



Sistemas de recogida subterránea de residuos

INTRODUCCIÓN

En 2010, el 50,6% de la población mundial vivía en regiones urbanas y se estima que para 2050 la población urbana represente el 86% y el 67% de la población mundial en las regiones más y menos desarrolladas, respectivamente. Por tanto, el aumento de las áreas urbanas es un fenómeno irreversible que crea la necesidad de ampliar las áreas residenciales existentes, absorbiendo, al mismo tiempo, las “áreas verdes” cercanas. Esta tendencia choca

de frente con las nuevas políticas de la Unión Europea sobre el modelo de desarrollo sostenible a implementar.

En estas circunstancias, el subsuelo se presenta como un recurso que se encuentra prácticamente sin explotar con el potencial de aliviar los problemas asociados a la falta de áreas libres en las ciudades modernas. El uso del subsuelo tiene varias ventajas potenciales, aparte de la liberación del espacio en la superficie. Entre estas ventajas se encuentran el desarrollo de nuevas zonas verdes y áreas residen-

ciales; una mejor movilidad del tráfico; la preservación de áreas “sensibles”, como pueden ser los centros históricos de las ciudades y emplazamientos arqueológicos; la reducción de las distancias de viaje, con el considerable ahorro de energía y tiempo; o la reducción de los impactos ambientales (ruidos, olores, riesgos de diferente índole).

Con el fin de maximizar la eficiencia de las infraestructuras subterráneas se requiere de un cuidadoso plan estratégico que tenga en cuenta los costes y beneficios a lo largo de la vida del pro-

yecto y la selección de proyectos que ofrezcan la mejor contribución a largo plazo a la sostenibilidad urbana en lugar de una solución a corto plazo a una necesidad individual.

La gestión de residuos es uno de los temas principales a tener en cuenta en ingeniería urbana. La generación anual de residuos municipales en la UE-27 alcanzó los 477 kg por persona en 2015. La producción diaria de desechos per cápita oscila entre 0,48 y 2,16 kg, correspondiendo las mayores producciones a los países más desarrollados. En los próximos años, tanto por el aumento de la población mundial como por el crecimiento de los países en desarrollo, se espera generar un incremento importante en la producción de residuos municipales. Solamente para el caso de los residuos de alimentos en zonas urbanas se espera que la producción aumente en torno al 45% hasta el 2025. Con este escenario, las ciudades tendrán que afrontar nuevos retos para abordar eficazmente la gestión de los residuos sólidos.

Entre las actividades de gestión de residuos, la recogida es uno de las fases más importantes y costosas del ciclo de los residuos urbanos, tanto por la gran cantidad de mano de obra necesaria, como por el uso masivo de camiones de recogida utilizados.

La actividad de recogida conlleva, aproximadamente, el 80% de todos los costes asociados con la eliminación de residuos. También son importantes los costes medioambientales asociados a los modelos de recogida tradicionales. En este sentido, debe tenerse muy en cuenta las emisiones de CO₂ generadas por los vehículos empleados. Es verdad que la tendencia actual en algunos de los países desarrollados es la de cambiar el uso de vehículos con combustibles fósiles por vehículos ecológicos (aquellos que usan energías de fuentes alternativas diferentes a los combustibles fósiles), pero esta tendencia no es generalizada a nivel mundial.

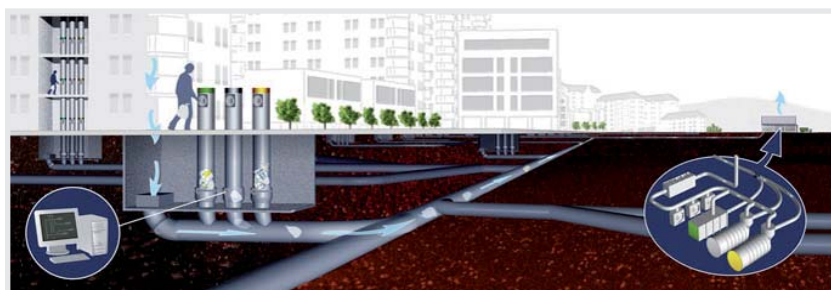


Figura 1. Sistema subterráneo a vacío de recogida de residuos. Fuente: ENVAC

La situación en áreas remotas es todavía peor. La dificultad de acceso por las condiciones climáticas o la lejanía de sistemas centralizados de tratamiento son factores que hacen que las áreas remotas tengan un gran reto a la hora de afrontar el tratamiento de sus residuos. Se debe prestar especial atención a las islas, también incluidas en la categoría de áreas remotas. La generación de residuos en las islas ha ido creciendo significativamente en los últimos años debido a la actividad turística. Las características restrictivas del territorio dificultan en gran medida, en estos casos, la ejecución del trabajo relacionado con las actividades de recogida, transporte, almacenamiento, tratamiento y eliminación de residuos y

conlleva altos costes de gestión, debido a la necesidad de transportar los residuos al continente.

Los sistemas de recogida subterránea a vacío de residuos (RSVR) han sido introducidos en las zonas urbanas durante la última década como una alternativa a los sistemas de gestión de residuos tradicionales. Las instalaciones subterráneas de residuos se desarrollan como una infraestructura permanente. En estas instalaciones, los residuos son transportados bajo las calles, desde el punto de recogida hasta el centro de reciclaje o a una instalación de tratamiento, por el interior de tuberías y utilizando corrientes de aire. Este desarrollo cuenta con múltiples ventajas, tanto desde el punto de vista de la



logística del residuo, como desde el punto de vista de la protección del medio ambiente. Alimentado con electricidad, este modelo es una alternativa eficiente a los vehículos de recogida ya que contamina menos, cada ciclo de recogida es más rápido, e incluso en áreas de difícil acceso se puede prestar el servicio. Además, esta tecnología mejora las tasas de reciclaje hasta el 50% al hacer la separación en origen tan simple y rentable como sea posible para el usuario.

PROS Y CONTRAS DE LA INFRAESTRUCTURA SUBTERRÁNEA DE RESIDUOS

La principal diferencia de los sistemas RSVR con respecto a los modelos típicos de recogida es que los contenedores están situados bajo tierra como una infraestructura permanente (Figura 1). La basura se introduce en estos contenedores a través de puntos de recogida selectiva o por canales de entradas para las diferentes fracciones de desecho y después, a intervalos de tiempo preseleccionados, son automá-

Tabla 1. Pros y contras de los sistemas RSVR	
Pros	Contras
Liberación de espacio en la superficie y mejora de su estética	Pueden ocurrir obstrucciones de las tuberías
Reducción de los costes de operación y mantenimiento, lo que conduce a largo plazo a un ahorro de los costes totales	Se requieren altos costes de inversión en la fase inicial
Capacidad para recoger adecuadamente los principales residuos generados	Inadecuados para la gestión de residuos muy voluminosos y residuos líquidos. Dificultades con la gestión de residuos de cartón y vidrio
Capacidad para manejar grandes volúmenes de residuos. Ideal para áreas de alta densidad de población	Por razones económicas, no son recomendables para zonas de baja densidad de población
Alta adaptabilidad a diferentes topografías, incluyendo pendientes, condiciones climáticas y limitaciones de espacio	Las modificaciones tras su instalación son costosas
Evita el uso de camiones de basura en la zona de recogida	El uso de camiones sigue siendo necesario para el transporte tras la estación de recogida
Mejores condiciones de trabajo	Se requiere personal cualificado
Los problemas de ruido, olor e higiénicos son mínimos	
Mayor protección frente al vandalismo	
Adaptación a las Smart Cities	

ticamente transportados mediante succión a vacío a través de una infraestructura de tuberías subterránea hasta la estación central. Allí las corrientes de residuos son clasificadas y dispuestas en grandes contenedores para su pos-

terior procesamiento. El sistema de tuberías puede seguir el camino de los túneles de servicios públicos existentes, reduciendo de esta manera los costes asociados con la implementación del sistema.





La acumulación de basura y la higiene son problemas que se reducen al mínimo con los sistemas RSVR, ya que la sobrecarga de los contenedores dis-

minuye y los problemas de olores se controlan mejor, mientras que al mismo tiempo se puede lograr un buen funcionamiento del sistema durante 24

horas, 365 días al año, incluso en situaciones difíciles como resultado de condiciones climáticas severas o eventos externos (por ejemplo: huelgas, protestas, tráfico denso, etc.). También se requiere un número reducido de viajes de recogida de residuos, lo que influye positivamente en los costes de operación, la congestión del tráfico, minimiza las emisiones de CO₂ de los camiones de basura y presenta posibles ahorros de espacio. Las razones para introducir los sistemas RSVR en áreas urbanas se deben también a su eficiencia e higiene. Por otro lado, un sistema RSVR podría ser menos sostenible a escala global que una recogida tradicional de puerta a puerta debido al consumo de electricidad y a la necesidad de fabricación de los componentes del sistema. El origen de la electricidad, en este caso, puede



fabrez
group

FABRICANTES A LA VANGUARDIA EN EL SECTOR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS



(+34) 91 884 5619

www.fabrezgroup.com

comercial@fabrezgroup.com

Calle Ramón y Cajal, 55. Polígono Industrial Gitesa. 28814 Daganzo. Madrid. España.



jugar un papel decisivo en la sostenibilidad global del proceso. La Tabla 1 recoge las principales ventajas de esta modalidad de recogida de residuos, así como sus principales desventajas.

La forma en la que se organiza la recogida de residuos se va afectada por las fracciones de desechos y cantidades de las mismas que se generan y recuperan mediante la separación de residuos en los hogares. Puesto que las entradas al sistema neumático de recogida de basuras están preparadas para integrar todo tipo de sensores, se puede incentivar a los hogares a separar sus fracciones de desechos, por ejemplo utilizando tarjetas de identificación electrónicas individuales para abrir estas entradas al sistema, permitiendo siguiendo políticas de "producir menos, pagar menos".

Investigadores coreanos evaluaron la diferencia en la generación per cápita de residuos domésticos según los diferentes métodos de recogida existentes en Corea, concluyendo que existen grandes diferencias dependiendo del método de recogida empleado. El estudio indica que una persona en una ciudad que utiliza el

método RSVR produce, de media, menos del 40% de desechos alimenticios (105,58 g/día), que una persona en una ciudad que utiliza el método de recogida con camiones (173,10 g/día). El valor de generación de residuos generales en una ciudad con un sistema de recogida RSVR (147,73 g/día) representa el 80% del correspondiente al sistema de recogida con camiones (185 g/día).

La inclusión de sensores en los sistemas de recogida RSVR puede proporcionar información precisa y de confianza cumpliendo requerimientos definidos por las Smart Cities. El conjunto de datos (por ejemplo, número de aperturas por usuario, volumen y peso depositado en cada apertura, calidad de la separación, etc.) permitirían conocer el comportamiento social para establecer y planificar, de una manera sencilla y operativa, los procesos de recogida y las políticas informativas.

La información transmitida por los sensores tiene 2 objetivos principales: conocer qué sucede en el área de estudio y proporcionar una respuesta eficiente e inmediata. El sistema neumático

de residuos permite ajustar de forma instantánea los procesos de recogida utilizando los datos recibidos con los sensores. Todo esto hace posible que la recogida de residuos sea más eficiente. Obviamente, la recogida tradicional no puede seguir las mismas prácticas. La recogida con camiones contenedores no se puede realizar dependiendo del llenado de cada contenedor, las sobrecargas detectadas o cualquier otra incidencia que pueda ocurrir.

En el caso de las áreas remotas, la aplicación de los sistemas RSVR dependerá principalmente de la densidad de población existente, como puede deducirse de la Tabla 1. No es lo mismo una zona rural con una alta dispersión de población que una zona rural o isla con alta densidad de población, debido, por ejemplo, a razones turísticas.

En cuanto al primer caso, estos sistemas son inadecuados debido no solo a la logística (por ejemplo, las largas distancias a recorrer hasta el punto de recogida más próximo), sino también a razones económicas (por ejemplo, el periodo de retorno de la inversión). En cuanto al segundo caso, la instalación de un sistema RSVR puede solventar algunos problemas asociados con la gestión de residuos en zonas remotas, como los periodos estacionales o los bajos niveles de recogida selectiva, entre otros.

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE COSTES

Los sistemas RSVR suponen, generalmente, una reducción de los costes de manejo de los residuos en comparación con los sistemas tradicionales. A pesar de que se requiere una mayor inversión inicial, los menores costes de operación del sistema pueden compensar esta desventaja en el largo plazo.

El valor que supone la liberación de espacio en la superficie con el sistema subterráneo tiene un gran impacto en

el análisis de costes. Si se pudiese otorgar un uso valioso al espacio utilizado anteriormente para la recogida tradicional de residuos, el sistema neumático podría ser más barato que el sistema puerta a puerta.

El sistema subterráneo de recogida, cuando el área objetivo es pequeña, escasamente poblada o con baja producción de residuos, es menos ventajoso en cuanto a costes que el sistema de recogida tradicional puerta a puerta. Por otro lado, la comparación económica es positiva para los sistemas subterráneos en grandes instalaciones, núcleos con altas densidades de población y gran generación de residuos. Además la instalación del RSVR en zonas residenciales nuevas tiene mejores perspectivas económicas que en zonas antiguas. Las principales razones para esto

son que la instalación del sistema neumático es más simple en nuevas construcciones, disminuyendo su coste, y además que el espacio liberado por las actividades de recogida de residuos puede ser utilizado fácilmente para otros usos, como nuevos apartamentos o plazas de aparcamiento.

Una parte importante de los beneficios económicos de las estructuras RSVR está asociada con factores sociales y ambientales externos, como el resurgimiento urbano, el ahorro de tiempo, limitar las molestias en el entorno natural y artificial de la ciudad, o la protección del medio ambiente. Este coste/beneficio latente ha demostrado ser el punto central en el proceso de evaluación que puede hacer el proyecto de recogida subterránea de residuos no solo factible, sino también favorable. En

algunos casos los beneficios pueden ser expresados también en términos monetarios, ya sea por una utilización más eficiente del uso por sí mismo, o por una utilización más eficiente del sistema en su conjunto. Cuando consideramos estas cuestiones durante todo el ciclo de vida del proyecto, en general las instalaciones subterráneas, y en particular los sistemas RSVR, pueden convertirse en la primera prioridad para el desarrollo de las infraestructuras.

Varios estudios realizados en diferentes partes del mundo confirman las ventajas económicas de los sistemas RSVR comparados con los modelos tradicionales de recogida de residuos. La Tabla 2 muestra los resultados de uno de esos estudios. Se puede observar que mientras que los dos sistemas, tradicionales y subterráneos, son muy



ALQUILER Y RENTING DE VEHÍCULOS INDUSTRIALES
ADAPTADOS A TUS NECESIDADES

comercialflotas@transtelsa.com



902 363 781

www.transtelsa.com

Tabla 2. Comparativa de costes a 30 años entre los sistemas de recogida tradicionales y subterráneos para un desarrollo de 10.000 viviendas en 2017

Inversiones en bienes de capital (CAPEX)	Sistema subterráneo	Sistema tradicional (EUROBIN)	Comentarios
Costes de capital	13.600.000 € ¹	3.060.000 € ²	¹ Diseño, tuberías, entradas, equipo utilizado en la estación de recogida ² Sustitución de camiones cada 15 años, 1.700 contenedor x 300 €/contenedor sustituido cada 5 años
Costes de aprovisionamiento de residuos	620.000 € ¹	12.750.000 € ²	¹ Edificio para alojar 1.700 contenedores x 2,5 m ² /contenedor x 3.000 €/m ² ² Edificio para la estación de recogida
Trabajos de excavación	1.360.000 €	0 €	Zanjas
CAPEX total	15.580.000 €	15.810.000 €	
CAPEX por vivienda	1.558 €	1.581 €	
CAPEX por vivienda y año	52 €	52,7 €	
Gastos operacionales (OPEX)	Sistema subterráneo	Sistema tradicional (EUROBIN)	Comentarios
Mantenimiento	115.300 €	36.000 €	Sustitución y limpieza
Energía	12.900 €	0 €	
Costes de personal para recogida	0 €	160.000 € ²	² 1.700 contenedores requieren 8 empleados a tiempo completo, salario 20.000 €/año
Costes de recogida de residuos (cuota)	100.000 € ¹	500.000 € ²	¹ 10 €/vivienda/año ² 50 €/vivienda/año
OPEX total por año	228.200 €	696.000 €	
OPEX por vivienda y año	22,8 €	69,6 €	

similares en el CAPEX requerido, el OPEX asociado al sistema subterráneo es mucho más ventajoso para el usuario final, siendo el coste tres veces más bajo en este caso.

Investigadores suecos han comparado, desde un punto de vista económico, un sistema convencional de recogida de basuras y un sistema estacionario a vacío para una promoción de 3.000 viviendas. El coste anual de operación de este proyecto utilizando un sistema de recogida a vacío fue aproximadamente 3 veces menor que utilizando un sistema con manipulación manual de los contenedores en superficie (43 €/casa vs 130 €/casa). Por otro lado, los costes de inversión resultaron 1,6 veces mayores (2.254 €/casa vs 1.406 €/casa). Considerando un periodo de depreciación de 30 años con un 6% de costes de capital, el coste global anual por vivienda resultó de 232 € para la manipulación manual de residuos y 206 € para el sistema estacionario a vacío.

También hay algunos estudios con resultados negativos para el sistema RSVR, como es el caso del estudio realizado por investigadores finlandeses que compararon el sistema neumático con la recogida puerta a puerta en un área urbana existente de 0,2 km², con una densidad de población de 20.000 habitantes por km² y una generación anual de residuos municipales de 2.000 t. En este caso, se estimó que el sistema neumático era 6 veces más caro que el sistema tradicional en uso en ese momento, siendo el coste de inversión el factor dominante. Sin embargo, los resultados extrapolados a zonas con mayores densidades de población, con mayores propensiones a generar desechos o considerando una nueva zona residencial en lugar de una antigua, fueron favorables para el RSVR.

TENDENCIAS FUTURAS

Los principales expertos en el sector

de residuos coinciden en que el estilo de vida actual, con el aumento de los volúmenes de residuos y el incremento de la concienciación ciudadana sobre los problemas medioambientales, demandan nuevos requisitos que el modelo de gestión de residuos tradicional no puede satisfacer a un coste razonable. Esta es la razón por la cual se espera que la recogida subterránea de residuos aumente de forma progresiva tanto en zonas densamente pobladas con sistemas tradicionales de recogida de residuos ya instalados como en nuevos proyectos urbanos donde estas infraestructuras pueden ser introducidas desde el inicio del proyecto.

Para áreas remotas, la aplicación de los sistemas de recogida subterráneos parece una estrategia sensata en el caso de destinos turísticos. Las actividades relacionadas con el turismo, como en el sector hospitalario, restauración o el ocio, dan como resultado una población equivalente mucho mayor

que la del censo tradicional. La gestión de residuos de actividades turísticas tiene ciertas características que se deben tener en cuenta para llevar a cabo una gestión eficiente, especialmente considerando la estacionalidad. En este sentido, los sistemas RSVR son muy versátiles. Pueden funcionar en un amplio rango de producción de basura simplemente cambiando el número de recogidas por día programadas. Por otro lado, los sistemas de compresión de los que dispone la estación central permiten minimizar los costes de transporte (por ejemplo, al continente en el caso de las islas), contribuyendo así significativamente a que la gestión de los residuos urbanos en zonas remotas sea sostenible.

Otra tendencia en el sector de la gestión de residuos es la aplicación de políticas novedosas, como el concepto de “pago según lo que tires” o el principio de separación en origen. En este sentido, los sistemas RSVR, con las múltiples configuraciones de entrada y aperturas inteligentes de las entradas utilizando tarjetas de identifica-

ción para cada usuario, pueden ayudar a conseguir los objetivos marcados en la estrategia de reciclaje de residuos. Además, un aumento y mejora de la separación en origen reduce los costes generales de gestión, ya que la etapa de clasificación puede reducirse en gran medida, consiguiendo una menor contaminación de los productos reciclados, así como mayores tasas de reciclado y, por tanto, mayores ingresos.

CONCLUSIONES

El desarrollo de nuevos enfoques en la gestión de residuos municipales se está convirtiendo en un requisito obligatorio para las ciudades modernas, y principalmente para aquellas con aspiraciones para ser consideradas como Smart Cities. Especialmente para el caso de los centros históricos de las ciudades o lugares con elevado atractivo turístico donde la recogida tradicional de los residuos es difícil, debido a las limitaciones de acceso a las calles y la programación de las operaciones de re-

cogida, la gestión de residuos a través de los sistemas de recogida subterránea pueden proporcionar resultados extremadamente eficientes.

Las decisiones que implican comparaciones entre los diferentes modelos de recogida de residuos no solo deben estar referidos a los costes del ciclo de vida de cada uno de ellos, sino que deben tener en cuenta las diversas ventajas ofrecidas por la alternativa subterránea, en particular los beneficios medioambientales. Las soluciones de bajo coste con una huella ambiental significativa pueden estar en una posición de desventaja desde el punto de vista financiero cuando las soluciones más costosas ofrecen beneficios medioambientales importantes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo en este trabajo al Programa LIFE bajo la responsabilidad de la Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión Europea (proyecto **LIFE 14 ENV/GR/000722-LIFE PA-VetheWAYSTE**).

