a un espesor de un metro y un coeficiente de conductividad hidráulica, de al menos  $1 \times 10^{-7}$  cm/seg sobre la zona destinada al establecimiento de las celdas de disposición final; o bien, garantizarla con un sistema de impermeabilización equivalente. **(Figura 26)**

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS



Figura 26. Barrera impermeable.  
PEPGIRSU Oaxaca, 2014.

**B) Garantizar la extracción, captación, conducción y control del biogás generado en el SDF.** Una vez que los volúmenes y la edad de los residuos propicien la generación de biogás y de no disponerse de sistemas para su aprovechamiento conveniente, se procederá a su quema ya sea a través de pozos individuales o mediante el establecimiento de una red con quemadores centrales. **(Figura 27)**



Figura 27. Pozos biogás. PEPGIRSU  
Oaxaca, 2014.

**C) Construir un sistema de captación y extracción del lixiviado generado en el SDF.** El lixiviado debe ser recirculado en las celdas de residuos confinados en función de los requerimientos de humedad para la descomposición de los residuos, o bien ser tratado, o una combinación de ambas. **(Figura 28)**



Figura 28. Launa de lixiviados.  
PEPGIRSU Oaxaca, 2014.

**D) Diseñar un drenaje pluvial** para el desvío de escurrimientos pluviales y el desalojo del agua de lluvia, minimizando de esta forma su infiltración a las celdas. **(Figura 29)**



Figura 29. Canales para agua pluvial.  
Fuente: Sistemas de Ingeniería y Control  
Ambiental.

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

**E) Contar con un área de emergencia para la recepción de los RSU y RME,** cuando alguna eventualidad, desastre natural o emergencia de cualquier orden no permitan la operación en el frente de trabajo; dicha área debe proporcionar la misma seguridad ambiental y sanitaria que las celdas de operación ordinarias.

**F) Conforme a la *Tabla 7*, los SDF** deben alcanzar los siguientes niveles mínimos de compactación, los cuales se presentan en la *Tabla 9*:

Sitio		Compactación de los residuos kg/m <sup>3</sup>	Recepción a residuos sólidos t/día
A	A1	Mayor de 700	Mayor de 750
	A2	Mayor de 600	100-750
B		Mayor de 500	50-100
C		Mayor de 400	10-50

Tabla 9. Requerimientos de compactación

**G) Controlar la dispersión de materiales ligeros, la fauna nociva y la infiltración pluvial.** Los residuos deben ser cubiertos en forma continua y dentro de un lapso menor a 24 horas posteriores a su depósito. (*Figura 30*)

**H) Adoptar medidas para no admitir residuos** como residuos de aceites minerales, residuos peligrosos y residuos líquidos tales como aguas



Figura 30. Cobertura de residuos Las Matas

Fuente: PronaII Residuos

residuales y líquidos industriales de proceso, así como lodos hidratados de cualquier origen, con más de 85% de humedad con respecto al peso total de la muestra. En este último caso, los lodos que se dispongan en el frente de trabajo deben ser previamente tratados o acondicionados conforme a la normatividad vigente.

**I) Los SDF deben contar** con las obras complementarias que se presentan en la *Tabla 10*.

Obras	A	B	C
Camino de acceso	X	X	X
Camino interiores	X	X	
Cerca perimetral	X	X	X
Caseta de vigilancia y control de acceso	X	X	X
Báscula	X	X	
Agua potable, electricidad y drenaje	X	X	
Vestidores y servicios sanitarios	X	X	X
Franja de amortiguamiento (Mínimo 10 m.)	X	X	X
Oficinas	X		
Servicio Médico y Seguridad Personal	X		

Tabla 10. Obras complementarias

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

---

## J) Los SDF deben de contar con lo siguiente:

- Manual de operación que contenga: control de accesos de personal, vehículos y materiales, prohibiendo el ingreso de residuos peligrosos, radiactivos o inaceptables; registro de tipo y cantidad de residuos ingresados; cronogramas de operación; programas específicos de control de calidad, mantenimiento y monitoreo ambiental de biogás, lixiviados y acuíferos; procedimientos de operación; perfil de puestos, reglamento interno; y dispositivos de seguridad y planes de contingencia para: incendios, explosiones, sismos, fenómenos meteorológicos y manejo de lixiviados, sustancias reactivas, explosivas e inflamables.

En el caso de incendios en SDF, se recomienda ejecutar acciones para prevenir la intensificación del incendio, para ello es fundamental la ubicación e identificación de los residuos en combustión, la aplicación inmediata de una cubierta de material para impedir la entrada de oxígeno o la remoción del material en combustión (Sánchez Gómez, 2021). Cuando la cantidad de residuos que se combustionan sea mayor a 200 m<sup>3</sup>, entonces se recomiendan las siguientes acciones:

1. Detectar y categorizar el incendio.
  2. Designar un jefe del incidente.
  3. Solicitar el apoyo del Cuerpo de Bomberos y de Protección Civil.
  4. Contar con material térreo y con suministro de agua (incluso agua residual tratada o lixiviado tratado).
  5. Aplicar un plan de comunicación, particularmente hacia la población que puede resultar mayormente afectada.
  6. Instrumentar y llevar a cabo un plan de evacuación de los asentamientos residenciales cercanos, en caso de que sea necesario.
  7. Monitorear las emisiones de gases y el curso que puede tomar el incendio.
- Control de registro: ingreso de RSU y RME, materiales, vehículos, personal y visitantes, secuencia de llenado del SDF, generación y manejo de lixiviados y biogás; y contingencias.
  - Informe mensual de actividades:

**K) Instrumentar un programa** que incluya la medición y control de los impactos ambientales, además del programa de monitoreo ambiental de los SDF y conservar y mantener los registros correspondientes:

Monitoreo de biogás: tiene como objetivo conocer el grado de estabilización de los residuos para

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

proteger la integridad del SDF y detectar migraciones fuera del predio. Dicho programa debe especificar los parámetros de composición, explosividad y flujo del biogás.

- Monitoreo de lixiviado: tiene como objetivo conocer sus características de Potencial de Hidrógeno (pH), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y metales pesados.
- Monitoreo de acuíferos: estos programas deben contar con puntos de muestreo que respondan a las condiciones particulares del sistema de flujo hidráulico, mismo que define la zona de influencia del SDF, y por lo menos, dos pozos de muestreo, uno aguas arriba y otro aguas abajo del SDF. Los parámetros básicos que se considerarán en el diseño de los pozos son: gradientes superior y descendente hidráulico, variaciones naturales del flujo del acuífero, variaciones estacionales del flujo del acuífero, y calidad del agua antes y después del establecimiento del SDF. La calidad de referencia estará definida por las características del agua nativa.

**L) En caso de que se haya actividad de separación de residuos en el SDF** no deberá afectar el cumplimiento de las especificaciones de operación, ni

significar un riesgo para las personas que la realicen.

En el caso de SDF donde se reciban menos de 10 toneladas diarias de RSU y RME (tipo D), estos deben de cumplir con los siguientes requisitos:

- Garantizar un coeficiente de conductividad hidráulica de  $1 \times 10^{-5}$  cm/seg, con un espesor mínimo de un metro, o su equivalente, por condiciones naturales del terreno, o bien, mediante la impermeabilización del sitio con barreras naturales o artificiales.
- Compactación mínima de 300 kg/m<sup>3</sup>.
- Cobertura de los residuos, por lo menos cada semana.
- Evitar el ingreso de residuos peligrosos en general.
- Control de fauna nociva y evitar el ingreso de animales.
- Cercar en su totalidad el SDF.

Por último, cuando el SDF haya cumplido con su vida útil, entonces se procederá a realizar la clausura del sitio (**Figura 31**), donde se debe de cumplir con lo siguiente:

**A) Cobertura final:** tiene como objetivo aislar los residuos, minimizar la infiltración de líquidos en las celdas,

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

---

controlar el flujo del biogás generado, minimizar la erosión y brindar un drenaje adecuado. Las áreas que alcancen su altura final y tengan una extensión de 2 ha deben ser cubiertas conforme al avance de los trabajos y el diseño específico del sitio.

**B) Conformación final:** debe contemplar las restricciones relacionadas con el uso del sitio, estabilidad de taludes, límites del predio, características de la cobertura final de clausura, drenajes superficiales y la infraestructura para control del lixiviado y biogás.

**C) Mantenimiento:** se debe elaborar y operar un programa de mantenimiento de posclausura para todas las instalaciones del SDF, por un periodo de al menos 20 años. Este periodo puede ser reducido cuando se demuestre que ya no existe riesgo para la salud y el ambiente. El programa debe incluir el mantenimiento de la cobertura final de clausura, para reparar grietas y hundimientos provocados por la degradación de los RSU y RME, así como los daños ocasionados por erosión (escurrimientos pluviales y viento).

**D) Programa de monitoreo:** elaborar y operar un programa de monitoreo para detectar condiciones inaceptables de riesgo al ambiente por la emisión de biogás y generación de lixiviado, el cual debe mantenerse vigente por un

periodo de al menos 20 años.

**E) Uso final del SDF:** debe ser acorde con el uso de suelo aprobado por la autoridad competente con las restricciones inherentes a la baja capacidad de carga, posibilidad de hundimientos diferenciales y presencia de biogás.

El incumplimiento de las normas oficiales mexicanas, incluyendo la NOM-083-SEMARNAT-2003, puede llevar a sanciones legales y administrativas impuestas por las autoridades competentes en México.

Por lo tanto, es obligatorio que cada municipio cumpla con esta normativa para operar de manera legal y segura en el país, no obstante que el relleno sanitario esté a cargo de un tercero (por contrato o concesión), el municipio deberá verificar su cumplimiento toda vez que la gestión de Residuos Sólidos Urbanos es de competencia municipal.

Es importante mencionar que la norma debe actualizarse por lo cual los lineamientos antes descritos podrán variar entre cada versión de la norma vigente al momento de su aplicación.

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS



Figura 31. Clausura de SDF Las Matas.

Fuente: Sistemas de Ingeniería y Control Ambiental.

## 3.2.6.2. OPERACIONES BÁSICAS EN EL FRENTE DE TRABAJO

Más allá de lo previsto en la norma, a continuación, se incluyen una serie de acciones básicas que se deben realizar en los sitios de disposición final a manera de que el frente de trabajo se mantenga ordenado.

Debe haber una secuencia operacional hacia el frente de trabajo de acuerdo con los siguientes pasos:

- Control de acceso.
- Pesaje.
- Registro.
- Direccionamiento del camión recolector al frente de trabajo.
- Acceso al patio de maniobras y acomodo del camión recolector para su descarga cerca del frente de trabajo

En el frente de trabajo se deberá:

- Mantener el tamaño lo más pequeño posible.
- Cubrir la celda a medida que se va formando.
- Descargar los residuos al pie del frente de trabajo inclinado.
- Trabajar en talud lo más alto posible (3:1).

Los factores para considerarse en la selección de equipos para la operación de un relleno sanitario están relacionados con las características y tipos de equipos de movimiento de tierras. Para la selección de los equipos necesarios, se deben considerar las características del suelo, la topografía, las condiciones climatológicas, así

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

como las características cuantitativas y cualitativas de los residuos, así como las restricciones presupuestarias. En 2019, el gobierno de Mendoza en Argentina presentó un proyecto de gestión integral de RSU en la zona

metropolitana de la provincia de Mendoza, donde se describen los equipos requeridos para la operación de un relleno sanitario, los cuales se presentan en la **Tabla 11**.

Tabla 11. Equipos en rellenos sanitarios		
Equipo	Función	Imagen
<b>Tractor sobre orugas con hoja topadora</b>	Distribuir y compactar los residuos y realizar la preparación del sitio, suministrar la cobertura diaria y final y trabajos generales de movimiento de tierras. También son conocidos como "bulldozer", poseen un sistema de orugas metálicas de anchos variables especificados, tales como 457 mm, 508 mm, 559 mm y 610 mm. La potencia de los equipos puede ser de 140, 200 o 300 HP.	
<b>Compactador con ruedas metálicas</b>	Distribuir y compactar los RSU para alcanzar una compactación mayor o igual a 1 t/m <sup>3</sup> , dentro de la celda de relleno sanitario. También son conocidos como "pata de cabra". Están equipados con motores diésel, tanto turbo como estándar. Las ruedas metálicas pueden ser de diente de punta cruciforme de material resistente a la abrasión o con pisones dispuestos y hojas cortadoras, esto le permite concentrar el peso sobre una superficie de contacto más pequeña y ejerciendo una mayor presión sobre los residuos. El tren de fuerza de avance oscila entre 6 a 10 km/h y en retroceso de 7 a 11 km/h.	

Tabla 11. Equipos en rellenos sanitarios.

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

Tabla 11. Equipos en rellenos sanitarios		
Equipo	Función	Imagen
<b>Cargador frontal sobre neumáticos</b>	Excavar en suelos blandos y cargar el material excavado a los camiones para transportarlo al sector donde se realizará la cobertura diaria. Su distancia de transporte no debe superar los 50 ó 60 m. Generalmente están equipados con motores diésel y dirección (tracción) en las cuatro ruedas. El eje frontal es fijo y el trasero puede oscilar. Los modelos varían en potencia, en un intervalo entre los 65 HP y los 375 HP. La capacidad del cucharón varía de 0.8 m <sup>3</sup> a 6 m <sup>3</sup> .	
<b>Cargador frontal sobre orugas</b>	Pueden desarrollar funciones similares a las de los cargadores sobre neumáticos. Los cargadores sobre orugas también son recomendables para excavar en suelo macizo o duro. Su distancia óptima para transporte de materiales no debe exceder de los 30 m. Están equipados con motores diésel, con intervalos de potencia entre los 65 HP y los 275 HP. El cucharón de este tipo de equipos es de fácil y rápida operación mediante un mecanismo hidráulico.	
<b>Retroexcavadora sobre orugas</b>	Excavación del suelo y carga de camiones. Está equipada con un motor diésel y un sistema hidráulico para el control de los brazos de carga y del cucharón. El tiempo del ciclo de excavación depende del tamaño del equipo y de las condiciones del sitio. Esto implica que cuando la excavación es de mayor dificultad o la trinchera más profunda, el procedimiento de excavación será más lento. Los diferentes fabricantes de estas máquinas indican el cálculo o la estimación del tiempo para el ciclo de acuerdo con el modelo de equipo y las condiciones particulares de cada sitio (tipo de suelo y profundidad de excavación). La profundidad de excavación (medida desde el nivel de apoyo de la máquina) depende del alcance de los brazos de carga.	

Tabla 11. Equipos en rellenos sanitarios.

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

Es un proceso complejo que requiere una variedad de equipos y maquinarias para garantizar la eficiencia, la seguridad y la conformidad con las normativas ambientales. Además de los equipos utilizados para la compactación de residuos, anteriormente descritos, otros equipos son esenciales para diversas tareas relacionadas con la operación del relleno sanitario. Algunos de estos equipos incluyen camiones de volteo (acarreo del material de cobertura) y pipas de agua (rociar agua en las áreas donde se está trabajando, humedecer los residuos - este riego controlado ayuda a mantener el polvo bajo control y mejora la calidad del aire en el sitio).

Alrededor de 1,400 millones de toneladas de RSU se disponen anualmente en SDF, lo que constituye el 70% del total de RSU (Mor y Ravindra, 2023). Actualmente, el relleno sanitario es el método más común, económico y conveniente para la disposición final de residuos sólidos en países de todo el mundo (Ren et al., 2022).

*La disposición inadecuada de residuos sólidos en tiraderos a cielo abierto provoca graves consecuencias ambientales en términos de contaminación de las aguas subterráneas, el suelo y el aire, lo que genera numerosos riesgos para la salud, ya que por lo general se depositan*

*en áreas bajas, lo que se suma a las emisiones de gases de efecto invernadero, la producción de olores desagradables y provoca riesgos de incendio que afectan negativamente al ecosistema local (Mor y Ravindra, 2023).*

La quema y el depósito de residuos sólidos en tiraderos a cielo abierto (**Figura 32**) no solo contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también generan lixiviados, que son peligrosos para el suelo y pueden filtrarse profundamente en las aguas subterráneas. La filtración de lixiviados en las aguas subterráneas afecta la calidad general del agua si se consume para las necesidades diarias, lo que puede ocasionar graves riesgos para la salud (Sankoh et al., 2013). Además, los tiraderos a cielo abierto propician criaderos de mosquitos, roedores y otras plagas, que pueden transmitir diversas enfermedades y reducen aún más la calidad de vida (Phan et al., 2021)



**Figura 32. Tirada a cielo abierto.**

Fuente: Sistemas de Ingeniería y Control Ambiental.

# MANUAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y MALAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

---

Los datos anteriores evidencian que la infraestructura con la que cuentan los SDF en nuestro país es insuficiente para suponer que sean instalaciones en las que se puedan depositar los residuos con garantía de protección al ambiente, sobre todo, cuando se observa que 1,053 SDF, el 47.80% del total, no cuentan con ninguna infraestructura básica para la protección del ambiente (DBGIR 2020).

-----

Algo similar se observa en lo relativo a los procesos operativos que se realizan en los SDF, ya que sólo en 753 SDF, el 34.18%, se tiene control de acceso al sitio, y en el 81% de los sitios no se tiene control sobre el tipo y la cantidad de residuos que ingresan. Esto implica que no se puede asegurar que no estén ingresando residuos peligrosos a los sitios de disposición final de RSU (DBIGIR 202).

Por último, hoy en día es más complicado desarrollar un nuevo relleno sanitario, pues el aumento del valor de la tierra y la urbanización dificultan que las ciudades obtengan un espacio adecuado para la disposición de residuos (Shyamal et al., 2022).

## CONCLUSIONES

---

De este trabajo se concluye que es necesario avanzar en otras etapas de la MIRSU, ya que todos los esfuerzos se centralizan en la recolección y disposición final, dejando a un lado el barrido y el reciclaje. Además, es necesario que los responsables de limpia presten mayor atención en los procesos que ocurren en todas las etapas del manejo integral de los residuos y sus infraestructuras, es decir, brindar una buena operación para garantizar la salud humana y ambiental.

En conclusión, estos manuales representan un paso significativo hacia una gestión de residuos sólidos urbanos más responsable y sostenible. A lo largo de este proceso, hemos abordado conceptos clave como la reducción, la reutilización y el reciclaje de residuos, así como la correcta disposición final de aquellos que no pueden ser evitados o recuperados. Al implementar las recomendaciones y directrices contenidas en este manual, no solo estaremos protegiendo nuestro entorno, sino también mejorando la calidad de vida de nuestras comunidades y contribuyendo al esfuerzo global por combatir el cambio climático. Siguiendo estos principios, podemos transformar la gestión de residuos sólidos urbanos en una

actividad más sostenible, beneficiando a todos los habitantes del planeta y preservando sus recursos naturales para las generaciones venideras.

Por último, el problema de las malas prácticas en el manejo integral de residuos abre una oportunidad para el empleo de tecnologías para el desarrollo sostenible con la inclusión de tratamientos para para el aprovechamiento de los RSU, promoviendo siempre, en primera instancia el reciclaje de los RSU.

Como se pudo observar, el éxito de todas las opciones de valorización de residuos, dependen de la separación en fuente, la recolección diferenciada y la segregación de residuos de acuerdo a su composición para, con esto, poder optar por la tecnología más conveniente de acuerdo a la situación de cada municipio, siempre que esté encaminada a evitar el envío de residuos a un sitio de disposición final, lo cual derivará en un ahorro por el costo de no vertido así como un beneficio por no emisión de gases efecto invernadero.

## REFERENCIAS RECOMENDADAS

---

# REFERENCIAS RECOMENDADAS

---

## ALMACENAMIENTO

GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS DE SEPARACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS [HTTPS://CIUDADES Y TRANSPORTE.MX/WP-CONTENT/UPLOADS/2021/07/GUIA\\_PSR\\_2012.PDF](https://ciudadesytransporte.mx/wp-content/uploads/2021/07/Guia_PSR_2012.pdf)

## RECOLECCIÓN

MANUAL DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS [HTTPS://OPENJICAREPORT.JICA.GO.JP/PDF/12290516\\_03.PDF](https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12290516_03.pdf)

## TRATAMIENTO

MANUAL DE COMPOSTAJE MUNICIPAL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS [HTTPS://CIUDADES Y TRANSPORTE.MX/WP-CONTENT/UPLOADS/2021/07/COMPOSTAJE\\_RSU-2006.PDF](https://ciudadesytransporte.mx/wp-content/uploads/2021/07/COMPOSTAJE_RSU-2006.pdf)

ESTUDIO DE EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS O COMPLEMENTARIAS PARA EL TRATAMIENTO O DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS [HTTPS://WWW.CMIC.ORG.MX/COMISIONES/SECTORIALES/INFRAESTRUCTURAHIDRAULICA/PUBLICACIONES\\_CONAGUA/RESIDUOS%20PELIGROSOS/EST-EVA2009.PDF](https://www.cmic.org.mx/comisiones/sectoriales/infraestructura/hidraulica/publicaciones/conagua/residuos%20peligrosos/est-eva2009.pdf)

OPCIONES PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. [HTTPS://WWW.GIZ.DE/EN/DOWNLOADS/GUIA%20GIZ%202017%20WASTETOENERGY%20-%20SP.PDF](https://www.giz.de/en/downloads/guia%20giz%202017%20wastetoenergy%20-%20sp.pdf)

## ALMACENAMIENTO

GUÍA DE CUMPLIMIENTO DE LA NOM-083-SEMARNAT-2003 [HTTP://CENTRO.PAOT.ORG.MX/DOCUMENTOS/SEMARNAT/GUIA\\_CUMPLIMIENTO\\_NOM\\_083.PDF](http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/guia_cumplimiento_nom_083.pdf)

MANUAL PARA LA SUPERVISIÓN Y CONTROL DE RELLENOS SANITARIOS [HTTPS://BIBLIOTECA.SEMARNAT.GOB.MX/JANIUM/DOCUMENTOS/CIGA/EID2009/CD%20000929.PDF](https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/documentos/ciga/eid2009/cd%20000929.pdf)

ALTERNATIVAS DE RELLENOS SANITARIOS - GUÍA DE TOMA DE DECISIÓN - [HTTP://APLICACIONES.SEMARNAT.GOB.MX/RESIDUOS/BIBLIOVIRTUAL/ALTERNATIVA\\_DE\\_RELLENOS\\_SANITARIOS\\_GUIA\\_DE\\_TOMA\\_DE\\_DECISION.PDF](http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/residuos/bibliovirtual/alternativa_de_rellenos_sanitarios_guia_de_toma_de_decision.pdf)

## OTROS

GUÍA PARA LA LICITACIÓN Y CONCESIÓN DE OBRAS Y SERVICIOS EN LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN MÉXICO

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

---

# BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

---

BEYLOT, A., HOCHAR, A., MICHEL, P., DESCAT, M., MÉNARD, Y. Y VILLENEUVE, J. (2017). MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION IN FRANCE: AN OVERVIEW OF AIR POLLUTION CONTROL TECHNIQUES, EMISSIONS, AND ENERGY EFFICIENCY. *JOURNAL OF INDUSTRIAL ECOLOGY*, 1016-1026, 22 (5).

CESCHI, A., SARTORI, R., DICKERT, S., SCALCO, A., TUR, E.M., TOMMASI, F. Y DELFINI, K. (2021). TESTING A NORM-BASED POLICY FOR WASTE MANAGEMENT: AN AGENT-BASED MODELING SIMULATION ON NUDGING RECYCLING BEHAVIOR. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT*, 294.

CHAI, F., LI, P., LI, L., QIU, Z., HAN, Y. Y YANG, K. (2022). DISPERSION, OLFACTORY EFFECT, AND HEALTH RISKS OF VOCs AND ODORS IN A RURAL DOMESTIC WASTE TRANSFER STATION. *ENVIRONMENTAL RESEARCH*, 209.

CHEN, D.M., BODIRSKY, B.L., KRUEGER, T., MISHRA, A. Y POPP, A. (2020). THE WORLD'S GROWING MUNICIPAL SOLID WASTE: TRENDS AND IMPACTS. *ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS*, 15(7).

CHENG, Z., SUN, Z., ZHU, S., LOU, Z., ZHU, N. Y FENG, L. (2019). THE IDENTIFICATION AND HEALTH RISK ASSESSMENT OF ODOR EMISSIONS FROM WASTE LANDFILLING AND COMPOSTING. *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT*, 1038-1044, 649.

CIUTA, S., TSIAMIS, D. Y CASTALDI, M.J. (2018). GASIFICATION OF WASTE MATERIALS. ELSEVIER. DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/C2015-0-06162-7](https://doi.org/10.1016/C2015-0-06162-7)

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). (2016). GUÍA GENERAL PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS.

COSSU, R. Y STEGMANN, R. (2019). SOLID WASTE LANDFILLING: CONCEPTS, PROCESSES, TECHNOLOG. ELSEVIER. DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/C2012-0-02435-0](https://doi.org/10.1016/C2012-0-02435-0)

CUDJOE, D., HAN, M.S. Y NANDIWARDHANA, A.P. (2020). ELECTRICITY GENERATION USING BIOGAS FROM ORGANIC FRACTION OF MUNICIPAL SOLID WASTE GENERATED IN PROVINCES OF CHINA: TECHNO-ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL IMPACT ANALYSIS. *FUEL PROCESSING TECHNOLOGY*, 203.

DA SILVA, C.L., WEINS, N. Y POTINKARA, M. (2019). FORMALIZING THE INFORMAL? A PERSPECTIVE ON INFORMAL WASTE MANAGEMENT IN THE BRICS THROUGH THE LENS OF INSTITUTIONAL ECONOMICS. *WASTE MANAGEMENT*, 79-89, 99.

DAI, L., ZHOU, N., LV, Y., CHENG, Y., WANG, Y., LIU, Y., COBB, K., CHEN, P., LEI, H. Y RUAN, R. (2022). PYROLYSIS TECHNOLOGY FOR PLASTIC WASTE RECYCLING: A STATE-OF-THE-ART REVIEW. *PROGRESS IN ENERGY AND COMBUSTION SCIENCE*, 93.

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GTZ), Y HOLCIM. (2006). GUÍA PARA EL CO-PROCESAMIENTO DE RESIDUOS EN LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO.

DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN (2003). LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS. [HTTPS://WWW.DIPUTADOS.GOB.MX/LEYESBIBLIO/PDF/LGPGIR.PDF](https://www.diputados.gob.mx/leyesbiblio/pdf/LGPGIR.PDF)

DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN (2006). REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS. [HTTPS://WWW.DIPUTADOS.GOB.MX/LEYESBIBLIO/REGLEY/REG\\_LGPGIR\\_311014.PDF](https://www.diputados.gob.mx/leyesbiblio/regley/reg_LGPGIR_311014.PDF)

# BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

---

OKE, A., MCDONALD, S. Y KOROBILIS-MAGAS. (2021). DEMYSTIFYING THE COMPLEXITY AND HETEROGENEITY OF RECYCLING BEHAVIOR IN ORGANIZATIONAL SETTINGS: A MIXED-METHODS APPROACH. WASTE MANAGEMENT, 337-347, 136.

OKE, A., PINAS, C.J. Y OSOBAJO, O.A. (2022). DESIGNING EFFECTIVE WASTE MANAGEMENT PRACTICES IN DEVELOPING ECONOMIES: THE CASE OF SURINAME. CLEANER WASTE SYSTEMS, 3.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU). (2018). PERSPECTIVA DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE.

PEREIRA, T.S. Y FERNANDINHO, G. (2019). EVALUATION OF SOLID WASTE MANAGEMENT SUSTAINABILITY OF A COASTAL MUNICIPALITY FROM NORTHEASTERN BRAZIL. OCEAN & COASTAL MANAGEMENT, 179.

PHAN, LT., NGUYEN, G.T., NGUYEN, Q.A.D., NGUTEN, H.S., NGUYEN, TT. Y WATANABE, T. (2021). QUALITY OF LIFE AND FACTORS AFFECTING IT: A STUDY AMONG PEOPLE LIVING NEAR A SOLID WASTE MANAGEMENT FACILITY. FRONTIERS IN PUBLIC HEALTH, 9.

PLATAFORMA ARTICULADA PARA EL DESARROLLO INTEGRAL TERRITORIAL (PADIT). (2021). GUÍA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES. CUBA.

PUJARA, Y., GOVANI, J., PATEL, H.T., PATHAK, P., MASHRU, D. Y GANESH, P.S. (2023). QUANTIFICATION OF ENVIRONMENTAL IMPACTS ASSOCIATED WITH MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT IN RAJKOT CITY, INDIA USING LIFE CYCLE ASSESSMENT. ENVIRONMENTAL ADVANCES, 12.

PURMESSUR, B. Y SURROOP, D. (2019). POWER GENERATION USING LANDFILL GAS GENERATED FROM NEW CELL AT THE EXISTING LANDFILL SITE. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL CHEMICAL ENGINEERING, 7(3).

RAHMAN, M.S. Y ALAM, J. (2020). SOLID WASTE MANAGEMENT AND INCINERATION PRACTICE: A STUDY OF BANGLADESH. INTERNATIONAL JOURNAL OF NONFERROUS METALLURGY, 1-25, 9(1).

RAGAERT, K., DELVA Y L., VAN GEEM, K. (2017). MECHANICAL AND CHEMICAL RECYCLING OF SOLID PLASTIC WASTE. WASTE MANAGEMENT, 24-58, 69.

REBEHY, P.C.P.W., COSTA, A.L., CAMPELLO, C.A.G.B., ESPINOZA, D.F. Y NETO, M.J. (2017). INNOVATIVE SOCIAL BUSINESS OF SELECTIVE WASTE COLLECTION IN BRAZIL: CLEANER PRODUCTION AND POVERTY REDUCTION. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, 462-473, 154(15).

REDMAN, A. Y REDMAN, E. (2022). POSSIBILITIES FOR SUSTAINABLE HOUSEHOLD WASTE MANAGEMENT: A CASE STUDY FROM GUANAJUATO, MEXICO. CLEANER WASTE SYSTEMS, 2.

REN, Y., ZHANG, Z. Y HUANG, M. (2022). A REVIEW ON SETTLEMENT MODELS OF MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILLS. WASTE MANAGEMENT, 79-95, 149.

RODRIGUES, S., MARTINHO, G. Y PIRES, A. (2016). WASTE COLLECTION SYSTEMS. PART A: A TAXONOMY. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, 374-387, 113(1).

ROJAS-VALENCIA, M.N., QUINTERO NAVARRO, H., GUTIÉRREZ-PALACIOS, C., ARAIZA-AGUILAR, J., BARRIOS PÉREZ, J., NÁJERA-AGUILAR, H. Y GUTIÉRREZ-HERNÁNDEZ, R. (2020). USE OF CELLULOSIC AND CONSTRUCTION WASTE FOR MANUFACTURING BRICKS. TRANSYLVANIAN REVIEW, 12127-12136, 22(48).

# BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

---

SÁEZ, A. Y URDANETA G., J.A. (2014). MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. OMNIA, 121-135, 20(3).

SALAZAR-ADAMS, A. (2021). THE EFFICIENCY OF MUNICIPAL SOLID WASTE COLLECTION IN MEXICO. WASTE MANAGEMENT, 71-79, 133.

SÁNCHEZ GÓMEZ, J. (2021). GUÍA PARA EL CONTROL DE INCENDIOS EN VERTEDEROS DE RESIDUOS SÓLIDOS. MÉXICO.

SANKOH, F.P., YAN, X. Y TRAN, Q. (2013). ENVIRONMENTAL AND HEALTH IMPACT OF SOLID WASTE DISPOSAL IN DEVELOPING CITIES: A CASE STUDY OF GRANVILLE BROOK DUMPSITE, FREETOWN, SIERRA LEONE. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL PROTECTION, 4(7).

SECRETARÍA DE AMBIENTE Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL MENDOZA. (2019). PROYECTO DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS ZONA METROPOLITANA DE LA PROVINCIA DE MENDOZA. ANEXO 27. GOBIERNO DE MENDOZA. ARGENTINA.

SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL (SEDESOL). (2015). MANUAL TÉCNICO SOBRE GENERACIÓN, RECOLECCIÓN Y TRANSFERENCIA DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES. MÉXICO.

SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN (SEGOB). (2022). MANUAL SERVICIOS PÚBLICOS MUNICIPALES. LA MÉDULA DEL MUNICIPIO. MÉXICO.

SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE (SEDEMA). (2015). NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL NADF-024-AMBT-2013, QUE ESTABLECE LOS CRITERIOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BAJO LOS CUALES SE DEBERÁ REALIZAR LA SEPARACIÓN, CLASIFICACIÓN, RECOLECCIÓN SELECTIVA Y ALMACENAMIENTO DE LOS RESIDUOS DEL DISTRITO FEDERAL.

SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE (SEDEMA). (2022). LINEAMIENTOS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS PROGRAMAS PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO PÚBLICO DE LIMPIA DE LA CIUDAD DE MÉXICO. CIUDAD DE MÉXICO. MÉXICO.

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. (2018). GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS TARIFARIOS PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS EN EL ESTADO DE JALISCO. JALISCO. MÉXICO.

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT). (2020). DIAGNÓSTICO BÁSICO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS (1ª ED.). LUCART ESTUDIO S.A. DE C.V.

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT). (2004). NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-083-SEMARNAT-2003, ESPECIFICACIONES DE PROTECCIÓN AMBIENTAL PARA LA SELECCIÓN DEL SITIO, DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN, MONITOREO, CLAUSURA Y OBRAS COMPLEMENTARIAS DE UN SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y DE MANEJO ESPECIAL. PUBLICADA EN EL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN EL 20 DE OCTUBRE DE 2004. [HTTPS://WWW.PROFEPA.GOB.MX/INNOVAPORTAL/FILE/1306/1/NOM-083-SEMARNAT-2003.PDF](https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1306/1/nom-083-semarnat-2003.pdf)

SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT). (2020). PANORAMA GENERAL DE LAS TECNOLOGÍAS DE RECICLAJE EN MÉXICO Y EL MUNDO. MÉXICO.

# BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

---

SHYAMAL, D.S., SAWAI, A. Y KAZMI, A.A. (2022). A REVIEW ON THE URBAN MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT SYSTEM OF AN INDIAN HIMALAYAN STATE. JOURNAL OF MATERIAL CYCLES AND WASTE MANAGEMENT, 835-851, 24.

SINGH, D. (2023). WASTE MANAGEMENT AND RESOURCE RECYCLING IN THE DEVELOPING WORLD. ELSEVIER. DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/C2020-0-03094-X](https://doi.org/10.1016/C2020-0-03094-X)

TAVARES, G., ZSIGRAIOVA, Z., SEMIAO, V. Y CARVALHO, M.G. (2009). OPTIMISATION OF MSW COLLECTION ROUTES FOR MINIMUM FUEL CONSUMPTION USING 3D GIS MODELLING. WASTE MANAGEMENT, 1176-1185, 29(3).

TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H. Y VIGIL, S.A. (1994). GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS. (VOL. 1). MCGRAW HILL.

UNEGG, M.C., STEININGER, K.W., RAMSAUER, C. Y RIVERA-AGUILAR, M. (2023). ASSESSING THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF WASTE MANAGEMENT: A COMPARATIVE STUDY OF CO2 EMISSIONS WITH A FOCUS ON RECYCLING AND INCINERATION. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, 415.

VERMA, R., VINODA, K.S., PAPIREDDY, M. Y GOWDA, A.N.S. (2016). TOXIC POLLUTANTS FROM PLASTIC WASTE- A REVIEW. PROCEDIA ENVIRONMENTAL SCIENCES, 701-708, 35.

VODYANITSKII, Y.N. (2016). BIOCHEMICAL PROCESSES IN SOIL AND GROUNDWATER CONTAMINATED BY LEACHATES FROM MUNICIPAL LANDFILLS (MINI REVIEW). ANNALS OF AGRARIAN SCIENCE, 249-256, 14(3).

YECHIEL, A. Y SHEVAH, Y. (2016). OPTIMIZATION OF ENERGY GENERATION USING LANDFILL BIOGAS. JOURNAL OF ENERGY STORAGE, 93-98, 7.

YOUCAI, Z. Y ZIYANG, L. (2017). POLLUTION CONTROL AND RESOURCE RECOVERY: MUNICIPAL SOLID WASTES AT LANDFILL. ELSEVIER. DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/C2016-0-01836-3](https://doi.org/10.1016/C2016-0-01836-3)

ZENG, X. Y LI, J. (2018). URBAN MINING AND ITS RESOURCES ADJUSTMENT: CHARACTERISTICS, SUSTAINABILITY, AND EXTRACTION. SCIENTIA SINICA TERRAE, 288-298, 48.

BOHÓRQUEZ SANTANA, W. (2019). EL PROCESO DE COMPOSTAJE. EDICIONES UNISALLE - UNIVERSIDAD DE LA SALLE., 16-19.

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GIZ) (2017) OPCIONES PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. 20-41

