

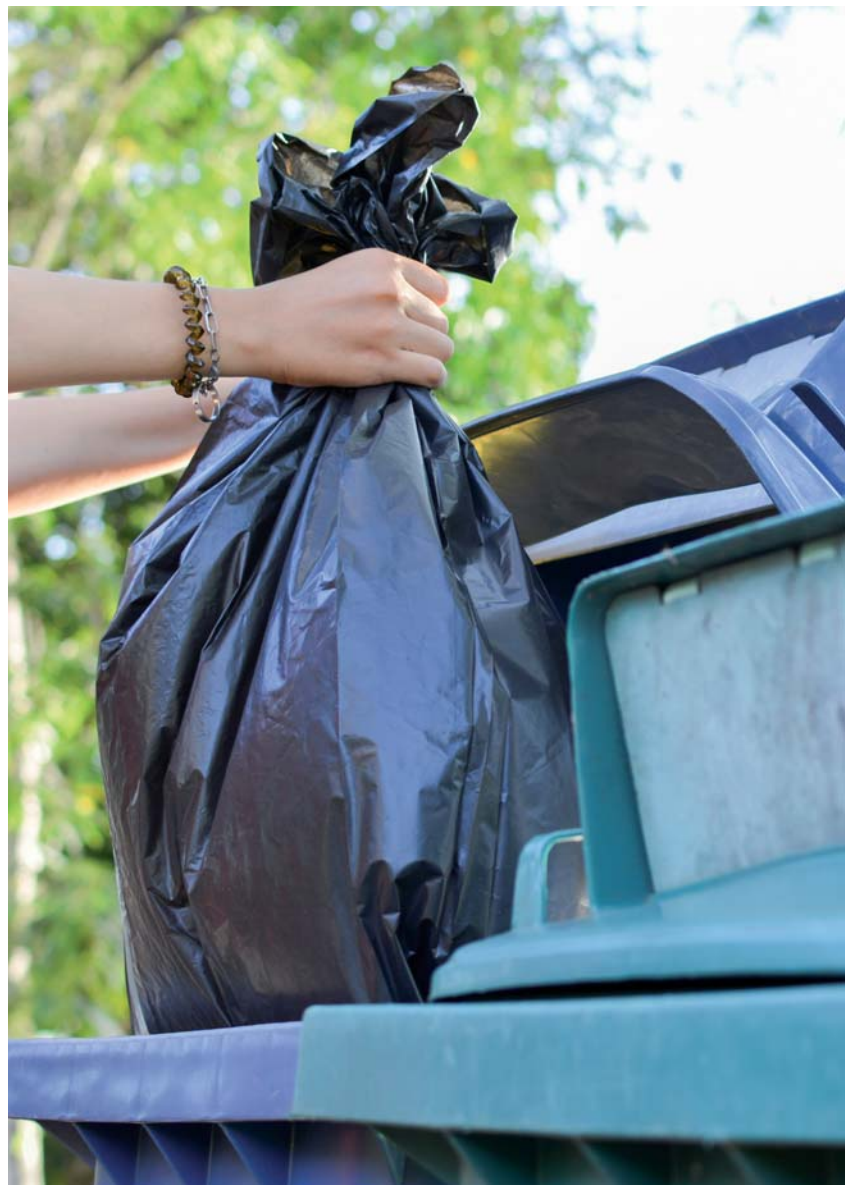
# La huella de carbono de la gestión de los residuos urbanos

Javier Pérez Rodríguez, M<sup>a</sup> Encarnación Rodríguez Hurtado

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid | [www.industriales.upm.es](http://www.industriales.upm.es)

La gestión de residuos municipales integra su pre-recogida, recogida y transporte, y tratamiento. Cada una de estas etapas implica distintas opciones técnicas que dependen de la existencia de sistemas de recogida selectiva para las diferentes fracciones: envases y embalajes, residuos orgánicos, vidrio, papel/cartón, etc. Cada etapa genera impactos ambientales asociados al uso de bolsas para almacenar los residuos generados, a los contenedores instalados en la vía pública para su depósito, al empleo de sistemas que transportan el contenido de los contenedores hasta el punto de tratamiento y a la construcción y funcionamiento de estas plantas de tratamiento.

La Unión Europea estableció una serie de acciones prioritarias para la optimización de la gestión de los residuos municipales. Así, la Directiva 2008/98/CE insta a los Estados miembros a desarrollar políticas de gestión de los residuos que protejan el medio ambiente y la salud de las personas, asegurando un uso sostenible de los recursos. Esta directiva jerarquiza los tratamientos de gestión en cinco niveles, estableciendo la prevención como op-





ción preferencial por delante de la reutilización, reciclado y otras valorizaciones (valorización energética, por ejemplo), con el depósito final (en vertedero) como la última de las opciones posibles.

De acuerdo a esta Directiva, los Estados miembros tienen que adoptar medidas “para estimular aquellas opciones de gestión que garanticen el menor impacto ambiental global. Esto puede requerir que determinados flujos de residuos se aparten de la jerarquía, siempre y cuando esté justificado a través de un enfoque que analice todo el ciclo de vida, que considere todos los impactos de la generación y la gestión de dichos residuos (life cycle thinking, LCT)”.

El concepto LCT y las herramientas para su cuantificación, tales como el análisis de ciclo de vida (ACV), proporcionan información con base científica para la toma de decisiones en materia de gestión de residuos municipales.

La metodología ACV se aplica al cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a las distintas etapas de gestión, evaluando así su impacto ambiental sobre

el cambio climático: es el cálculo de su huella de carbono.

### ETAPA DE PRE-RECOGIDA

Está constituida por el conjunto de contenedores/buzones puestos a disposición del ciudadano para que deposite los residuos que genera. En el caso de los sistemas convencionales se emplean cubos o contenedores ubicados en calle, de distintos tipos, tamaños y materiales, lo que se conoce como sistema de contenerización. En el caso de la recogida neumática, se usan buzones domiciliarios o ubicados en acera.

Su impacto ambiental está determinado por la tipología del contenedor (carga superior, lateral, frontal o superior/iglú), los materiales en los que se fabrica (acero, polietileno de alta densidad, etc.), la dotación y la efectividad del sistema de contenerización. La dotación del sistema de pre-recogida se expresa como litros de contenerización dividido entre número de habitantes del entorno geográfico al que el sistema de pre-recogida da servicio (l/hab). La aportación se define como

UNA NUEVA METODOLOGÍA, CONCEBIDA POR DE LA UPM, PERMITE CALCULAR EL IMPACTO AMBIENTAL DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS URBANOS. LA CIUDAD DE MADRID SE HA UTILIZADO COMO UN ESTUDIO DE CASO PARA DEMOSTRAR LA VALIDEZ Y UTILIDAD DEL MÉTODO PROPUESTO ●

la masa de residuo depositado dividido entre el número de habitantes (kg/hab), y la efectividad es el cociente entre aportación y dotación: masa de residuo recogido partido por litro de contenerización (kg/l).



En el caso de la ciudad de Madrid y al aplicar la metodología desarrollada por el grupo de investigación TARIndustrial (<http://tarindustrial.etsii.upm.es/>) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), el sistema de contenerización genera un impacto en el cambio climático que asciende a 3.907 toneladas anuales de CO<sub>2</sub> equivalente: 1,22 kg/habitante al año; 3,59 kg CO<sub>2</sub> equivalente/tonelada de residuo recogida (Pérez et al., 2017a).

Un diseño inadecuado del sistema puede empeorar innecesariamente el impacto sobre el medio ambiente. Ejemplos de diseños inadecuados son aquellos que presentan altas dotaciones y muy bajas efectividades, malas elecciones de tipología de contenedor o malas ubicaciones. Estas erróneas capacidades y/o distribuciones en una ciudad, no sólo afectan al impacto de esta etapa, sino también al de la etapa de recogida/transporte. En el primer caso, se genera un mayor impacto ambiental asociado a la fabricación, transporte y mantenimiento de los contenedores. Además, dependiendo de las caracte-

rísticas del entorno geográfico en cuestión, la elección incorrecta del tipo de contenedor también puede tener su efecto negativo. De forma general, los contenedores de carga lateral maximizan la relación capacidad del contenedor/masa del contenedor, por lo que, a igualdad de material de construcción, reducen la huella de carbono en su fabricación. En la etapa de recogida/transporte, el mal diseño del sistema de contenerización también incrementa la huella de carbono debido a la posible existencia de rutas innecesarias, incremento de flotas, descenso de velocidades medias de circulación, incremento del número de paradas y arranques, etc., variables que determinan sus emisiones a la atmósfera.

### ETAPA DE RECOGIDA/TRANSPORTE

Esta etapa incluye las operaciones de vaciado del contenido de los sistemas de pre-recogida sobre un vehículo colector (camión), y su transporte

hasta las plantas de tratamiento.

De acuerdo a la metodología propuesta por el equipo investigador (Pérez et al., 2017b), la huella de carbono de esta etapa en la ciudad de Madrid asciende a 25,1 kg CO<sub>2</sub> equivalente/tonelada de residuo recogido. Un 92,1% del impacto corresponde al ciclo de vida del combustible y el 7,9% restante a los sub-procesos dentro del ciclo de vida del vehículo. Dentro del ciclo de vida del combustible, el 85,6% se debe al uso de combustible en el vehículo y el 14,4% restante a las etapas de producción y transporte del mismo. En lo relativo al ciclo de vida del vehículo, el 66,4% se debe a los sub-procesos de extracción de materias primas, fabricación de materiales y transporte de los mismos hasta las instalaciones de fabricación y montaje de los vehículos.

La reducción de la huella de carbono de esta etapa está muy ligada al diseño de la etapa de pre-recogida, a la fuente energética empleada por el vehículo, a la fabricación del vehículo y a la vida útil del mismo. Como ya se ha comentado,

un mal diseño del sistema de pre-recogida puede incrementar las distancias a recorrer por los camiones y/o puede afectar a su régimen de conducción: a mayor número de paradas y arranques y menores velocidades de circulación en el ámbito urbano, mayores serán sus emisiones de CO<sub>2</sub>. En cuanto a la fuente energética, ciudades como Madrid, Barcelona, Valencia, Murcia, Palma de Mallorca, Castellón, A Coruña o Vigo, entre otras, han ido sustituyendo el tradicional diésel por gas natural, lo que ha reducido la huella de carbono. En el caso de Madrid, esta sustitución ha supuesto una reducción de las emisiones de GEI en todo el ciclo de vida igual al 15,6%. Esta sustitución no sólo ha reducido la huella de carbono, sino que también ha contribuido a la mejora de la calidad del aire urbano. Asimismo, la sustitución del gas natural por biogás purificado y concentrado obtenido a partir del aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos (biometano), reduciría un 92% la huella de carbono. En el futuro, la penetración de vehículos eléctricos puede reducir aún más el impacto en cambio climático, dependiendo del tipo de generación eléctrica.

## ETAPA DE TRATAMIENTO

Comprende el conjunto de operaciones destinadas a la recuperación y aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos o a la disposición final o eliminación de los mismos. La metodología propuesta por el equipo de la UPM (Pérez et al., 2018) tiene en cuenta las siguientes emisiones de GEI:

- emisiones directas que se producen en los propios tratamientos (clasificación y recuperación de materiales, incineración con o sin recuperación de energía, compostaje, biometanización/digestión anaerobia y depósito final en vertedero con o sin recuperación del biogás generado en el mismo)

o al uso de combustibles por parte de la maquinaria móvil de las propias instalaciones

- emisiones indirectas asociadas a la generación y transporte de la electricidad consumida en las plantas o al transporte/distribución de los combustibles fósiles auxiliares empleados por las propias plantas (gasóleo en incineración o gas natural con el biogás de vertedero, por ejemplo) o en la maquinaria móvil
- emisiones evitadas como resultado de los productos obtenidos en cada tratamiento, si los hubiere, que pueden reemplazar a otros productos o las materias primas para su producción. Por ejemplo, generación de electricidad en la incineración que reemplaza a la producida por otros medios, compost que se puede emplear como enmienda orgánica en vez de fertilizantes, biometano que puede reemplazar al gas natural en cualquiera de sus usos, etc.

La ciudad de Madrid constituye en buen ejemplo sobre los posibles tratamientos a implementar para la gestión de las principales fracciones de residuos municipales, dado que presenta todas las alternativas convencionales. La fracción papel y cartón se lleva directamente, tras su recogida y transporte, a los recuperadores /recicladores. La fracción vidrio, previo paso por la estación de transferencia ubicada en el Parque Tecnológico de Valdemingómez, se lleva también directamente a sus recuperadores/recicladores. Las fracciones orgánica, resto y envases se llevan al complejo del Parque Tecnológico de Valdemingómez donde hay tratamientos de clasificación y recuperación de materiales reciclables, incineración con recuperación de energía (generación de energía eléctrica), compostaje, biometanización (con depuración y concentración del biogás generado para obtener biometano) y depósito final en vertedero

con recuperación y aprovechamiento del biogás generado para obtener energía eléctrica. Así, la huella de carbono de esta etapa asciende a 253 kg CO<sub>2</sub> equivalente/tonelada de residuo tratado, siendo la etapa que presenta una mayor contribución al impacto total. Aun así, su huella de carbono está un 88% por debajo de la peor de las situaciones; aquella en la que la totalidad de los residuos se llevase a vertedero sin recuperación de biogás.

La recuperación de los materiales reciclables (plásticos, acero, aluminio, vidrio, papel y cartón, etc.) y la implementación de tratamientos biológicos para la generación de biogás a partir de la fracción orgánica (biometanización) han permitido aprovechar el 'residuo como un recurso', alineándose así con uno de los pilares de la economía circular.

De acuerdo a los principios de la Unión Europea se ha de trabajar en la reducción de la generación de residuos, si bien, cuando éstos se han generado, se ha de hacer un esfuerzo en la recuperación de todas aquellas fracciones valorizables.

## Referencias

- Pérez, J., de Andrés, J.M., Lumbreras, J., Rodríguez, E., 2018. Evaluating carbon footprint of municipal solid waste treatment: Methodological proposal and application to a case study. *Journal of Cleaner Production*, 419-431. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.103>
- Pérez, J.; Lumbreras, J.; de la Paz, D.; Rodríguez, E., 2017a. Methodology to evaluate the environmental impact of urban solid waste containerization system: A case study. *Journal of Cleaner Production* 150: 197-213, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.003>
- Pérez, J.; Lumbreras, J.; Rodríguez, E.; Vedrenne, M., 2017b. A methodology for estimating the carbon footprint of waste collection vehicles under different scenarios: Application to Madrid. *Transportation Research Part D* 52: 156-171, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2017.03.007>