

MACRO Y MICRO RUTEO DE RESIDUOS SÓLIDOS RESIDENCIALES

JORGE NELSON MÁRQUEZ PÉREZ

**UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
SINCELEJO**

MACRO Y MICRO RUTEO DE RESIDUOS SÓLIDOS RESIDENCIALES

JORGE NELSON MÁRQUEZ PÉREZ

**Trabajo de grado, modalidad monografía, presentado como requisito
para optar el título de Ingeniero Civil**

DIRECTOR: DOMINGO GUERRA ZAPA
Ingeniero Civil
Especialista Ing. Sanitaria y Ambiental

UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
SINCELEJO

Dedicatoria

Primero y antes que nada, a **Dios**, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi madre María, mi tía Damaris y demás familiares en general por el ánimo, apoyo y alegría que me brindan y me dan la fortaleza necesaria para seguir adelante.

Agradecimientos

Agradezco a Dios que me dio las facultades para pensar en mi futuro y sobre todo a mi madre, fiel amiga, acompañante y consejera que si no fuera por su sacrificio no estaría en estos momentos.

Gracias a la vida que tengo y a mis amigos que más quiero si no fuera por ellos mi sueño no lo habría cumplido.

No tengo letras para seguir diciendo el gran regocijo que me da poder terminar esta carrera en donde profesores y compañeros dejan parte de su vida, para dar vida a las ilusiones de niño y que hoy en día se hacen realidad.

Al Ingeniero Domingo Guerra, mi agradecimiento por su orientación, paciencia y apoyo brindado en la elaboración de este trabajo de grado.

A cada uno de los docentes que se esforzaron por brindarme sus orientaciones en mi formación como profesional.

Solo sé que este camino es solo el comienzo de una gran historia de virtudes para mí y mi familia.

NOTA DE ACEPTACIÓN

La nota de aceptación del trabajo de grado fue:

_____ ()

Director del trabajo de grado

Firma del Jurado 1

Firma del Jurado 2

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

Pág.

CAPITULO 1

1	GENERALIDADES SOBRE RECOLECCIÓN.	14
2	MÉTODOS DE RECOLECCIÓN.	17
2.1	Método de Esquina o de Parada Fija.	18
2.2	Método de Acera.	19
2.3	Método de “Llevar y Traer” o Intradomicilio”.	20
2.4	Método de Contenedores.	21
2.4.1	Contenedores Fijos.	22
2.4.2	Contenedores móviles.	23
2.5	FRECUENCIA DE RECOLECCIÓN.	25
2.5.1	Tiempos de incubación y crecimiento de la mosca.	25
2.5.2	Recolección Diaria.	26
2.5.3	Recolección Cada Tercer Día.	26
2.5.4	Recolección Dos Veces por Semana.	28
2.6	CUADRILLAS DE RUTEO.	29
2.7	EQUIPOS DE RECOLECCIÓN	30
2.7.1	Vehículos con Sistema de contenedor transportado.	31
2.7.2	Vehículos compactadores	35
2.7.3	Vehículos recolectores de caja abierta	37
2.7.4	Unidades de recolección no convencionales.	38
3.	RUTAS DE RECOLECCIÓN	40
3.1	Aspectos a Considerar en las Rutas de Recolección	41
3.2	MACRORUTEO	42
3.2.1	Sectorización	42
3.2.2	Calculo de la ruta.	43
3.2.3	Criterios recomendados para el Macroruteo.	46

3.3	MICRORUTEO.	47
3.3.1	Métodos Heurísticos.	48
3.3.1.1	Asignación De Rutas De Recolección.	50
3.3.2	Algoritmos y Modelos Matemáticos.	59
4.	Verificación, implantación y evaluación de rutas.	62
4.1	Verificación de rutas.	62
4.2	Implantación de rutas.	62
4.3	Evaluación de rutas.	63
5.	Normatividad vigente sobre el macro y microruteo de residuos sólidos residenciales.	64
5.1	Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000.	64
5.2	Valoración del régimen legal colombiano.	66
5.2.1	Constitución Política de Colombia.	67
5.2.2	Ley 99 de 1993.	68
5.2.3	Ley 442 de 1994	69

CAPITULO 2

1.	PROBLEMÁTICA OCASIONADA SOBRE EL AMBIENTE Y LA SALUD POR CAUSA DE LA INADECUADA RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS	71
	BIBLIOGRAFÍA	90

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características de un adecuado servicio de recolección y transporte de residuos sólidos	14
Tabla 2. Tiempos de incubación y crecimiento de la mosca.	25
Tabla 3. Enfermedades relacionadas con los residuos sólidos domiciliarios transmitidas por vectores	85

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Modelo del método de esquina o de parada	18
Figura 2. Modelo del método de acera.	20
Figura 3. Esquema método de llevar y traer o intradomicilio	21
Figura 4. Esquema modelo contenedores fijos.	23
Figura 5. Esquema de contenedores móviles.	23
Figura 6. Sistema de contenedores	24
Figura 7. Camión elavacontenedor.	33
Figura 8. Camión volquete	33
Figura 9. Contenedor remolque	34
Figura 10. Camión recolector compactador.	36
Figura 11. Vehículos de caja abierta	37
Figura 12. Carreta de mano.	38
Figura 13. Carreta de mula	39
Figura 14. Esquema de tiempos. Recolección de residuos sólidos	43
Figura 15. Esquema de manzanas y distribución de viviendas	56
Figura 16. Trazado de Microruta de recolección.	58
Figura 17. Consecuencias de inadecuada recolección y transporte de los residuos sólidos	79
Figura 18. Botaderos a cielo abierto.	81

INTRODUCCIÓN

Lo que comúnmente se conoce como residuos sólidos es en realidad una mezcla de diferentes productos que, una vez utilizados por las personas, son desechados, agotando así la posibilidad de usarlos nuevamente. El estilo de vida actual está marcado por la tendencia a consumir cada vez más, la creciente industrialización hace que cada día salgan a la venta nuevos productos, lo que a su vez repercute en la necesidad de tener materiales adicionales para fabricarlos, empacarlos, promocionarlos y venderlos.

Cuando finalmente llegan al destinatario final, éste les da el uso para el cual los adquirió y son desechados, contribuyendo no solamente al deterioro de la naturaleza, sino también a subir los costos de los nuevos productos que se van a fabricar en el futuro.

En otra época los residuos no eran un problema pues los desechos generalmente consistían en restos de comida que los animales aprovechaban, o que se degradaban naturalmente, y lo que no era orgánico, como por ejemplo pedazos de metal se consideraba muy valioso como para ser desechado.

Otro factor que contribuía era que la población mundial era considerablemente menor, al igual que la concentración humana en aldeas. La naturaleza recibía productos desechados pero que no tenían grandes tratamientos y por eso los asimilaba fácilmente. El mundo moderno ha incorporado a los productos que se consumen diariamente componentes que no son naturales y que generan así innumerables variedades de desechos sólidos.

A nivel general los residuos sólidos se producen en casas, industrias, colegios, universidades, hospitales, sitios de trabajo, parques, en fin, en cada uno de los sitios en donde las personas realizan alguna actividad.

La generación de residuos ha estado presente en toda actividad humana, sin embargo en los últimos años se ha visto un incremento en el volumen de estos.

Este aumento en la generación, no va a la par con la infraestructura disponible para el manejo y disposición de los mismos. Como consecuencia, se afecta el ambiente y crean serios daños a los sistemas ecológicos. Esto pone de manifiesto la necesidad de crear nuevas estrategias dirigidas a minimizar la generación de residuos y viabilizar la recuperación de aquellos cuya disposición no pudo ser evitada¹.

El incremento en la disposición de residuos sólidos se encuentra directamente relacionado con los patrones de consumo establecidos por la economía de mercado de nuestra sociedad. El aumento en el ingreso per cápita y la publicidad agresiva que se presenta en los medios de comunicación son factores que han contribuido al consumo.²

Actualmente, los productos tienen una vida útil corta la cual provoca que el consumidor se vea obligado a reemplazarlos periódicamente. El ritmo de vida y el aumento en los costos de reparación de los artefactos, propician que el

¹ Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental (BVSDE). Plan estratégico para el manejo de los residuos sólidos en Puerto Rico

² Idem

consumidor prefiera comprar un producto nuevo en vez de repararlo. Este estilo de vida que se orienta a la comodidad, ha contribuido considerablemente al aumento de los residuos sólidos.

Ante todo esto se requiere de un sistema adecuado que permita la recolección y transporte de los residuos sólidos residenciales; de esta manera se logra la prevención de impactos al medio ambiente en sus aspectos agua, aire y suelo; y así evitar focos de infecciones, proliferación de vectores (insectos, roedores) que pueden transmitir enfermedades y epidemias, la contaminación de fuentes de agua, deterioro estético del paisaje debido a la acumulación de residuos.

Es así como nace la idea del desarrollo del presente trabajo; en donde se plasman los mecanismos necesarios para la recolección y transporte de residuos sólidos domiciliarios, desde el punto de vista del macro y micro ruteo, como mecanismo de una adecuada recolección de nuestros residuos sólidos, para de esta manera mantener un medio ambiente limpio y agradable.

CAPITULO 1

1 Generalidades sobre recolección

Existe una profunda preocupación e interés en contribuir al mejoramiento del ambiente urbano, la calidad de vida de la población municipal, y en definitiva la reducción, manejo y control de los residuos sólidos y líquidos urbanos. Habiendo trascendido esta situación la esfera de lo estrictamente científico, estableciéndose en una prioridad de orden político, socioambiental y cultural, ya que las causas del fenómeno hay que buscarla en las disposiciones del entorno natural y urbano.³

El manejo y tratamiento de residuos sólidos en las ciudades pequeñas y municipios se debe realizar con una visión integral que considere los factores propios de cada localidad para asegurar su sostenibilidad y beneficios⁴. El servicio de recolección de residuos sólidos debe reunir en lo posible las características que se indican en el siguiente cuadro:

Tabla 1. Características de un adecuado servicio de recolección y transporte de residuos sólidos

ASPECTO	DESCRIPCIÓN
Técnico	Fácil implementación; operación y mantenimiento sencillos; uso de recursos humanos y materiales de la zona; comprende desde la producción hasta la disposición final de residuos sólidos
Social	Fomenta los hábitos positivos de la población y desalienta los negativos; es participativo y promueve la organización de la comunidad
Económico	Costo de implementación, operación, mantenimiento y administración al alcance de la población que debe sufragar el servicio
Organizativo	Administración y gestión del servicio simple y dinámica; es racional
Salud	Se inscribe en un programa mayor de prevención de enfermedades infecciosas
Ambiental	Evita impactos ambientales negativos en el suelo, agua y aire

FUENTE: Guía Para El Manejo De Residuos Sólidos En Ciudades Pequeñas Y Zonas Rurales.

³ Situación Higiénica, Sanitaria y Ambiental del Sector III Mercado Oriental, Municipio de Managua.

⁴ Guía para el manejo de residuos sólidos en ciudades pequeñas y zonas rurales

El objetivo de la prestación del servicio de recolección y transporte es la de proteger la salud pública y el medio ambiente. Sin embargo, asociados a estos objetivos primordiales del servicio, están algunos objetivos del estado, y en particular del organismo operador del servicio, que son: proteger la salud pública y el medio ambiente al menor costo⁵.

Lo anterior significa que el servicio mencionado, se debe ofrecer de manera eficiente. La recolección de residuos es una de las partes del servicio prestado, que es susceptible de optimizar, dado que, como se verá mas adelante, se puede realizar el mismo trabajo de maneras muy diferentes.

La recolección de residuos es, en términos generales, el transportar los residuos sólidos desde su almacenamiento en la fuente generadora hasta el vehículo recolector y luego trasladarlos hasta el sitio de disposición final o a la estación de transferencia⁶.

Es por esto que se hace muy necesario este aspecto ya que con un adecuado sistema de recolección y transporte de los residuos sólidos residenciales se logra la prevención de impactos al medio ambiente en sus aspectos agua, aire y suelo; y así se pueden evitar focos de infecciones, proliferación de insectos vectores y roedores, que pueden transmitir enfermedades y epidemias, la contaminación de fuentes de agua, deterioro estético por deterioro del paisaje debido a la acumulación de los residuos.

La recolección adecuada de residuos es importante porque permite al ayuntamiento lograr los siguientes beneficios:⁷

⁵ *Guía para el manejo de residuos sólidos en ciudades pequeñas y zonas rurales*

⁶ Optimización del sistema de rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios

⁷ Administración de los residuos sólidos en el municipio

Políticos: Ya que el sistema de recolección permite un contacto directo con la población y de la eficiencia de este servicio depende una mejor imagen de las autoridades municipales.

Económicos: Al planear la prestación del servicio se abaten costos, se optimiza el uso de los recursos y equipos existentes, además de los ingresos que se obtienen por el reciclaje de los subproductos.

Sociales: Se logra organizar y controlar a los recicladores.

Ambientales: Al controlar los tiraderos a cielo abierto se evita la contaminación ambiental y a mediano plazo se obtienen nuevas áreas verdes y de recreación.

2. Métodos de Recolección

Es importante destacar que el método con el cual se lleva a cabo la recolección, viene a resultar la parte medular del sistema mismo; ya que el nivel de organización que guarden los métodos de recolección de un determinado sistema, será el indicador más representativo del nivel de servicio con que se esté atendiendo a los usuarios de dicho sistema.

Según las demandas del servicio y el grado de tecnificación de los equipos (mismo que se encuentra relacionado de manera directa con el nivel de servicio y, de forma inversa con la participación del usuario mismo en el cumplimiento del servicio), los métodos de recolección se clasifican como sigue:⁸

Según el tipo de operación se puede clasificar como:

- **Método de Esquina o de Parada Fija** (demanda discreta semimecanizada con alta participación del usuario).
- **Método de Acera** (demanda continua semimecanizada con mediana participación del usuario).
- **Método Intradomiciliario o de Llevar y Traer** (demanda semicontinua semimecanizada con baja o nula participación del usuario).
- **Método de Contenedores** (demanda discreta mecanizada con alta participación del usuario).

⁸ Manual para el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos municipales. Secretaría De Desarrollo Social (SEDESOL)

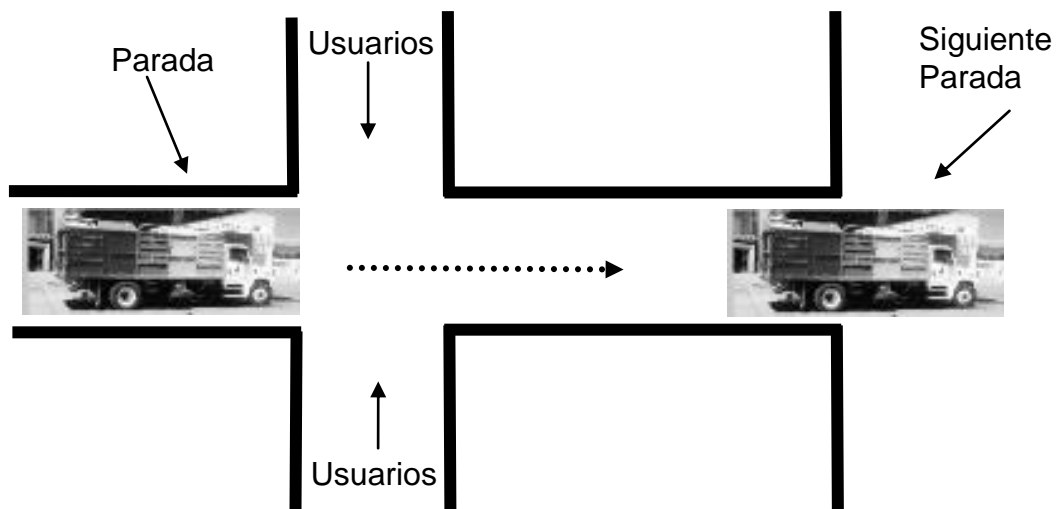
2.1 Método de Esquina o de Parada Fija

Se puede decir que es el método más económico y, es aquel mediante el cual los usuarios del sistema llevan sus recipientes hasta donde el vehículo recolector se estaciona para prestar el servicio.

Una vez que los usuarios han llegado hasta el vehículo, forman una fila ordenada para que un operador les tome el recipiente y, lo entregue a otro que se encuentra dentro de la carrocería del vehículo, el cual vacía su contenido y lo regresa al operario que se le entregó para que, a su vez, se lo devuelva al usuario, quien después de ser atendido se retira del vehículo. La operación anterior se repite tantas veces como sea necesario, hasta atender a todos los usuarios que lo hayan solicitado.

El método consiste en llevar el vehículo a ciertos puntos predeterminados y esperar a que los usuarios lleven los residuos en los horarios predefinidos.

Figura 1. Modelo del método de esquina o de parada



FUENTE: Métodos de recolección y aspectos a considerar. Método de esquina o de parada.

Ventajas:

- Mejora la imagen del servicio
- La recolección se realiza en menor tiempo posible
- Es el más económico, después del de contenedores

Desventajas

- Utiliza más tiempo que el de contenedores
- Requiere mayor personal de recolección
- Requiere cierta participación de los usuarios

2.2 Método de Acera.

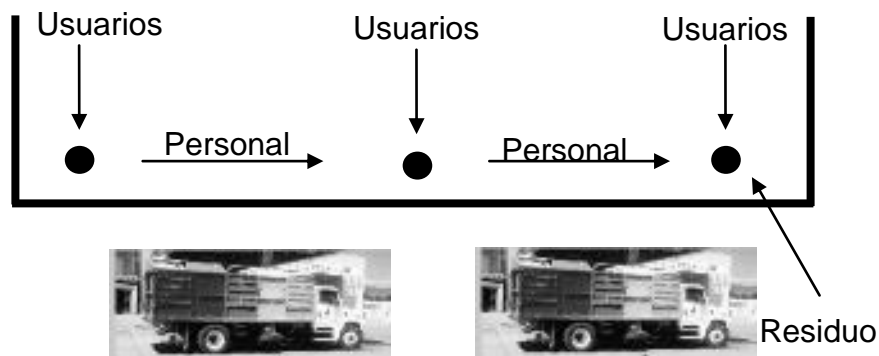
En este método, el personal operativo del vehículo recolector toma los recipientes con residuos que sobre la acera han sido colocados por los usuarios del servicio, para después trasladarse hacia el vehículo recolector, con el fin de vaciar el contenido dentro de la tolva o sección de carga de dicho vehículo; regresándolos posteriormente al sitio de la acera de donde los tomaron, para que los usuarios atendidos los introduzcan ya vacíos a sus domicilios.

Para que se cumpla debidamente lo antes descrito se requiere, además de amplio civismo por parte de los usuarios del sistema, que el vehículo recolector transite a bajas velocidades en ambos sentidos de la calle; por consiguiente, es lógico pensar que este método tiene más posibilidades de ser implantado ordenadamente en aquellas localidades que cuentan con calles de doble sentido y, de preferencia, con camellones.

Este método, además de ser más costoso que el de esquina, presenta el inconveniente de que animales domésticos y no domésticos (perros, gatos y ratas entre otros), pueden verse atraídos por recipientes con residuos sólidos sobre la acera, pudiendo en un momento dado, dispersar sobre la misma al buscar su alimento y, dando por resultado que la recolección se lleve a cabo

en forma más lenta. Para evitar o atenuar este inconveniente, suele recomendarse el uso de bolsas de polietileno herméticamente cerradas, así como el empleo de canastillas elevadas en las aceras donde se colocan los recipientes con los residuos; sin embargo, esto puede involucrar un costo adicional para los usuarios, que no siempre están dispuestos a cubrir.

Figura 2. Modelo del método de acera.



FUENTE: Métodos de recolección y aspectos a considerar. Método de acera.

Ventajas:

- Mejora la percepción de calidad del servicio

Desventajas:

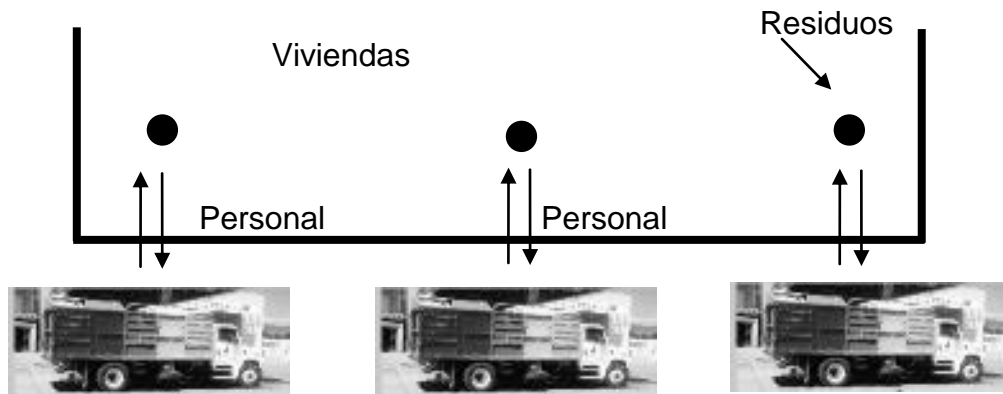
- Requiere mayor tiempo de recolección
- Utiliza mayor cantidad de personal
- Requiere una mínima participación de los usuarios

2.3 Método de “Llevar y Traer” o Intradomicilio”

Este método es semejante al anterior, con la variante de que los operarios del vehículo recolector, entran hasta las casas por los recipientes con residuos, regresándolos hasta el mismo sitio de donde los tomaron, una vez de haberlos vaciado dentro de la caja del vehículo.

Naturalmente, este método de recolección suele resultar más costoso que el de acera y, aún más que el de esquina.

Figura 3. Esquema método de llevar y traer o intradomicilio



FUENTE: Métodos de recolección y aspectos a considerar. Método de llevar y traer o intradomicilio

Ventajas:

- Mejora la calidad de percepción de calidad del servicio

Desventajas:

- Requiere un elevado tiempo de recolección
- Utiliza mayor cantidad de personal
- No requiere participación de los usuarios

2.4 Método de Contenedores

El método implica la existencia de equipos de abastecimientos temporal, se ubican en zonas de gran generación o de difícil acceso; como pueden ser hoteles, mercados, centros comerciales, hospitales, tiendas de autoservicio y zonas marginadas, entre otras.

La localización de los contenedores, deberá disponerse de tal manera que el vehículo recolector tenga un fácil acceso a ellos y que, además, pueda realizar maniobras sin problemas.

Este método consiste en la recolección directa en los establecimientos donde existen depósitos, como son mercados, fábricas, hoteles y hospitales.

Es importante señalar que esta forma de recolección requiere el empleo de camiones especiales, que vacíen mecánicamente los residuos de los contenedores. Por lo cual, este método sólo se recomienda para aquellos municipios que tengan la capacidad financiera para adquirir la maquinaria necesaria.

La inconveniencia de este método es que si no se realiza con la debida oportunidad puede ocasionar focos de contaminación, al mantener almacenadas grandes cantidades de residuos.

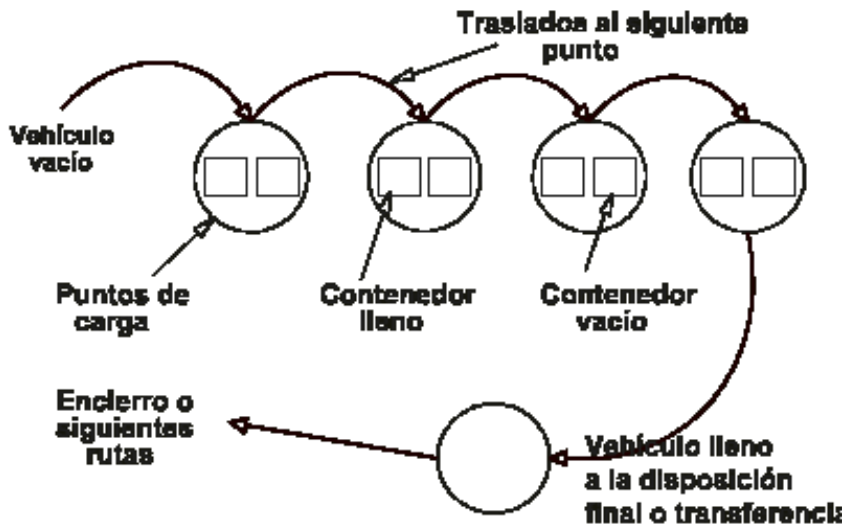
Se distinguen dos tipos:

- Contenedores fijos
- Contenedores móviles

2.4.1 Contenedores Fijos

- El camión recolector vacía el contenido de los contenedores y deposita el contenedor en la misma posición.
- Por lo general, el equipo cuenta con sistema mecanizado
- La capacidad de los contenedores varía, entre 1 y 7 m³.

Figura 4. Esquema modelo contenedores fijos.



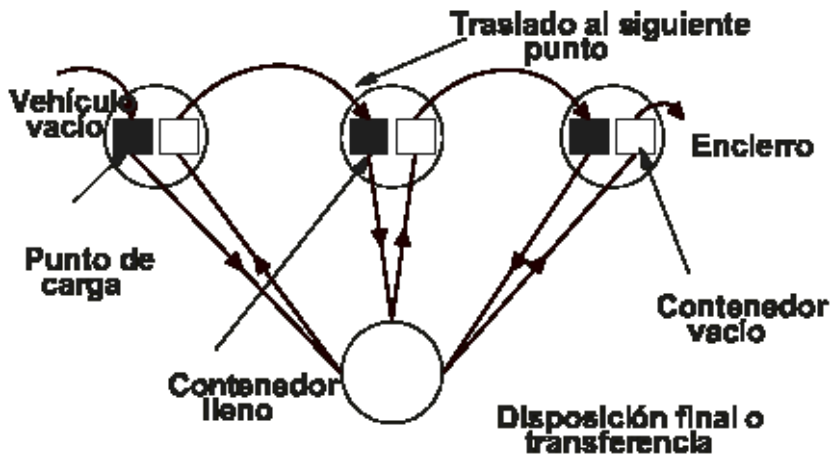
FUENTE: Métodos de recolección y aspectos a considerar. Método de contenedores fijos

2.4.2 Contenedores móviles

En éste método, el vehículo transporta el contenedor lleno a la estación de transferencia o al sitio de disposición final.

- El equipo requiere de sistema mecanizado.
- Por lo general se utiliza para contenedores de capacidad mayor a 10 m³.

Figura 5. Esquema de contenedores móviles.



FUENTE: Métodos de recolección y aspectos a considerar. Método de contenedores móviles.

Ventajas

- Disminución de las frecuencias de recolección.
- Opera con el mínimo de personal
- El recorrido se hace en el tiempo mínimo

Desventajas

- Requiere amplia participación de los usuarios
- Requiere inversión inicial para contenedores
- La recolección debe respetar los tiempos establecidos

Figura 6. Sistema de contenedores



FUENTE: Métodos de recolección y aspectos a considerar. Sistema de contenedores.

2.5 Frecuencia De Recolección

La frecuencia consiste en la periodicidad con la que se realiza la recolección de residuos en los principales puntos, como son: domicilios, comercios, industrias, oficinas y hospitales. La recolección puede efectuarse diariamente o en días alternados. Se deberá prever que el volumen acumulado de los residuos no sea excesivo y que el tiempo transcurrido desde la generación de residuos hasta la recolección para su disposición final no exceda el ciclo de reproducción de la mosca que varía, según el clima, de 7 a 10 días⁹; tal y como se aprecia en la tabla siguiente.

2.5.1 Tiempos de incubación y crecimiento de la mosca

Tabla 2. Tiempos de incubación y crecimiento de la mosca.

Temperatura (°C)	Huevo a pulpa (días)	Huevo a adulta (días)
Promedio de 20°C	10.1	20.5
Promedio de 28°C	5.6	10.8
Promedio de 35°C	5.6	8.9

FUENTE: Manual para el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos municipales. Secretaría De Desarrollo Social

La frecuencia de recolección de los residuos sólidos ordinarios es una función del clima del lugar donde se realiza la producción de los residuos sólidos. En clima cálido se recomienda como mínimo una frecuencia de recolección de tres veces por semana. Dependiendo de la frecuencia de recolección de los residuos sólidos se tendrá una mayor o menor cantidad de residuos a recolectar, transportar y disponer.

⁹ Manual de Evaluación de Proyectos para el Servicio de Limpia Municipal. Secretaría De Desarrollo Social.

En cuanto a la regularidad con la que se deben recolectar los residuos se presentan a continuación algunas alternativas:

2.5.2 Recolección Diaria.

Es el sistema que se busca alcanzar en la mayoría de las ciudades medias y grandes. Los camiones recolectores deben recorrer la totalidad de las rutas diariamente, excepto los Domingos; por lo que los Lunes, los residuos que se recolecta corresponde al período Sábado Domingo. Para efectos prácticos, puede decirse que los lunes se recolecta un 100% más de residuos, que el resto de los días de la semana.

Naturalmente, esta frecuencia es la que ofrece una mejor imagen del sistema hacia los usuarios pero, al mismo tiempo, es el que mayor costo involucra.

2.5.3 Recolección Cada Tercer Día.

El camión recolector pasa un día si y otro no, a excepción de los Domingos, por lo que equivale a pasar tres veces por semana.

Con este sistema se tienen las siguientes ventajas:

- Los camiones recolectores se llenan en un tiempo más corto y en un recorrido menor; es decir, el concepto de "costo por tonelada-kilómetro", sería menor al compararla con la frecuencia diaria¹⁰.

Para aclarar este concepto, se puede decir que cada camión recolector recorre cierta distancia cargando y recolectando los desechos de un solo día bajo el primer sistema; mientras que el mismo camión recorrería la mitad de esa distancia al llenarse más rápido, recolectando los residuos de dos días.

¹⁰ Gestión de Residuos Sólidos: Técnica, salud, ambiente y competencia. Argentina.

- A mediano y largo plazos, los costos por concepto de mantenimiento serían menores, también por tonelada de residuos transportados.
- El recolectar tres veces por semana implica, además, que la sobrecarga de la recolección debida al domingo, no recaería únicamente en el siguiente día de recolección (los lunes), sino que sería repartido en dos días (en este caso los lunes y los martes). Es decir, en lugar de que los lunes se recolecte el 100% más que el resto de días de la semana, esa diferencial sería de 50% más los Lunes y 50% más los Martes. Sin embargo, el emplear esta alternativa en cuanto a frecuencia de recolección, acarrea las desventajas que se indican a continuación:
 - ✓ Se crea cierta incomodidad a la comunidad servida, dado que los residuos podrían generar malos olores, requiriendo mayor limpieza en el interior de la vivienda.
 - ✓ Aunque, como puede observarse en la tabla anterior, teóricamente la frecuencia de recolección propuesta por esta alternativa no implica una mayor proliferación de moscas, es un hecho que en el lugar que los habitantes servidos tengan para almacenar sus residuos generados, se verá un ligero incremento de tales insectos, debido a que los huevecillos que con anterioridad vienen ya en proceso de incubación.

La frecuencia más recomendable para la recolección de residuos sólidos domiciliarios es de tres veces por semana; esta alternativa es la más

conveniente, ya que representa un ahorro considerable en los costos de operación.¹¹

2.5.4 Recolección Dos Veces por Semana.

El camión establece un horario de servicio en el que se eligen dos días a la semana cada dos y/o tres días.

Los conceptos indicados anteriormente, referentes al "costo por tonelada-kilómetro", en teoría se abaten conforme se disminuye la frecuencia de recolección, ya que los camiones recolectores se llenarían cada vez más rápido y en un recorrido cada vez menor; por lo cual las dos primeras ventajas que se indican para la alternativa anterior, se hacen mayores conforme se disminuye la frecuencia.¹²

Por otro lado, la sobrecarga que representa la recolección en seis días de la semana, se reparte en un mayor número de días, conforme se disminuya la frecuencia en la recolección.

Sin embargo, así como se incrementan esas ventajas, la disminución de la frecuencia agudiza también las desventajas que se mencionaron, creando una desventaja adicional: Se crea la posibilidad de hacer que proliferen los tiraderos clandestinos, al incrementarse las incomodidades de los habitantes servidos.

En caso de que soliciten servicios de recolección especial, la frecuencia se podrá determinar una vez que se hayan atendido los servicios normales.

¹¹ Guía para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos. Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUUDI)

¹² Diagnóstico de la Situación de los Residuos Sólidos en Argentina. AIDIS ARGENTINA 2002

La recolección de residuos en mercados y centros comerciales se recomienda hacerla diariamente, debido al carácter orgánico de su composición evitando así los focos de contaminación que pudiera ocasionar el almacenamiento de dichos residuos.

En el caso de los residuos hospitalarios, la frecuencia de la recolección se determinará en función de las cantidades producidas.¹³

En todo caso, la recolección deberá hacerse con rutas diseñadas que optimicen los tiempos de recorrido de cada vehículo asignado cada una de las áreas de la localidad y procurando un máximo de eficiencia.

2.6 Cuadrillas de ruteo.

El grupo de empleados o personas que acompaña un vehículo de recolección, grupo generalmente conocido o designado como “cuadrilla”, está integrado por el conductor y los operarios, cuyo número varía de 1 a 4, siendo 3 el más usual.

La recolección de los residuos normalmente se lleva a cabo con un equipo de tres o, en algunos casos cuatro operarios conformado por el conductor y dos o tres recolectores que cargan los residuos al vehículo de recolección. En la mayoría de las operaciones de recolección, generalmente el conductor se queda dentro del vehículo por motivos de seguridad y para agilizar el proceso de la operación.

¹³ Administración De Los Residuos Sólidos En El Municipio. Tomado de http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/ELOC_Administracion_de_los_residuos_solidos_en_el_municipio

Al hacer los estimativos de personal para el cálculo de costos, deberá tenerse en cuenta el grupo de control y supervisión, así como los empleados de la parte administrativa que correspondan a la recolección.

El rendimiento de las cuadrillas es un parámetro de gran importancia y deberá determinarse con exactitud (preferiblemente en terreno) tomando en consideración que solo será válido para las condiciones dadas de lugar (vías, estrato, vehiculó, etc.), números de operarios y frecuencia.

- Según Duque & Collazos (2003), en Colombia se considera usualmente:

Rendimiento: 120 min. Hombre/tonelada.

Con estos valores se tendría respectivamente, para una cuadrilla de tres hombres:

Rendimiento: 40 minutos/tonelada

2.7 Equipos de recolección

Con respecto a los equipos de recolección y transporte, se sugiere que, siempre que sea factible (por las características físicas y poblacionales de la localidad), se empleen vehículos con carrocerías de gran capacidad, provistos de compactadoras para abatir los costos de recolección.¹⁴

¹⁴ Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales.

Las carrocerías de volteo, aunque son preferidas por localidades con cierta tendencia rural, debido a su versatilidad y menor costo, no son adecuadas para la recolección y transporte de residuos sólidos domésticos desde el punto de vista de salud pública, debido principalmente a que por el hecho de ser descubiertas y carentes de sello hermético en el fondo, propician el esparcido de los residuos contenidos, a lo largo de sus recorridos dentro y fuera de sus rutas de operación.

Se debe tener presente que no siempre es adecuado el uso de vehículos especializados para la recolección de los residuos sólidos, ya que no en todos los casos el trazo urbano brinda las facilidades de acceso, penetración, maniobrabilidad y pendiente, requeridas para la utilización y máximo aprovechamiento de tales vehículos. En muchos casos la utilización de unidades de las consideradas como "no convencionales", pueden dar mejores resultados tanto en costo como en rendimiento y eficiencia, que los obtenidos con el uso de unidades recolectoras especializadas, debe entenderse como "unidad no convencional de recolección", todo aquel vehículo utilizado para la prestación de este servicio, en sustitución de cualquier equipo de recolección considerado como especializado. De esta manera, desde una carreta movido por tracción animal, hasta un vehículo tipo volteo, pueden constituir una unidad de recolección no convencional.

Normalmente, este tipo de unidades se utilizan en sitios muy específicos, en donde las condiciones del terreno, la topografía y la amplitud de las calles no permiten la entrada de los vehículos convencionales.

2.7.1 Vehículos con sistema de contenedor transportado

Son todos aquellos que por adaptación o por diseño original, están capacitados para realizar maniobras de carga y descarga de contenedores que se utilizan generalmente para recolectar los residuos de instalaciones comerciales e industriales, debido a la alta tasa de generación de residuos.

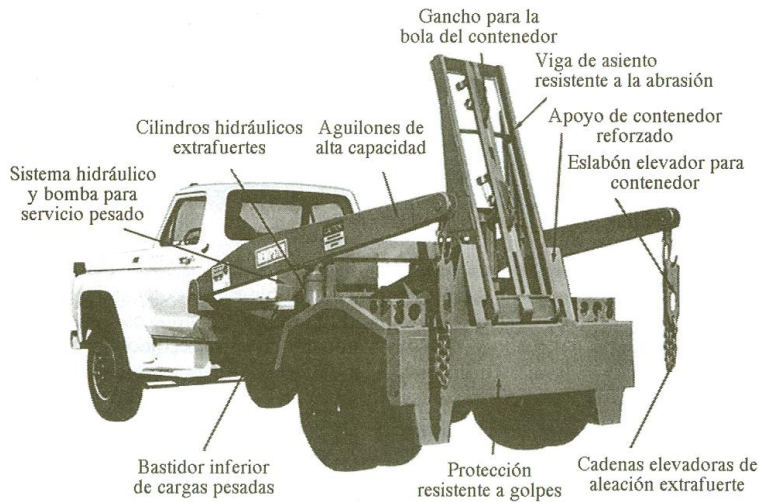
Se utilizan tres clases principales de sistemas de contenedor:

- Camión elevacontenedor
- Camión volquete
- Contenedor remolque

➤ **Camión elevacontenedor:** en el pasado, los camiones elevacontenedores se utilizaban ampliamente con contenedores con capacidad que variaba entre 1,5 a 10 m³. Debido a la aparición de vehículos de recolección de gran capacidad y cargados mecánicamente, este sistema se aplica solamente en algunos casos limitados:

- En zonas de áreas pequeñas donde se recoge generalmente en unos pocos puntos de toma en los cuales se generan una cantidad considerable de residuos. En este caso no se justifica desde el punto de vista económico la adquisición de un equipo de recolección de mayor capacidad.
- Para la recolección de artículos voluminosos y residuos industriales, tales como chatarra y escombros de construcción, ya que no son aptos para la recolección con vehículos de compactación.

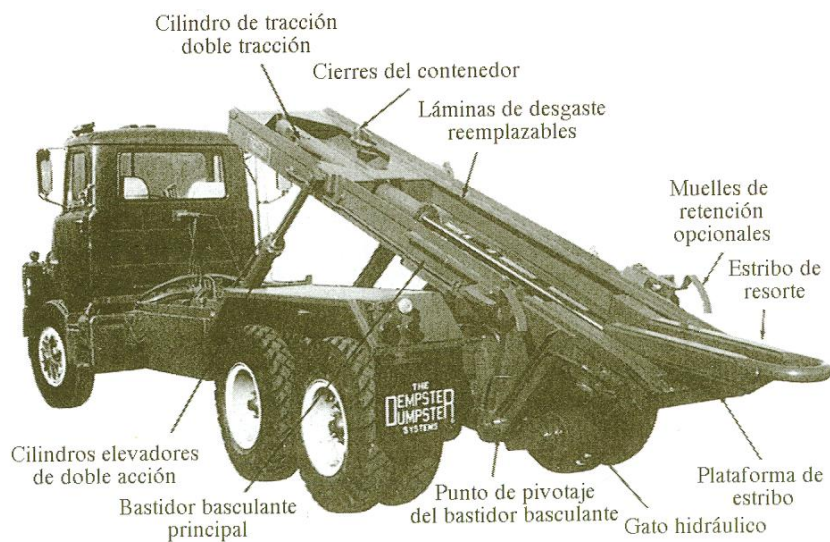
Figura 7. Camión elavacontenedor.



FUENTE: Gestión integral de residuos sólidos. Volumen I

➤ **Camión volquete:** son idóneos para la recolección de todos los tipos de residuos sólidos y desechos en localizaciones donde las tasas de generación justifiquen el uso de grandes contenedores.

Figura 8. Camión volquete



FUENTE: Gestión integral de residuos sólidos. Volumen I



Vaciando en un vertedero el contenido de un contenedor cargado en camión remolque.

FUENTE: Gestión integral de residuos sólidos. Volumen I

- **Contenedor remolque:** la aplicación de este tipo de vehículos es similar para los sistemas de contenedor camión volquete. Los contenedores-remolque son los mejores para la recolección de residuos especialmente pesados, tales como arena, madera, metal de chatarra, y frecuentemente se utilizan para la recolección de residuos de lugares de demolición y construcción.

Figura 9. Contenedor remolque



Vaciando en un vertedero el contenido de un contenedor remolque utilizado para residuos de demolición.

FUENTE: Gestión integral de residuos sólidos. Volumen I

2.7.2 Vehículos compactadores

Debido a que los residuos urbanos presentan esencialmente un problema de volumen, más que de peso, se ha visto la conveniencia de tener el recipiente o caja de recolección de los vehículos con un sistema de compactación a fin de reducir volumen a medida que se aumenta la cantidad de residuos recolectados. Por supuesto, son mucho más costosos y requieren de mayor mantenimiento por sus mecanismos especializados de elevación y compresión del material recolectado.

La capacidad de compactación viene dada por la potencia total que desarrolla el mecanismo, la fuerza aplicable por unidad de área o por relación entre los volúmenes de los residuos antes y después de la compactación.

Los vehículos recolectores compactadores proporcionan ventajas económicas y sanitarias sobre los vehículos provisionales o sustitutos en la mayor parte de las situaciones.

Algunas ventajas son:

- Pueden acarrear una carga eficiente ya que los residuos sueltos se comprimen
- Las cajas de los camiones se vacían mecánicamente
- Las cajas están provistas de planchas expulsoras
- Poca elevación del compartimiento de carga, lo cual hace más rápida y segura la recolección
- Fabricados para resistir el ataque abrasivo

- Utiliza compartimentos cerrados para el almacenamiento de los residuos
- Pueden transportar mayor volumen porque los residuos sueltos se comprimen.

Utilizar este tipo de vehículos para la recolección en regiones pequeñas y apartadas, implica a veces algunas desventajas, como son:

- El mecanismo de compactación impone la necesidad de dotar de facilidades adicionales para el mantenimiento, las cuales no siempre se encuentra disponibles en pequeñas ciudades.
- Generalmente los compactadores deben ser importados provocando algunas veces el problema de las divisas y dificultades en la consecución de repuestos
- El mecanismo de compactación aumenta el consumo de combustible, encareciendo la labor de recolección.

Figura 10. Camión recolector compactador.



FUENTE: Gestión integral de residuos sólidos. Volumen I

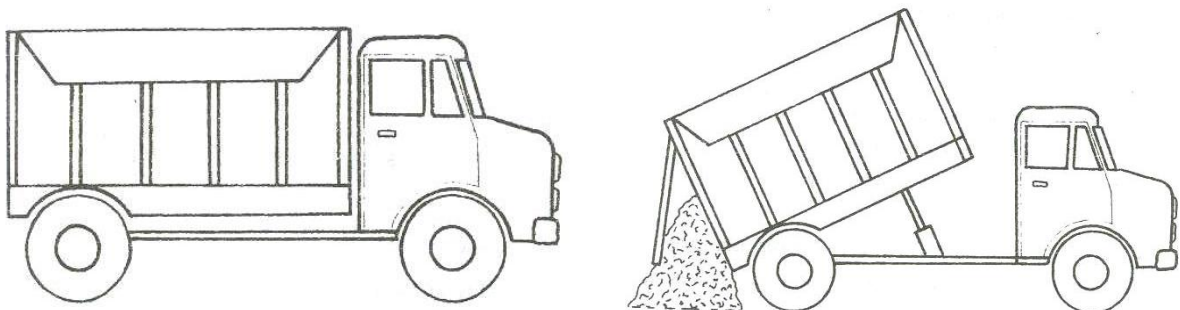
2.7.3 Vehículos recolectores de caja abierta

Los vehículos de caja abierta tienen sus usos prácticos en la recolección de los residuos en los pequeños municipios, pues el vehículo puede ser utilizado en otras actividades diferentes a la recolección, y adicionalmente presenta las siguientes ventajas en la recolección de:

- Artículos voluminosos
- Residuos de arreglo de patios, poda de árboles
- Algunos residuos industriales
- Recolección mediante el sistema de sacos
- El precio de compra y de adquisición es bajo

Este tipo de vehículo tiene el inconveniente de su gran altura de carga, su poca capacidad en volumen y al estar los residuos sin ningún tipo de recubrimiento, lo cual hace que queden expuestos a ser regados durante el proceso de recolección.

Figura 11. Vehículos de caja abierta



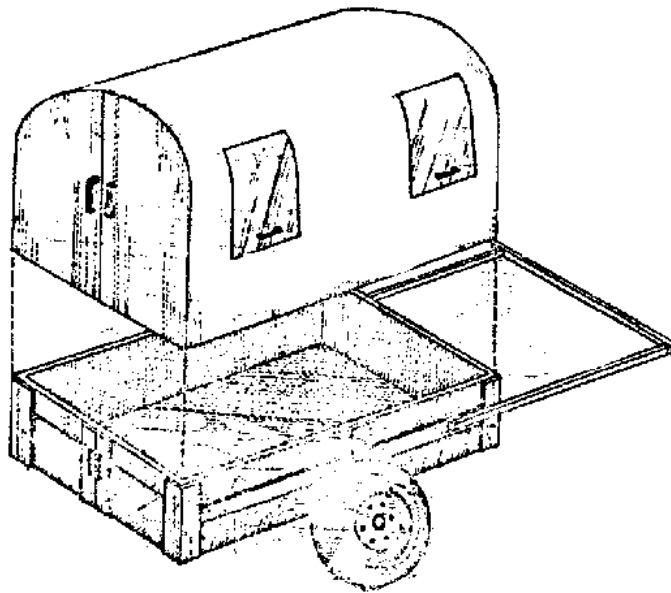
FUENTE: Residuos sólidos. Duque y Collazos.

2.7.4 Unidades de recolección no convencionales.

Además de utilizarse en zonas donde es difícil el acceso de los camiones convencionales, estos también sirven de gran utilidad en localidades pequeñas, en donde la cantidad de residuos sólidos recolectados no justifica la utilización de equipos grandes, o en el caso de que los presupuestos asignados al servicio de limpia no sean suficientes, se utilizan para la recolección este tipo de equipos.

- **Carreta de Mano:** Carreta de mano con capacidad aproximada de 1 a 1.5 m³ que hace dos viajes en ocho horas, en zonas de baja producción de residuos, Podría dar servicio a 1000 ó 1500 habitantes. El problema principal consiste en su baja velocidad de traslado, por lo que es conveniente sólo en sitios cercanos a la disposición final o al lugar de transferencia a vehículos más grandes y veloces.

Figura 12. Carreta de mano.

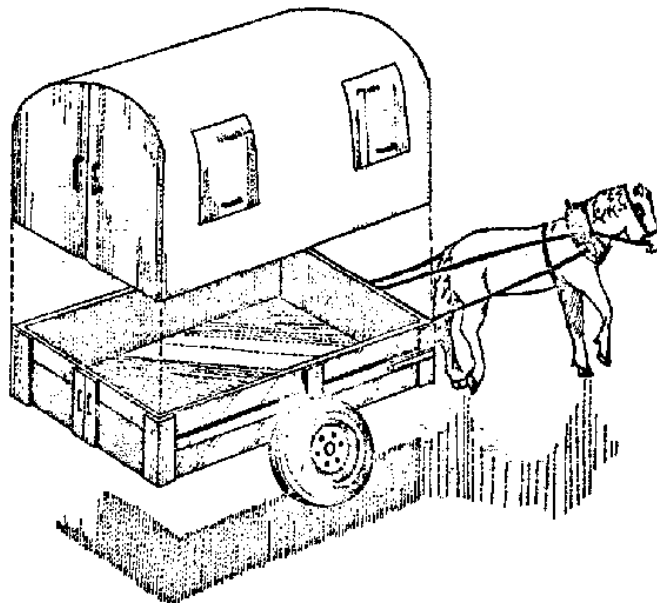


FUENTE: Guía para el manejo de residuos sólidos en ciudades pequeñas y zonas rurales

➤ **Carreta de mulas:**

Carreta de mulas, con capacidad aproximada de 2 a 3 m³. Puede usarse para unos 2000 ó 3000 habitantes y tiene las mismas desventajas que en el caso anterior, y de la misma forma, el usarse sin un sistema de transferencia la hace muy ineficiente. Un sistema común de transferencia es el de un remolque que es jalado por un tractor.

Figura 13. Carreta de mula



FUENTE: Guía para el manejo de residuos sólidos en ciudades pequeñas y zonas rurales

3. Rutas de Recolección

El desarrollo económico sufrido en las últimas décadas y los cambios en patrones de productos de consumo, refleja serios problemas en la prestación de los servicios públicos, destacan por su importancia los altos costos del servicio para la recolección, manejo y transporte de residuos sólidos domiciliarios, (RSD).

La problemática se da principalmente en las áreas de mayor población, donde la insuficiente capacidad para recoger los residuos conducen a la aparición de tiraderos clandestinos, que se convierten en potenciales focos de infección en las ciudades.

Tanto la capacidad de los camiones, las distancias, el crecimiento acelerado de nuevos centros de población, aunado al mal diseño de las rutas contribuye a que el servicio de recolección no cumpla con las expectativas esperadas de este servicio.

En la mayoría de los casos, las rutas se diseñan de forma intuitiva. En vez de ser creadas a partir de un estudio técnico, de ahí que los tiempos y gastos en combustible se vean incrementados. Las personas también contribuyen con este problema al depositar en cualquier lugar sus residuos complicando los procesos de recolección y obligando a los camiones a detenerse por más tiempo en un lugar o recorrer mas distancias fuera de las programadas en la ruta original de recolección¹⁵.

¹⁵ Optimización del sistema de rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios. X Congreso de Ingeniería de Organización Valencia, 7 y 8 de septiembre de 2006

Los propósitos del diseño de las rutas son: (1) dividir la ciudad en sectores, de manera que cada sector asigne a cada equipo de recolección una cantidad más apropiada de trabajo - ni mucha ni poca carga - y (2) desarrollar una ruta para cada subsector, de modo que facilite a cada equipo llevar a cabo el trabajo con una menor cantidad de tiempo y recorrido

3.1 Aspectos a Considerar en las Rutas de Recolección

- Número y tipo de equipo seleccionado.
- Tamaño de la tripulación.
 - Frecuencia de recolección.
 - Distancia entre paradas y estaciones.
 - Distancia al sitio de transferencia o disposición final.
 - Maniobrabilidad de los contenedores.
 - Topografía del terreno.
 - Tráfico en la ruta.
 - Condiciones de los caminos.

Otras consideraciones para el ruteo son:

- Las rutas no deben de estar fragmentadas o traslapadas.
- Cada ruta deberá ser compacta, atacando un área geográfica y estar balanceada.
- El tiempo total de cada ruta deberá ser razonablemente el mismo.
- La recolección deberá comenzar lo más cercano al encierro.
- Las calles de un solo sentido se tratarán de atacar desde el principio de ellas.
- Se deberán minimizar las vueltas en U y a la izquierda.
- Las partes elevadas se atacarán primero.

- Generalmente, cuando sólo se recolecta de un lado de la acera, es preferible rodear las manzanas.
- Cuando la recolección es por los dos lados de la acera, es preferible recolectar en línea recta por varias manzanas.

3.2 Macroruteo

Se denomina macrorutas a 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.

Fundamentalmente se trata de determinar el tamaño de cada una de las rutas en forma tal que la cantidad de trabajo diario que realiza una cuadrilla sea similar a la de cualquier otra, con el máximo de utilización de los recursos.

El tamaño de cada una de las rutas, generalmente se determina en función del número de manzanas o kilómetros de vías a servir.

3.2.1 Sectorización

El primer paso será, sobre un plano de la ciudad, dividir la recolección en grandes zonas lo más homogéneas posibles en cuanto a sus características de producción de residuos, topografía, tipo de residuos y cuyos límites estén delimitados por accidentes geográficos o por instalaciones urbanas. Así un río o una avenida de amplio tráfico servirán como límites. El objeto de esto es lograr una amplia fluidez dentro de las rutas.

Se deben determinar los límites de estos mismos, utilizando el mapa de la ciudad. La regla común para la determinación de los límites es utilizar, dentro de lo posible, las vías arteriales y las barreras topográficas tales como ríos y

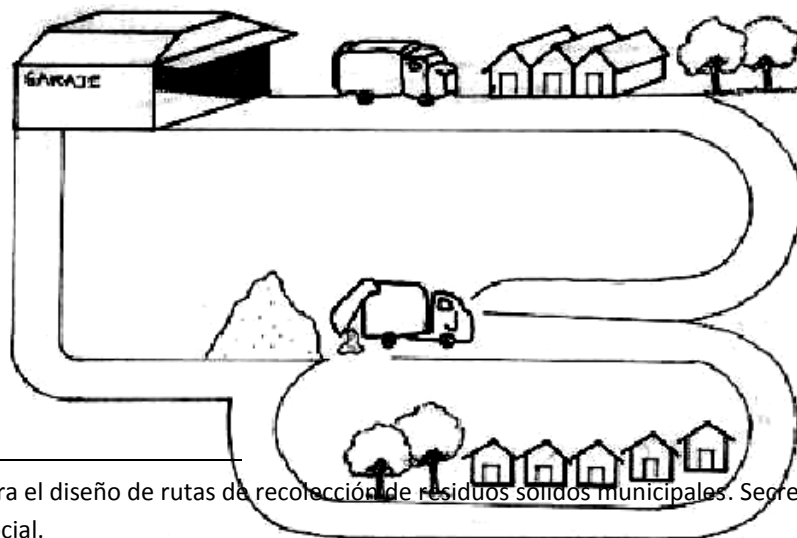
lagos, con el propósito de evitar pérdidas de tiempo en cruzar estas barreras y vías. Se debe tomar en cuenta que las macrorutas son áreas compactas, que generalmente comprenden colonias o barrios enteros, y que se diseñan con la finalidad de que, en las áreas determinadas, se realice un recorrido específico con el vehículo, que cubra la mayor cantidad de viviendas y con la mayor eficiencia en carga.

No existe algoritmo o programa para macrorutear, el diseñador de las macrorutas, contando con los elementos descritos, dividirá la ciudad en n áreas iguales, de tal forma que cada una de esas áreas genere aproximadamente la cantidad de residuos sólidos residenciales que llene un camión durante su recorrido dentro de estas¹⁶.

3.2.2 Calculo de la ruta

Considerando los movimientos de un vehículo recolector y asumiendo que viaja dos veces al sitio de disposición final tendremos el esquema de tiempos indicado en la siguiente figura; así como lo expresan los autores Duque y Collazos en su publicación “Residuos Sólidos”:

Figura 14. Esquema de tiempos. Recolección de residuos sólidos



¹⁶ Manual para el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos municipales. Secretaría De Desarrollo Social.

Donde:

t_0 = tiempo en el garaje antes de salir a ruta.

t_1 = tiempo recorrido del garaje a la primera ruta de recolección.

t_2 = tiempo de recolección de la ruta 1.

t_3 = tiempo recorrido de la primera ruta al sitio de disposición final.

t_4 = tiempo de descarga en el sitio de disposición final incluyendo esperas.

t_5 = tiempo recorrido del sitio de disposición final a la segunda ruta.

t_6 = tiempo de recolección en la ruta 2.

t_7 = tiempo recorrido de la segunda ruta al sitio de disposición

t_8 = tiempo recorrido del sitio de disposición final al garaje.

El análisis se puede realizar con mayores rutas servidas diariamente por un vehículo recolector, pero lo más común es que no sean más de dos.

Al considerar a T como el tiempo disponible total, y descontando de la jornada los tiempos de descanso, se tiene:

$$T = t_0 + t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8$$

Según la ecuación, se ve claro que con una mejor utilización de los recursos disponibles se puede minimizar los tiempos t_2 y t_6 , y así maximizar los tiempos de recolección.

De esta manera se sustenta la necesidad de definir más lógicamente la localización de los garajes lo más cerca posible al centroide de la producción de los residuos y a estudiar la ubicación de disposición final y las estaciones de transferencias.

Al llamar $t_r = (t_2 + t_6)$; el tiempo disponible para recolección, tendremos:

Tamaño de la ruta en toneladas:

$$\frac{t_r(\text{minutos})}{n \times \text{rendimiento}}$$

Donde:

El rendimiento está expresado en $\frac{\text{minutos}}{\text{tonelada}}$ y n el numero de veces que se requiere ir hasta el sitio de disposición final. Entre menor sea el valor de n más aumentará t_r , y por tanto la eficiencia general del servicio tanto en términos de cobertura como de costos. Por tanto, convendrá mantener a n pequeño, lo cual solo se logra con una buena selección de equipo, cuyo tamaño estará determinado por el tamaño de la ruta tanto en peso como en volumen. Como el problema de manejar con residuos sólidos es en gran parte de poco peso y mucho volumen, es éste último factor el que se convierte en la mayor restricción de los equipos; debido a esto se aconsejan los equipos con mecanismo de compactación.

Se evidencia de tal forma que el tamaño de la ruta, en toneladas y metros cúbicos, define la capacidad de los equipos de recolección de los residuos.

Cuando ya se halla definido el tamaño de la ruta en toneladas o en metros cúbicos se podrá convertir a número de viviendas, o manzanas mediante la utilización de la información sobre la producción per cápita de residuos sólidos, frecuencia de recolección y densidad de población.

A manera de ejemplo, el tamaño de la ruta en manzanas sería:

$$\text{Tamaño ruta en toneladas} \times 1000) / (ppv \times f \times d)$$

Donde f será la frecuencia de recolección en días y d la densidad poblacional en viviendas por manzana que se obtiene a partir de los datos censales o de la oficina de Planeación Municipal.

Con el tamaño de ruta, sobre el plano y para cada una de las zonas, se hará la distribución de ellas.

3.2.3 Criterios recomendados para el Macroruteo

- Las rutas no deben traslaparse.
- Las rutas establecidas regularmente en días fijos de la semana reciben mayor cooperación de la comunidad.
- El proceso de determinación de rutas es esencialmente un proceso de prueba y error.
- Después de días o semanas de trabajo en los cuales se ha probado la ruta, ésta puede marcarse definitivamente en un plano de trabajo.
- Además de un plano de trabajo es recomendable la utilización de hojas separadas con diagramas de las posibles rutas.
- Si bien es recomendable un diseño regular y lógico, la topografía accidentada, limitaciones de calles estrechas u otras circunstancias determinarán modificaciones del trazo regular.

3.3 Microruteo

Microruta es el recorrido específico que deben cumplir diariamente los vehículos de recolección en las áreas de la población donde han sido asignados, con el fin de recolectar en la mejor manera posible los residuos sólidos generados por los habitantes de dicha área.

Este proceso consiste en desarrollar una ruta de recorrido para cada subsector, de manera que permita a cada equipo llevar el trabajo de recolección en una menor cantidad de tiempo y recorrido.

En general la distribución de rutas involucra una serie de dificultades dado que no es un hecho trivial, el designar la ruta óptima a seguir entre dos puntos determinados, considerando las restricciones que esto conlleva, si se toma en cuenta el método de recolección, las vialidades existentes, los horarios, entre otros¹⁷.

Para llevar a cabo la solución de este problema, necesitamos los siguientes datos:

- Lugar del garaje
- Lugar de disposición final
- Sentidos de circulación
- Hora de mayor cantidad de tránsito y situación de la congestión
- Topografía
- Vías servibles y vías no servibles
- Tipo de trazo de rutas

¹⁷ Diagnóstico de la Situación de los Residuos Sólidos en Argentina. AIDIS ARGENTINA 2002

En cuanto a trazo de rutas de recolección, existen por lo menos dos tipos, los que brevemente se describen a continuación¹⁸:

- Peine: recolección de ambos lados de las vías a la misma hora; se recorre solamente una vez por cada vía. se recomienda en zonas de escasa densidad de población, y por lo mismo extensas.

- Doble peine: recolección de un lado de las vías; se recorre por lo menos dos veces por cada vía. Recomendable para zonas de alta densidad de población y principalmente en zonas comerciales

En la actualidad existen diversos métodos y consejos para tratar de encontrar la mejor ruta posible, que cumpla con los objetivos y las restricciones de cada caso.

El diseñador de rutas deberá tomar en consideración lo indicado en diversos métodos y algoritmos utilizados, para facilitar su trabajo y contar con prediseños factibles que necesariamente se probarán en campo.

3.3.1 Métodos Heurísticos

Algunos lineamientos heurísticos que deberían ser tomados en consideración cuando se planean las rutas de recolección, son las siguientes:

- Existencia de políticas y regulaciones relativas a detalles como el punto de recolección y la frecuencia de recolección.
- Características de los vehículos como son el tamaño del equipo y el tipo de camión que deben ser coordinados.

¹⁸ Diseño de las rutas de recolección de residuos sólidos. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 1980.

- Cuando sea posible, las rutas deben ser planeadas para comenzar y terminar cerca de calles arteriales, usando barreras topográficas y físicas como fronteras de las rutas.
- En áreas de colina, las rutas deben comenzar en la parte alta y continuar colina abajo, de tal manera que, cuando el camión esté totalmente cargado no tenga necesidad de ir cuesta arriba.
- Las rutas deben ser planeadas para que el último contenedor a ser recolectado en la ruta esté localizado lo más cerca del sitio de disposición final.
- Los desechos generados en las localidades de tráfico congestionado, deberían ser recolectados lo más temprano del día que sea posible, o en un horario en el que el tráfico afecte lo menos posible el recorrido del vehículo.
- Las fuentes en las cuales cantidades extremadamente grandes de desechos sean generados, deben ser servidas durante la primera parte del día.
- En puntos dispersos, en donde pequeñas cantidades de desechos sólidos son generados y que reciben la misma frecuencia de recolección, deberán, si es posible, ser servidos durante un viaje o en el mismo día.

Un servicio de recolección y transporte de residuos sólidos será eficiente cuando cumpla con los siguientes objetivos¹⁹:

- Atender a toda la población en forma sanitaria y con una frecuencia adecuada.
- Aprovechar toda la capacidad de los vehículos recolectores (no debe haber viajes con carga incompleta).

¹⁹ Recolección de residuos sólidos. Programa regional OPS / EHP / CEPISDE mejoramiento de los servicios de aseo urbano.

- Aprovechar toda la jornada legal de trabajo del personal.
- Minimizar los recorridos improductivos en las rutas, es decir, que haya pocos traslados sin estar recogiendo residuos y que no pase el vehículo varias veces por la misma calle.
- Minimizar los costos en tanto no se afecte el aspecto sanitario, lo que es una consecuencia de los puntos anteriores.
- Disponer de equipos de reserva para efectuar mantenimiento preventivo y poder cumplir con los programas previstos.

Los pasos generales involucrados en el establecimiento de las rutas de recolección incluyen:

- Preparación de mapas de localización mostrando datos pertinentes e información concerniente a las fuentes de generación de desechos.
- Análisis de datos y si es requerido, preparación de información en tablas resumidas
- Distribución preliminar de rutas
- Evaluación de las rutas preliminares y el desarrollo de las rutas balanceadas por pruebas sucesivas.

3.3.1.1. Asignación De Rutas De Recolección.

A continuación se ilustra el diseño de rutas de recolección según los tipos de métodos que se emplean para la recolección de los residuos sólidos domiciliarios²⁰.

- **Sistemas de contenedores fijos.**

Paso 1: En un mapa de escala adecuada para distinguir el trazo de la ciudad o de la zona a recolectar, los siguientes datos deberán ser establecidos para

²⁰ Gestión integral de residuos sólidos. Tchobanoglous y Theisen. Volumen I.

cada uno de los puntos de recolección: localización, frecuencia de recolección, número de contenedores o casas habitación a atender. A causa de que la asignación de rutas involucra una serie de dificultades sucesivas, el trazo definitivo deberá ser realizado una vez que los datos básicos han sido ingresados en el mapa de trabajo.

Dependiendo del tamaño de la ciudad o del área de servicio, esta deberá ser subdividida en áreas a ser atendidas por un solo vehículo (macrorutas). Para localidades o áreas muy pequeñas de servicio, este paso usualmente no es necesario.

Paso 2: Primero, en una hoja para programa de actividades múltiples, se deben establecer los siguientes encabezados:

1. Frecuencia de recolección (veces/semana)
2. Número de localizaciones de carga
3. Número total de contenedores
4. Número de viajes (viajes/semana)
5. Una columna separada para cada día de la semana durante la cual los desperdicios deben ser recolectados.

Segundo, determine el número de puntos o estaciones de carga que requieren de múltiples cargas durante la semana e ingrese la información en la hoja de trabajos múltiples. Comience el listado con las localizaciones que requieren el mayor número de cargas por semana.

Tercero, distribuya el número de contenedores con servicio de una vez por semana, para que el número de contenedores vaciados por día esté balanceado por cada día de recolección. Las rutas preliminares de

recolección pueden ser planeadas una vez que esta información es conocida.

Paso 3: Usando la información del paso 2, la asignación de las rutas de recolección, puede ser delineada como sigue. Iniciando de la estación de despacho o de donde los vehículos son estacionados, una ruta debería ser planeada de forma que conecte todos los puntos de carga para ser servidos durante el día de la recolección, de tal manera que se de servicio a todos los contenedores programados de acuerdo a la hoja de trabajo.

El siguiente paso es modificar la ruta básica para incluir los contenedores adicionales que serán servidos en cada día de recolección. La operación de recolección debe ser precedida de una manera lógica, tomando en cuenta las líneas de referencia citadas previamente y las restricciones locales específicas.

Paso 4: Cuando las rutas preliminares han sido planeadas, la distancia promedio a ser recorrida entre los contenedores, debería ser calculada. Si las rutas están desbalanceadas con respecto a las distancias recorridas, éstas deben ser rediseñadas para que cada ruta cubra aproximadamente la misma distancia. En general, un número de rutas de recolección deben ser probadas antes de que se seleccionen las finales. cuando más de un grupo de vehículos es requerido, las rutas para cada área funcional deben ser planeadas y las cargas de trabajo para cada conductor deben ser balanceadas.

- **Sistema de método de punto fijo.**

Paso 1: En un mapa de escala adecuada para distinguir el trazo de la ciudad o de la zona a recolectar, los siguientes datos deberán ser establecidos para

cada uno de los puntos de recolección: localización, frecuencia de recolección, número de contenedores o casas habitación a atender. A causa de que la asignación de rutas involucra una serie de dificultades sucesivas, el trazo definitivo deberá ser realizado una vez que los datos básicos han sido ingresados en el mapa de trabajo.

Dependiendo del tamaño de la ciudad o del área de servicio, esta deberá ser subdividida en áreas a ser atendidas por un solo vehículo (macrorutas). Para localidades o áreas muy pequeñas de servicio, este paso usualmente no es necesario.

Paso 2: Primero, en una hoja de programación de trabajo, primero ingrese los siguientes encabezados:

1. Frecuencia de Recolección (veces/semana)
2. Número de localizaciones de cargas
3. Total de desechos (m^3 /semana)
4. Una columna separada para cada día de la semana durante el cual los desechos van a ser recolectados.

Segundo, determine la cantidad de desechos a ser recogidos de los sitios de carga que requieren ser recolectados en múltiples ocasiones durante la semana e ingrese la información en la hoja de trabajo. El listado debe iniciar con las localizaciones que requieren el más alto número de cargas por semana.

Tercero, usando el volumen efectivo del vehículo de recolección (volumen nominal de recolección de vehículo por su eficiencia de carga), determine la cantidad de residuos adicional que debe ser recolectada cada

día de las áreas de servicio. Distribuya la cantidad de desechos recolectados, para que la cantidad recolectada y el número de contenedores vaciados por viaje, esté balanceado para cada ruta de recolección

Paso 3: Una vez que la información es conocida, la asignación de las rutas de recolección puede realizarse como sigue. Comenzando de la estación de despacho, una ruta debe ser planeada de forma que conecte todos los puntos de recolección a ser servidos durante cada día de recolección.

Dependiendo de la cantidad de residuos a ser recolectados, varias rutas básicas pueden tener que replantearse.

El siguiente paso es modificar la ruta básica para incluir áreas de recolección que serán servidas para completar la carga. Esas modificaciones deben ser realizadas para que la misma área en general sea servida en cada ruta de recolección.

Para áreas grandes que han sido subdivididas y que son servidas diariamente, será necesario establecer rutas básicas en cada área subdividida, en algunos casos, dependerá del número de viajes que sean hechos por día.

Paso 4: Cuando las rutas de recolección han sido planeadas, la cantidad de residuos sólidos a ser recolectada y la distancia de transportación para cada ruta, deben ser determinadas. En algunos casos puede ser necesario reajustar las rutas de recolección para balancear la carga de trabajo después de que las rutas han sido establecidas, deben ser trazadas en el mapa maestro.

- **Sistema de método de acera.**

Paso 1: En un mapa de escala adecuada para distinguir el trazo de la ciudad o de la zona a recolectar, los siguientes datos deberán ser establecidos para cada uno de los puntos de recolección: localización, frecuencia de recolección, número de contenedores o casas habitación a atender. A causa de que la asignación de rutas involucra una serie de dificultades sucesivas, el trazo definitivo deberá ser realizado una vez que los datos básicos han sido ingresados en el mapa de trabajo.

Dependiendo del tamaño de la ciudad o del área de servicio, esta deberá ser subdividida en áreas a ser atendidas por un solo vehículo (macrorutas). Para localidades o áreas muy pequeñas de servicio, este paso usualmente no es necesario.

Paso 2: Estimar la cantidad total de residuos sólidos a ser recolectados de las localizaciones de carga servidas cada día que la operación de recolección es conducida. Usando el volumen efectivo del vehículo de recolección (volumen nominal de recolección de vehículo por eficiencia de carga), determine el número promedio de residencias de las cuales los residuos serán recolectados durante cada viaje de recolección.

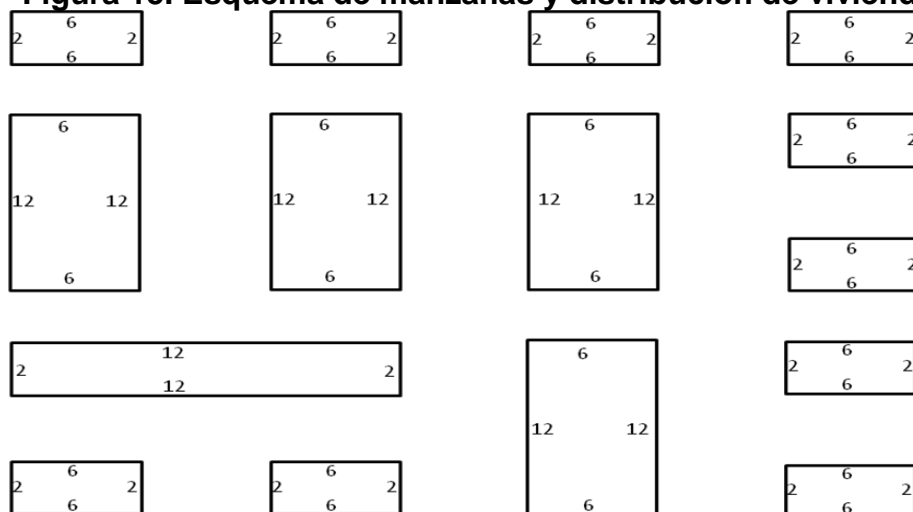
Paso 3: Una vez que los datos son conocidos, la asignación de las rutas de recolección se procede a realizar como sigue. Comenzando de la estación de despacho la asignación de las rutas de recolección que incluye todos los puntos de recolección a ser servidos durante cada ruta de recolección. Estas rutas deben ser planeadas para que la última de estas localizaciones sea la más cercana al sitio de disposición final.

Paso 4: Cuando las rutas de recolección han sido planeadas, la densidad del actual contenedor y distancia de transporte para cada ruta, debe ser determinada. Usando estos datos el trabajo de requerimientos por día debe ser ajustado de acuerdo al tiempo disponible por día. En algunos casos puede ser necesario reajustar las rutas de recolección para balancear la carga de trabajo. Después de que las rutas han sido establecidas, deben ser trazadas en el mapa maestro.

A manera de ilustración se hará la Asignación de rutas de recolección residenciales, teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

- Ocupantes por residencia: 5
- Razón de recolección de residuos sólidos: 0.86 kg/hab-día
- Frecuencia de recolección: una vez/semana
- Tipo de servicio de recolección: método de acera
- Número de personas para la recolección: 2
- Capacidad de recolección del vehículo: 16 m³
- Peso específico de los residuos compactados: 320 kg/m³.

Figura 15. Esquema de manzanas y distribución de viviendas.



Donde 2, 6, 12 son números de viviendas por manzanas

FUENTE. Gestión integral de residuos sólidos. Volumen I.

Restricciones en la ruta de recolección:

- No hay vueltas en U en las calles
- Recolección de un solo lado de la calle.

Solución:

1. Desarrollar los datos necesarios para determinar las rutas de recolección.
(paso 2).

- Determinar el número total de residencias de las cuales los residuos serán recolectados.

Número de viviendas = 10 (manzanas) x (16 viviendas) + 4 (manzanas) x (36 viviendas) + 1 (manzana) x (28 viviendas) = 332 viviendas.

- Determinar el volumen compactado de residuos sólidos a ser recolectados por semana.

Vol / semana = [(332 viviendas x 5 hab / vivienda x 0.86 kg / hab- día x 7 días / semana)] / (320 kg / m³) = 31.2m³ / sem

- Determinar el número de viajes requeridos por semana.

Viajes/semana = 31.2 m³ / (16 m³ / viaje) ≈ 2

Asignación de las rutas de recolección por pruebas sucesivas usando la ruta de restricciones citada arriba como una guía:

Otras reglas básicas para el diseño de rutas:

- Tratar de aumentar la distancia productiva en relación a 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.
- El comienzo de una ruta debe estar cerca del garaje y el término cerca del lugar de disposición de los residuos sólidos.
- En lugares con colinas o fuertes desniveles del terreno el recorrido debe procurar hacerse desde la parte alta hacia la baja.
- En lo posible hay que tratar de recoger simultáneamente ambos costados de la calle.
- Debe respetarse el sentido de la circulación y la prohibición de ciertos virajes.
- Conviene evitar los giros a la izquierda y las vueltas en U porque hacen perder tiempo, son peligrosos y obstaculizan el tránsito.
- Calles con mucho tránsito deben recorrerse en las horas en que éste disminuye.
- Cuando hay estacionamiento de vehículos, hay que procurar efectuar la recolección en los momentos en que la vía está más despejada.
- En el caso de calles muy cortas o sin salida, es preferible que los camiones recolectores no entren en ellas, sino que esperen en la esquina y que el personal vayan a buscar los residuos.

3.3.2 Algoritmos y Modelos Matemáticos

Los métodos determinísticos son los más recomendables, ya que en ellos se pueden involucrar todos los parámetros que inciden en el diseño de las rutas de recolección, además de que con estos métodos si se obtienen rutas óptimas, es decir, rutas en las que a costo y tiempo mínimos se recolecta la máxima cantidad de residuos sólidos posible.

Los dos métodos determinísticos más usados para el diseño de las microrutas son:

Algoritmo del problema del Agente Viajero, utilizado para diseñar rutas utilizando el método de parada fija y el de contenedores.

Algoritmo del problema del Cartero Chino, utilizado en el método de recolección por acera y el intradomiciliario.

Utilizando estos modelos, se pueden observar además la eficiencia de cobertura, tiempos de traslado, tiempos muertos y cualquier otra información que sea útil. Así también una adecuada combinación de intuición, buen juicio para encontrar soluciones y apoyo tecnológico y financiero se puede lograr reducir los costos de recolección aún ante una extensión del servicio²¹.

Un sistema de rutas bien diseñado, trae como consecuencia que el servicio de recolección y transporte de los residuos sólidos sea eficiente. En otras palabras, una mejora notable en el diseño de rutas, reduce costos de operación y mantenimiento; reduce las distancias muertas; se modifica la proporción de las distancias productivas respecto a la distancia total recorrida; se da el servicio a toda la población tal como se ha proyectado; se aprovecha toda la capacidad de los vehículos recolectores; se aprovecha toda la jornada de trabajo; se obtiene mayor colaboración del personal al darse cuenta que los nuevos recorridos le permiten ahorrar trabajo improductivo. Además permite en un momento dado adquirir más unidades de recolección.

Sin embargo, después de estar funcionando eficientemente un sistema, es preciso revisarlo una o dos veces al año, ya que es inevitable que se

²¹ Optimización del sistema de rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios. X Congreso de Ingeniería de Organización Valencia, 7 y 8 de septiembre de 2006

produzcan cambios en la ciudad. Dichos cambios pueden provocar aumento en la cantidad de residuos sólidos en algunos sectores; incremento en el tránsito en ciertas calles; sumarse nuevos sectores residenciales; entre otros.

Por lo antes expuesto, el proceso para mejorar el sistema de recolección de residuos sólidos, requiere de una atención ininterrumpida y responsable tanto de las autoridades involucradas como del público en general.

4. Verificación, implantación y evaluación de rutas

4.1 Verificación de rutas

Se recomienda seguir el siguiente procedimiento para la verificación de las rutas esquematizadas:

- Cuantificar la longitud del recorrido por kilómetros de cada ruta
- Constatar la vialidad (sentidos de circulación)
- Comprobar la transitabilidad de las calles en cualquier época del año
- Notificar si dentro de la ruta propuesta existen manzanas deshabitadas y consecuentemente no necesitan servicio de limpieza
- Tomar nota de los problemas de circulación, ocasionados por calles angostas, obstrucción por vehículos estacionados, calles con fuertes pendientes, etc.
- Describir la ruta de recolección ya verificada para cada zona.

4.2 Implantación de rutas

Lo más importante en la implantación de las nuevas rutas propuestas es adiestrar a los supervisores y a los choferes de camiones de limpieza pública. Dicho adiestramiento consistirá en explicar la simbolización de los esquemas de rutas de recolección como son: comienzo de ruta, dirección del recorrido, recorrido en servicio, recorrido en tránsito, fin de ruta, paradas fijas, horarios (inicio de jornada, hora de almuerzo, etc.). Asimismo, las actividades complementarias entre las que sobresalen: forma de operar el sistema compactador del camión recolector, procedimientos de carga y descarga según el tipo de vehículo.

También es sumamente importante realizar actividades apropiadas de relaciones públicas, a fin de lograr la mayor cooperación pública al cambio de ruta, horario, frecuencia, etc.

Al público, oportunamente, se le debe ofrecer las informaciones necesarias a través de medidas convenientes.

4.3 Evaluación de rutas

Una vez implantadas las nuevas rutas, se evaluará su eficiencia y se efectuarán los ajustes requeridos. Esta evaluación debe realizarse periódicamente, puesto que siempre hay cambio en la producción de residuos debido al proceso de urbanización, etc.

Por este motivo, la instalación de una balanza en cada relleno sanitario es indispensable ya que a través de su uso se pueden identificar las rutas con menos cargas y, a la vez, se les puede modificar para realizar cargas completas. La inversión de balanzas es definitivamente provechosa ya que se puede reducir el número de camiones y de personal y el consumo de combustibles, a través de un buen control de operación.

También es muy útil usar el índice Hom-Min/Ton (Hombre-Minutos necesarios para recolectar una tonelada de residuos) para evaluar la eficiencia de las nuevas rutas. Menor Hom-Min/Ton realizado por rediagramación es un buen indicador de la superioridad de la nueva ruta, si otras condiciones son iguales, tales como frecuencia de recolección, tipo de recipientes, tipo y tamaño del camión, número de ayudantes, entro otras.²².

²² Diseño de las rutas de recolección de residuos sólidos. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 1980

5. Normatividad vigente sobre el macro y microrroteo de residuos sólidos residenciales.

5.1 Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000

En el RAS – 2000, título F y literal F.3.7 se describe la forma como se deben establecer las macro y microrrutas por parte de las empresas prestadoras del servicio de recolección de residuos sólidos. Las cuales las veremos a continuación:

Las entidades prestadoras del servicio deben establecer las macrorrutas y microrrutas que deben seguir cada uno de los vehículos recolectores en la prestación del servicio, de acuerdo con las normas de tránsito y las características físicas del municipio. Estas rutas deben cumplir con la eficiencia en la asignación de recursos físicos y humanos para lograr la productividad de un servicio competitivo.

Para el diseño de las macrorrutas se recomienda seguir la siguiente metodología:

1. Definir planimétricamente la zona a servir, teniendo en cuenta los planes de desarrollo de cada municipio. Deben definirse también las redes de servicio público existentes
2. Incluir en el plano las toneladas diarias de residuos sólidos para cada vivienda ó contenedor, de acuerdo con el sistema de recolección previamente escogido.
3. Subdividir el área en zonas que tengan el mismo uso, por ejemplo: residencial, comercial, industrial, etc.

4. Asignar a cada subárea una o más microrutas. Esta asignación debe en lo posible limitar el paso por cada calle a una vez y en general deben considerarse las recomendaciones para el diseño de microrutas.

Para el diseño de microrutas deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. El diseño de la microrruta debe comenzar en el punto más cercano al garaje del vehículo y terminar en el punto más cercano al sitio de disposición final de éstos

2. Los residuos localizados en zonas de congestión vial se deben recogerse a una hora del día tal que no haya congestiones de tráfico que retrasen el recorrido.

3. El diseño de la microrruta debe minimizar los giros en “U” y los giros a la izquierda.

4. La microrruta debe promover que el recorrido de las calles sea en el sentido de las manecillas del reloj.

5. La microrruta debe ser continua, es decir que contenga una serie de calles sin zonas muertas o traslapadas con calles correspondientes a otras rutas.

6. Las microrrutas correspondientes a una misma zona de servicio deben en lo posible recolectar un mismo número de cargas diarias lo que le da flexibilidad al servicio.

7. Las vías cerradas deben ser recolectadas así: desplazamiento en reversa y recolección en marcha adelante.

8. En lo posible las microrrutas deben diseñarse para que empiecen y terminen cerca de calles de tráfico alto. Utilizando las barreras topográficas y físicas como bordes de la macrorruta.

9. En zonas de cerros, la recolección debe empezar en la parte más alta y continuar cuesta abajo mientras se cargan los vehículos.

10. En calles empinadas, la recolección empezará en la parte más alta y, si se deben recoger ambas aceras, el conductor viajará cuesta abajo mientras el personal recolector carga el camión.

11. En caso de recolección en ambas aceras deben preferirse rutas derechas, con pocos giros.

12. El conductor o jefe de cuadrilla debe contar con una carta de recorrido o microrruta preestablecida al momento de iniciar los servicios; ésta debe ser susceptible de adaptar a medida que la cuadrilla descubra mejores formas de realizar el servicio (reducción de tiempo y consumo de combustible).

13. Debe minimizarse los tiempos muertos y recorridos improductivos

14. Tránsito real y futuro

15. Censo de grandes generadores de residuos

16. Usos del suelo

17. Alturas permisibles en puentes.

Cuando el sistema de transporte se encuentre en operación, la ruta diseñada debe ser rectificadas en conjunto con el conductor del vehículo de recolección.

5.2 Valoración del régimen legal colombiano

El estado debe velar por el bienestar de la comunidad y procurar satisfacer las necesidades de la población. Son las normas jurídicas las que consagran derechos y obligaciones, tanto para la población de un país, como para sus autoridades. Es por esto que es de gran importancia estudiar el régimen legal

vigente, para entender de qué forma nuestro país ha regulado el tema de los residuos sólidos y así de esta forma tener una visión crítica del problema y poder plantear soluciones.

5.2.1 Constitución Política de Colombia

El marco legal del servicio público de aseo se encuentra en primer término en la Constitución Política de 1991. El artículo 49° consagra la obligación del Estado de prestar el servicio público de saneamiento ambiental. El capítulo 3 del Título II de la Constitución está dedicado a los derechos colectivos y específicamente el artículo 79° habla del derecho que tienen todas las personas a gozar de un ambiente sano y el deber del Estado de protegerlo y de promover la educación con el fin de conservarlo en su integridad. El capítulo V “De la finalidad social del Estado y de los servicios públicos” de la Constitución establece en su artículo 365°:

“Los servicios públicos son inherentes a la finalidad social del Estado. Es deber del Estado asegurar su prestación eficiente a todos los habitantes del territorio nacional.

Los servicios públicos estarán sometidos al régimen jurídico que fije la ley, podrán ser prestados por el Estado, directa o indirectamente, por comunidades organizadas, o por particulares. En todo caso, el Estado mantendrá la regulación, el control y la vigilancia de dichos servicios...”

A todo esto se puede concluir que Colombia, al ser un Estado social de derecho, debe propender al bienestar de la comunidad y asegurar que los servicios públicos domiciliarios se presten con eficiencia, amparando así los derechos fundamentales de los habitantes del país tales como la vida, la salud, el ambiente sano y el bienestar en general.

5.2.2 Ley 99 de 1993.

En el año 1993 se dictó la Ley 99 mediante la cual se creó el Ministerio del Medio Ambiente y se organizaron las entidades encargadas de la gestión para la conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables. En esta Ley también se consagran algunos principios dentro de los cuales se busca la acción para proteger y recuperar el medio ambiente, no solo por parte del Estado sino que debe ser un esfuerzo conjunto con la comunidad, las organizaciones no gubernamentales y el sector privado. Se puede citar como referencia el artículo 45° parágrafo 2° donde se define el saneamiento básico de esta forma:

“Se entiende por saneamiento básico y mejoramiento ambiental la ejecución de obras de acueductos urbanos y rurales, alcantarillados, tratamientos de aguas y manejo y disposición de desechos líquidos y sólidos”.

5.2.3 Ley 442 de 1994

Esta Ley que regula los servicios públicos domiciliarios, entre estos el de aseo. El artículo 14° numeral 24 define lo que es el servicio público de aseo:

“Es el servicio de recolección municipal de residuos, principalmente sólidos.

También se aplicará esta ley a las actividades complementarias de transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de tales residuos”.

CAPITULO 2

**PROBLEMÁTICA OCASIONADA SOBRE EL AMBIENTE Y LA SALUD
POR CAUSA DE LA INADECUADA RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE
LOS RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS**

➤ Generalidades

El acelerado crecimiento de la población y concentración en áreas urbanas, el aumento de la actividad industrial y el incremento en los patrones de consumo contribuyen al serio problema de la generación de los residuos sólidos.

La contaminación ambiental es uno de los mayores problemas a nivel mundial, y uno de los causantes son los residuos sólidos. Por tanto, en la medida que la tasa de generación de éstos sea mayor que la posibilidad de absorción de la biosfera, los residuos serán una molestia para la salud humana, la vida animal, la belleza del paisaje y la evolución de los ecosistemas.

Cuando se da un manejo incorrecto en el componente de recolección y transporte, incide directamente en la degradación ambiental y en el deterioro de la salud pública.

El mal manejo de la recolección y transporte de estos residuos sólidos domiciliarios constituye en la actualidad uno de los problemas ambientales que afectan a la gran mayoría las comunidades. Estos no sólo afectan la salud humana sino que, también, están relacionados con la generación de contaminación atmosférica, la contaminación del suelo y la contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

El manejo de los residuos sólidos comprende diversas etapas, incluyendo su almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final.

En este sentido y objetivo primordial nos fijaremos en el proceso de recolección y transporte de los residuos sólidos, teniendo como premisa que

la finalidad básica de la recolección es la de preservar la salud de la población, aún cuando también se justifica que son más agradables las ciudades limpias, esta meta debe tenerse en cuenta en cualquier decisión que se tome.

Los residuos en si constituyen un serio riesgo, al servir de alimentos a vectores que transmiten enfermedades como moscas, cucarachas, roedores entre otros.

A manera de ejemplo y según el modulo de recolección de residuos sólidos publicado por el Programa Regional de la OMS y de la CEPIS, tenemos un hecho que azotó a Europa en el siglo XIV y que causó la muerte a 25.000.000 de personas en tres años, conocido como la peste bubónica transmitida por las pulgas de las ratas²³.

➤ **Causas que originan la problemática**

Vivimos en una sociedad de consumo en la que los residuos que generamos se han convertido en un grave problema para el medio ambiente, debido a que estamos inmersos en la cultura de usar y tirar.

Los residuos sólidos domiciliarios usualmente son concentrados por los habitantes de la vivienda en sus respectivos recipientes, luego, de ser descargados al camión recolector, el cual, a su vez, los transporta a un solo sitio de disposición final, donde, en el mejor de los casos, se logra separar a algunos de esos residuos para reciclarlos o rehusarlos.

²³ Recolección de residuos sólidos. Programa regional OPS / EHP / CEPISDE mejoramiento de los servicios de aseo urbano

Esta sería el objetivo primordial de la prestación del servicio; pero existen muchos factores que afectan y agudizan la problemática.

A manera de ejemplo se pueden citar algunos factores que inciden en la inadecuada recolección y transporte de los residuos:

✓ **Responsabilidad del servicio**

La empresa o entidad correspondiente que este encargada de prestar el servicio debe contar con un plan donde este estipulado todas sus funciones y responsabilidades que le permitan cumplir a cabalidad sus funciones y responsabilidades.

En algunas comunidades no se cuenta con una planificación operativa, financiera y ambiental en relación al manejo de los residuos sólidos, y conociendo que la solución de los problemas del manejo de residuos sólidos municipales y peligrosos demanda previsión de largo plazo, o sea capacidad de planificar, sin embargo, las empresas o entidades municipalidades carecen de esta capacidad, todo esto acompañado con el desconocimiento de nuevas tecnologías de punta hacen que el sistema sea insuficiente e inadecuado.

✓ **Alto incremento en la generación de los residuos**

El acelerado crecimiento de la población y concentración en áreas urbanas, el aumento de la actividad industrial y el incremento en los patrones de consumo contribuyen al serio problema de la generación de los residuos sólidos, cuya recolección incorrecta incide directamente en la degradación ambiental y en el deterioro de la salud pública.

El incremento en la disposición de residuos sólidos se encuentra directamente relacionado con los patrones de consumo establecidos por la

economía de mercado de nuestra sociedad. El aumento en el ingreso per cápita y la publicidad agresiva que se presenta en los medios de comunicación son factores que han contribuido al consumo.

Este aumento en la generación, no va a la par con la infraestructura disponible para el manejo y disposición de los mismos. Como consecuencia, se afecta el ambiente y crea serios daños a los sistemas ecológicos. Esto pone de manifiesto la necesidad de crear nuevas estrategias dirigidas a minimizar la generación de residuos y viabilizar la recuperación de aquellos cuya disposición no pudo ser evitada.

Actualmente, los productos tienen una vida útil corta la cual provoca que el consumidor se vea obligado a reemplazarlos periódicamente. El ritmo de vida y el aumento en los costos de reparación de los artefactos, propician que el consumidor prefiera comprar un producto nuevo en vez de repararlo. Este estilo de vida que se orienta a la comodidad, ha contribuido considerablemente a la producción de los residuos sólidos.

✓ **Deficiente operación y funcionamiento de los vehículos recolectores**

Uno de los tópicos esenciales en el sistema de recolección y transporte de los residuos es el de los equipos o vehículos mecánicos.

Se debe hacer una correcta elección teniendo en cuenta la comunidad en la cual se va a emplear, debido a que este debe amoldarse a las condiciones topográficas, ancho de las vías y las dificultades de accesibilidad que presenten las rutas de recolección.

Es por eso que al elegir los vehículos intervienen una serie de variables que hay que tener en cuenta, de las cuales se pueden citar:

- Cantidad de residuos: debido que el volumen de los residuos es un parámetro para definir el equipo necesario, por tal razón al seleccionar un equipo que no cubra el volumen de los residuos afectaría de manera crítica la cobertura de recolección de los residuos; y de esta manera tendríamos residuos en la población sin recoger.
- Topografía: hay que tener en cuenta las condiciones topográficas de las calles o áreas de servicio, para de esta manera saber cuáles deben ser las condiciones técnicas de los vehículos como la potencia, transmisión y el motor de los vehículos. De esta manera se tiene a ciencia cierta el rendimiento en la operación que puedan tener los vehículos; y de esta manera moverse más rápidamente.
- Ancho y estado de las vías: calles angostas, en mal estado y posibles obstáculos, deben tenerse en cuenta al determinar las dimensiones de los vehículos. Conociendo que la manejabilidad depende del tamaño y de los impedimentos físicos externos.
- Costos: este factor influye mucho en este componente, hay que tener en cuenta el valor de compra de los vehículos, lo cual influye mucho en poblaciones donde no se cuenta para poder hacer una gran inversión en la adquisición de vehículos especializados que contribuyan a una eficiente recolección de los residuos, así como también el funcionamiento y mantenimiento de estos vehículos.

✓ **Distancia al sitio de disposición final**

Esto tiene su afectación en los costos y optimización de recursos, mientras más lejos este el sitio de disposición final de las rutas establecidas de recolección, mayores serán los costos en que se deben incurrir para evacuar los mismos.

✓ **Frecuencia de recolección**

La disponibilidad de maquinaria y equipo operativo, determinaran la efectividad de recolección. Estas frecuencias van de 1 a 3 veces por semana de acuerdo a la fuente de generación y al número de equipo y operarios disponibles. Para que la frecuencia de recolección no se convierta en un problema que incida en la recolección de los residuos, debe determinarse la cantidad de residuos a ser recolectados, el clima y las demandas de la población. Si la frecuencia no se fija de una manera adecuada se puede llegar a tener problemas con residuos dispersos en las calles o problemas de proliferación de mosca y roedores.

✓ **Organización de las cuadrillas**

Influye de manera notable en el rendimiento de la recolección, el número de hombres en la cuadrilla debe ser tal que no decrezca el rendimiento y que no sea excesivo de tal manera que se afecte la operación de la cuadrilla. Hay que tener presente que este factor se debe tratar de manera particular y que no existe un método general que permita seleccionar el número de hombres que deba tener la cuadrilla, por esta razón es conveniente realizar un estudio y seguimiento constante del rendimiento de las diferentes cuadrillas de recolección. De esta manera se podrá recolectar de manera rápida los residuos y así evitar pequeños focos de contaminación que afecten la salud pública y la estética de las poblaciones.

✓ **Método de recolección ineficiente**

Los sistemas de recolección de los residuos, es uno de los más costosos elementos funcionales, es la parte medular del sistema de manejo de residuos sólidos y tiene como objeto primordial preservar la salud pública mediante la recolección de los residuos en todos los centros de generación y transportarlos al sitio de tratamiento y/o disposición final, de la manera más sanitaria posible, eficientemente y con el mínimo costo.

Es por eso que para una correcta recolección de los residuos sólidos debe implementarse un método de recolección que sea apropiado y que se ajuste a ciertos parámetros como lo son las características de la localidad, equipamiento y hábitos de la población.

Para el diseño del sistema de recolección, una de las primeras decisiones que debe tomarse, es acerca del método de recolección de residuos. Entre los más comunes se tiene “de parada fija”, “de acera” y “de contenedores”; esta es una decisión importante porque incide en las otras variables de recolección, incluyendo el tipo de recipiente para el almacenamiento, tamaño de la cuadrilla y en la selección de los vehículos recolectores.

Es por eso que debe hacerse un análisis de la cantidad de residuos a recoger, las características de la población y el tipo de equipos que se van a recoger; para de esta manera implementar un método de recolección de residuos que sea apropiado y resulte el más óptimo.

✓ **Mal diseño de las macro y microrutas**

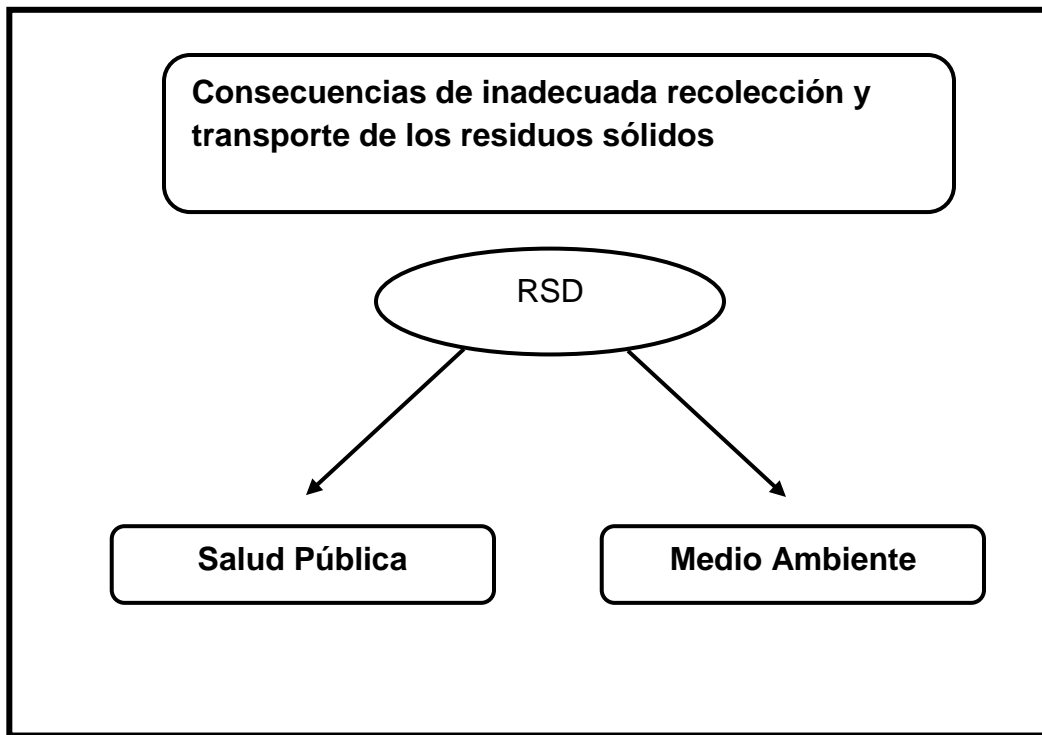
Una fase importante del sistema de recolección de residuos sólidos domiciliarios, es la que comúnmente se conoce como ruta, la cual no es otra cosa que los recorridos específicos que deben realizar diariamente los vehículos recolectores en las zonas de la localidad, donde han sido asignadas con el fin de recolectar en la mejor forma posible los residuos generados por los habitantes de dicho sector.

Un mal diseño de rutas de recolección, trae como consecuencia, graves daños al sistema de recolección, entre los que se pueden citar los siguientes:

- Deficiente operación y funcionamiento del equipo.

- Desperdicio de personal.
 - Reducción de las coberturas del servicio de recolección.
 - Proliferación de botaderos clandestinos a cielo abierto en diferentes puntos de la población.
- **Efectos de la inadecuada recolección y transporte de residuos sólidos domiciliarios**

Figura 17. Consecuencias de inadecuada recolección y transporte de los residuos sólidos



FUENTE. Residuos sólidos urbanos y sus efectos en la salud. Dirección general de salud ambiental.

La inadecuada recolección y transporte de los residuos sólidos domiciliarios es causa de un gran número de problemas de contaminación ambiental que afectan tanto al aspecto de nuestro entorno como la salud de la población, contribuye al deterioro de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, del suelo y del aire, todos ellos factores de riesgo para la salud que se

manifiestan en una alta incidencia de enfermedades entéricas, parasitosis y respiratorias.

Una primera consecuencia de la problemática es la aparición de los residuos sólidos abandonados, los cuales constituyen una molestia pública, debido que estos obstruyen los desagües y drenajes abiertos; invaden los caminos, restan estética al panorama y emiten olores desagradables.

Se convierten en un factor determinante para generar focos de contaminación, que afectan a un número cada vez mayor de habitantes, mermando sus condiciones de vida.

Teniendo en cuenta la composición orgánica de los residuos son una fuente de abrigo y alimento de vectores de enfermedades hídricas e infecciosas.

Además los residuos ocasionan el bloqueo de alcantarillas y drenajes, lo que origina inundaciones urbanas en las épocas de lluvias, bloquean las corrientes de agua, por ejemplo al acumularse debajo de los puentes provocando que los ríos y arroyos se desborden, una pésima imagen urbana al arrojar residuos al borde de caminos o en botes baldíos y espacios abiertos, la contaminación de cuerpos de agua o de consumo por descargarse directamente en ellos todo tipo de residuos o ser arrastrados por la lluvia sustancias contaminantes que se infiltran en el suelo hasta llegar al agua subterránea, la proliferación de fauna nociva y generación de malos olores. Cuando se vierte materia orgánica por doquier o en tiraderos a cielo abierto; la emisión de contaminantes al aire libre, tanto al desprenderse sustancias volátiles contenidas en los residuos, como al generarse gases debido a la fermentación de los residuos orgánicos, o por el arrastre por el viento de los residuos de distinta índole; a lo cual se suma la contaminación ocasionada cuando se incendias los basureros y durante semanas se emiten



Tultitlan, México



Quito, Ecuador



Puerto Rico

FUENTE. Residuos sólidos urbanos y sus efectos en la salud. Dirección general de salud ambiental.

En este sentido se van formando grandes botaderos clandestinos de residuos sólidos, como es sabido estos tiraderos a cielo abierto son fuentes de contaminación del aire, el agua y el suelo, se caracteriza por las simples descargas a cielo abierto sobre el suelo sin medidas de protección al ambiente o a la salud pública.

Estos residuos contienen materiales putrescibles que se descomponen por la acción de bacterias aerobias o anaerobias, según se encuentre presente el aire o no. Al descomponerse contamina el aire al producir diferentes gases tóxicos entre los que destacan el metano y el amoníaco. Al resecarse algunos de los componentes de los residuos, se pulverizan y son fácilmente desplazables por medio de los vientos, de tal manera que el aire queda contaminado con polvos, esporas, semillas, heces fecales, etc. En caso de que la temperatura se eleve, llegan a originarse incendios “espontáneos” que provocan la presencia de humo (CO₂) en grandes cantidades; esto aunado al polvo y las partículas desprendidas que son arrastradas por el viento que contamina la atmósfera. La contaminación del agua subterránea se lleva cabo cuando la lluvia escurre a través de los residuos en fermentación y arrastra sustancias tóxicas y gérmenes patógenos al subsuelo, hasta alcanzar los mantos freáticos y otros acuíferos por escurrimiento.

✓ **Riesgos para la salud**

El manejo inadecuado de los residuos sólidos puede generar significativos impactos negativos para la salud humana. Los residuos son una fuente de transmisión de enfermedades, ya sea por vía hídrica, por los alimentos contaminados por moscas y otros vectores. Si bien algunas enfermedades no pueden ser atribuidas a la exposición de los seres humanos a los residuos sólidos, el inadecuado manejo de los mismos puede crear condiciones en los hogares que aumentan la susceptibilidad a contraer dichas enfermedades.

Los contaminantes de los residuos son transportados por el aire, agua, suelos, y pueden contaminar residencias y alimentos (por ejemplo: carne de cerdo criados en botaderos que transmite cisticercosis) representando riesgos a la salud pública y causando contaminación de los recursos naturales. Las poblaciones más susceptibles de ser afectadas son las personas expuestas que viven en los asentamientos pobres de las áreas

marginales urbanas y que no disponen de un sistema adecuado de recolección domiciliaria regular. Otro grupo de riesgo es el de las personas que viven en áreas contiguas a basurales clandestinos o vertederos abiertos.

La población más expuesta a los riesgos directos son los recolectores y recicladores que tienen contacto directo con los residuos, muchas veces sin protección adecuada, así como también a las personas que consumen restos de alimentos extraídos de la basura. Los segregadores, y sus familias, que viven en la proximidad de los vaciaderos pueden ser, a su vez, propagadores de enfermedades al entrar en contacto con otras personas.

Los recicladores de residuos suelen tener más problemas gastrointestinales de origen parasitario, bacteriano o viral que el resto de la población. Además de enfermedades de la piel, dientes y ojos e infecciones respiratorias. Estas mismas personas se transforman en vectores sanitarios y potenciales generadores de problemas de salud entre las personas con las cuales conviven y están en contacto.

El riesgo indirecto más importante se refiere a la proliferación de animales, portadores de microorganismos que transmiten enfermedades a toda la población, conocidos como vectores. Estos vectores son, entre otros, moscas, mosquitos, ratas y cucarachas, que, además de alimento, encuentran en los residuos sólidos un ambiente favorable para su reproducción, lo que se convierte en un caldo de cultivo para la transmisión de enfermedades, desde simples diarreas hasta cuadros severos de tifoidea u otras dolencias de mayor gravedad. Ejemplos de este tipo de vectores se presentan en el siguiente cuadro.

Tabla 3. Enfermedades relacionadas con los residuos sólidos domiciliarios transmitidas por vectores

Vectores	Forma de transmisión	Enfermedades
Ratas	- Mordedura, orina y heces - Pulgas	- Peste bubónica - Tifus murino - Leptospirosis
Moscas	- Alas, patas y cuerpo	- Fiebre Tifoidea - Salmonellosis - Cólera - amibiasis - Disentería - Giardasis
Mosquitos	- Picadura del mosquito hembra	- Malaria - Leishmaniasis - Fiebre Amarilla - Dengue - Filariasis
Cucarachas	- Alas, patas y cuerpo	- Fiebre Tifoidea - Cólera - Giardasis
Cerdos	- Ingestión de carne contaminada	- Cisticercosis - Toxoplasmosis - Triquinosis - Teniasis
Aves	- Heces	- Toxoplasmosis

Fuente: Manual de saneamiento y proyecto ambiental para los municipios. Departamento de Ingeniería Sanitaria y ambiental, DESA/UPMG. Fundación estatal del Medio Ambiente. FEMA/MG. 1995.

Los residuos son la fuente principal de reproducción de la mosca doméstica, que transmite enfermedades y causa la muerte de millones de personas en todo el mundo. Por tanto, el elemento clave para el control de la mosca doméstica es un buen almacenamiento, seguido de la recolección y disposición sanitaria final de los residuos en rellenos sanitarios.

Las moscas pueden llegar a su estado adulto en un lapso de entre 8 y 20 días y su radio de acción puede ser de 10 km en 24 horas. Su medio de reproducción está en los excrementos húmedos de humanos y animales

(criaderos, letrinas mal construidas, excretas al aire libre, lodos de tratamiento, residuos, etc.). Se estima que un kilogramo de materia orgánica permite la reproducción de 70.000 moscas.

Las cucarachas existen desde hace 350 millones de años y, dada su extraordinaria resistencia a la mayoría de los insecticidas y capacidad de adaptación a cualquier medio, sería el único ser apto para sobrevivir a una guerra nuclear. Viven alrededor de los recipientes de los residuos, en los mostradores de cocina, cerca de la mesa del comedor y en los baños. Se alimentan de desperdicios y caminan durante la noche sobre la comida, animales dormidos o los seres humanos, contaminándolos con sus vómitos y excrementos. Transmiten más de 70 enfermedades y cerca de 8% de la población humana es alérgica a ellas y desarrolla graves dolencias respiratorias si se exponen a lugares frecuentados por estos animales. A pesar de tratarse de uno de los insectos más antiguos y desagradables, los problemas de salud e higiene asociados a esta plaga persisten y nos afectan cada día más.

A través de los siglos las ratas han acompañado al hombre en la Tierra y siempre han sido consideradas como una de las peores plagas. Además de transmitir graves enfermedades como la leptospirosis, salmonelosis, peste y parasitismo, también atacan y muerden a los seres humanos. Las ratas causan importantes daños en la infraestructura eléctrica y telefónica de las ciudades, ya que pelan y se comen los cables de las respectivas redes, lo que ocasiona un buen número de incendios. También contribuyen al deterioro y a la contaminación de buena parte de los alimentos. Se reproducen rápidamente. Dan de seis a doce crías por camada y una pareja de ratas llega a tener hasta 10.000 descendientes por año.

Asimismo, se puede afirmar que otro factor que pone en riesgo la salud

pública y que, por tanto, obliga a disponer correctamente los residuos sólidos es la alimentación de animales con residuos (vacas, cerdos, aves) sin vigilancia sanitaria. Esta práctica no es recomendable, ya que se corre el riesgo de propagar diversos tipos de enfermedades, pues no debemos olvidar que estos residuos suelen estar mezclados con desechos infecciosos provenientes de hospitales y centros de salud o de otros lugares contaminados donde los residuos se descargan sin ninguna separación previa ni tratamiento.

Por último, otros riesgos que pueden presentarse por la mala disposición de estos residuos en los botaderos de residuos, en las orillas de las carreteras y cerca de aeropuertos, son los accidentes provocados por la disminución de la visibilidad a causa de los humos producidos por las frecuentes quemas de los residuos o por colisiones con las aves asociadas a estos sitios.

- **Efectos en el ambiente**

El efecto ambiental más obvio del manejo inadecuado de los residuos sólidos lo constituye el deterioro estético de las ciudades, así como del paisaje natural, tanto urbano como rural. La degradación del paisaje natural, ocasionada por los residuos arrojados sin ningún control, va en aumento; es cada vez más común observar botaderos a cielo abierto o residuos amontonados en cualquier lugar.

- **Contaminación del suelo**

Otro efecto negativo fácilmente reconocible es el deterioro estético de los pueblos y ciudades, con la consecuente desvalorización, tanto de los terrenos donde se localizan los botaderos como de las áreas vecinas, por el abandono y la acumulación de residuos.

- **Contaminación del aire**

Los residuos sólidos abandonados en los botaderos a cielo abierto deterioran la calidad del aire que respiramos, tanto localmente como en los alrededores, a causa de las quemaduras y los humos, que reducen la visibilidad, y del polvo que levanta el viento en los periodos secos, ya que puede transportar a otros lugares microorganismos nocivos que producen infecciones respiratorias e irritaciones nasales y de los ojos, además de las molestias que dan los olores pestilentes.

- **Riesgos para el desarrollo urbano**

Las autoridades se quejan habitualmente de la falta de disciplina social y cívica de la población y, por su parte, esta se queja de la incapacidad de las instituciones públicas para cumplir su papel. El primer reclamo de los sectores populares se refiere a la cobertura. Los indicadores de cobertura son engañosos porque representan el número de usuarios que contribuye con una tarifa y no se refieren a la calidad del servicio. De esta manera, muchos pagan pero no reciben el servicio, y otros sencillamente ni lo pagan ni lo reciben por encontrarse su vecindario en una situación de ilegalidad en relación con las tierras o los servicios públicos.

Se hace necesaria implementar en nuestra sociedad una nueva mentalidad para cada una de las personas o actores de nuestra problemática ambiental. Lo primero es educar y así concientizar a la ciudadanía acerca de que nuestros residuos no son un simple desecho que ha llegado al fin de su vida útil, sino que por el contrario es un bien que de ser reutilizado o reciclado llega a tener un gran valor y mucho beneficios. En esta etapa deben participar no solo las autoridades, mediante una reglamentación adecuada, sino también el sector

privado, realizando campañas informativas las cuales deberán enfocarse en la importancia de los mecanismos de aprovechamiento de los residuos y de la forma de realizar la separación en la fuente.

Estas campañas deben ser obligatorias en las instituciones educativas de cualquier nivel. Esto ayudará a crear lo que es realmente la cultura de la no basura o cultura del aseo, puesto que ya informadas las personas en cuanto a que los residuos pueden traer beneficios tales como menor impacto ambiental, desarrollo sostenible, menor costo en las materias primas y por lo tanto una disminución en el precio final del producto, verán los residuos que producimos en nuestros hogares como una fuente que puede ser utilizada y aprovechada por los países desarrollados.

La mejor forma para ayudar a que nuestros residuos no sigan causando un gran impacto a la salud pública y a nuestro medio ambiente es la separación en la fuente. Crear esta cultura requiere de tiempo y de ayuda pues actualmente muy pocas personas la realizan, pero todo dependerá de la cultura y de la concientización que cada uno de nosotros tenga y quiera que se aminoren los impactos que producimos en nuestros hogares.

BIBLIOGRAFÍA

- Tchobanoglous, George. Theisen, Hilary. Vigil, Samuel. Gestión Integral de residuos sólidos. Volumen I. Editorial Mc Graw Hill. 1994.
- Pineda, Samuel. Manejo y disposición de residuos sólidos. Primera edición. Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental ACODAL. 2006
- Duque, Ramón. Collazos, Héctor. Residuos Sólidos. Fundación para la investigación sobre residuos sólidos. FUNPIRS. 2001
- Racero, Jesús. Pérez Edgar. Optimización del sistema de rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios. X Congreso de Ingeniería de Organización. Valencia. 2006.
- Sakurai, Kunitoshi. Diseño de las rutas de recolección de residuos sólidos. Centro Panamericano De Ingeniería Sanitaria y Ciencias Del Ambiente. 1980.
- Gálvez, Francisco. Recolección de residuos sólidos. Programa regional OPS / EHP / CEPIS de mejoramiento de los servicios de aseo urbano. 2004
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). Manual de Evaluación de Proyectos para el Servicio de Limpia Municipal. 2002
- Rivera, Susana. Gestión de Residuos Sólidos. Buenos Aires. 2003

- Secretaría De Desarrollo Social. Manual para el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos municipales.2004
- Rossi, Alba. Sarafian, Rosalba. Cittadino, Alejandro. Castiglione, Daniel. Diagnóstico de la Situación de los Residuos Sólidos en Argentina. 2002.
- www.bvsde.ops-oms.org/cdrom-repi86/fulltexts/bvsacd/scan/pequena.pdf. (Guía para el manejo de residuos sólidos en ciudades pequeñas y zonas rurales).
- www.acercar.org.co/industria/biblioteca/eventos/fase6/residuos/05062006/conferencia_carullavivero.pdf (Beneficios de una adecuada gestión de residuos solidos).
- es.wikibooks.org/wiki/Impactos_ambientales/Recolección_yeliminación_de_basura. (colección de libros de texto de contenido libre)
- www.cepis.opsoms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt017.html (hojas de divulgación científica CEPIS)