

Tratamiento de los residuos sólidos orgánicos domésticos como estrategia para la mitigación del impacto ambiental negativo de la gestión de residuos en áreas urbanas

Marcela Noemí Jantz, Carlos Alberto Ruggerio

Ambiente en Diálogo, (2), e026, abril-julio 2021

ISSN 2718-8914 | <http://ojs.opds.gba.gov.ar/index.php/aed/index>

Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS)

Buenos Aires | Argentina

Tratamiento de los residuos sólidos orgánicos domésticos como estrategia para la mitigación del impacto ambiental negativo de la gestión de residuos en áreas urbanas

Treatment of household organic solid waste as a strategy for the mitigation of the negative environmental impact of waste management in urban areas

Recibido: 26/03/21 | Aprobado: 23/06/21



Marcela Noemí Jantz

Área de Ecología, Instituto del Conurbano
UNGS | Argentina
marcejantz@hotmail.com



Carlos Alberto Ruggerio

Área de Ecología, Instituto del Conurbano
UNGS | Argentina
cruggerio@campus.ungs.edu.ar
ORCID: 0000-0001-9674-4781

Resumen: A nivel mundial, se implementan políticas, normativas y acciones tendientes a minimizar los riesgos para la salud de los habitantes y el impacto ambiental que generan los residuos en general y los residuos sólidos orgánicos en particular. La recuperación y el compostaje son aplicados como estrategias de tratamiento para esta fracción por considerarla las opciones sustentables para mitigar el impacto ambiental negativo que provoca su inadecuada gestión y/o su disposición final en rellenos sanitarios o basurales a cielo abierto. Este trabajo se plantea como objetivo evaluar si el tratamiento de la fracción orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en el ámbito doméstico, mitigaría el impacto ambiental negativo de los actuales sistemas de gestión en la región. Para esto, se plantea el compostaje doméstico in situ como estrategia

Abstract: Worldwide, policies, regulations and actions are implemented to minimize the risks to the health of the inhabitants and the environmental impact generated by waste in general and organic solid waste in particular. Recovery and composting are applied as treatment strategies for this fraction as they are considered sustainable options to mitigate the negative environmental impact caused by their inadequate management and/or their final disposal in sanitary landfills or open dumps. The aim of this work is to evaluate whether the treatment of the organic fraction of Urban Solid Waste (MSW) in the domestic sphere would mitigate the negative environmental impact of the current management systems in the region. For this, on-site domestic composting is proposed as a treatment strategy and alternative scenarios

de tratamiento y se analizan escenarios alternativos de gestión de los RSU a nivel municipal para evaluar su efectividad. Se toma como área de estudio el municipio de Malvinas Argentinas (provincia de Buenos Aires). Se aplica la metodología de Análisis de Flujo de Materiales para analizar la gestión municipal de RSU y escenarios alternativos proyectados a partir de la incorporación del compostaje doméstico. Los resultados obtenidos indican que el efecto combinado de promover el compostaje doméstico in situ y optimizar la separación de los residuos reciclables, reduce la recolección y el transporte de los residuos e impacta positivamente en el ambiente tanto en la vida útil del relleno sanitario como en la disminución de emisiones de CO₂.

Palabras Claves: fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, recuperación y el compostaje, rellenos sanitarios o basurales a cielo abierto, municipios, impacto ambiental.

for MSW management are analyzed at the municipal level to evaluate its effectiveness. The municipality of Malvinas Argentinas (in Buenos Aires province) is taken as the study area. The Materials Flow Analysis methodology is applied to analyze the municipal management of MSW and alternative scenarios projected from the incorporation of domestic composting. The results obtained indicate that the combined effect of promoting on-site domestic composting and optimizing the separation of recyclable waste, reduces the collection and transport of waste and has a positive impact on the environment both in the useful life of the sanitary landfill and in the reduction of CO₂ emissions.

Keywords: organic fraction of urban solid waste, recovery and composting, landfills or open dumps, municipalities, environmental impact.

1. Introducción

Las sociedades no existen en un vacío ecológico, sino que afectan y son afectadas por los ciclos y pulsos de la naturaleza en una dinámica en la que producen y reproducen sus condiciones materiales de existencia. De acuerdo a Toledo (2008) este proceso puede denominarse metabolismo social e implica el conjunto de procesos por los que las sociedades, independientemente de su situación en el espacio y en el tiempo, se apropian, circulan, transforman, consumen y excretan materiales y/o energías provenientes del mundo natural.

La mayor expresión material del metabolismo social se observa en las ciudades, ya que el desarrollo urbano implica una demanda creciente de materiales y energía, y conlleva un aumento continuo de generación de residuos. Los residuos, a su vez, implican una demanda creciente de sistemas para su tratamiento y un incremento en la ocupación de suelos para su disposición final. Asimismo, la descomposición de

residuos en rellenos sanitarios genera gases como el metano (CH₄), el dióxido de carbono (CO₂) y, en menor proporción, óxidos de nitrógeno (N₂O) que provocan un impacto ambiental potencial negativo por contaminación atmosférica y por su incidencia en el cambio climático, dado que son gases que potencian el efecto invernadero antroposférico.

Dentro del conjunto de residuos generados por la sociedad se encuentran los Residuos Sólidos Orgánicos (RSO). A nivel mundial, la legislación tiende a minimizar los riesgos para la salud de los habitantes y esto implica una adecuada gestión de tales residuos. La recuperación y el compostaje de los residuos están siendo aplicados como opciones sustentables para reducir el espacio destinado a la disposición final. Como ejemplo, se puede mencionar que la Unión Europea estableció una obligación de reducción de un 35 % de los residuos orgánicos con destino a vertederos para el año 2020; y que el Ministerio de Ambiente español ha financiado la puesta en práctica del compostaje doméstico en pequeñas comunidades (INTI, 2012). De acuerdo a estas experiencias, el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos tiene beneficios ambientales, funcionales y económicos. En primer lugar, como beneficios ambientales es posible lograr una reducción en el volumen de RSO, utilizándose así menos suelo en los rellenos sanitarios; al mismo tiempo, se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la generación de lixiviados en los sitios de disposición final. En segundo lugar, como beneficios funcionales, se puede obtener una enmienda útil para jardines y huertas familiares, y disminuir la necesidad de invertir en fertilizantes químicos y abonos. Y, por último, los beneficios que derivan de la reducción de la frecuencia de recolección, ya que el tratamiento *in situ* de los residuos orgánicos disminuye su cantidad y de esta manera se reduce la fracción de los RSU recolectados y transferidos a disposición final.

En la Argentina, la responsabilidad por el manejo de los Residuos Sólidos Urbanos y de los RSO recae, en general, en los gobiernos municipales. Esta tarea suele reducirse a la recolección domiciliaria e higiene urbana y a la disposición final en rellenos sanitarios o, en algunos casos, en basurales a cielo abierto. En el año 2005, se desarrolló la Estrategia Nacional para la

Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos a fin de erradicar basurales a cielo abierto e implementar buenas prácticas en la gestión de los residuos. A su vez, se cuenta con legislación tanto nacional (Ley 25.916, 2004) como provincial (Ley 13.592, 2006), que establece gestionar los RSU de manera integral y disminuir la cantidad de residuos enviados a disposición final.

En el año 2011, en el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), el área urbana más poblada del país con aproximadamente 15 millones de habitantes, la fracción de residuos orgánicos generada en domicilios particulares constituyó aproximadamente un 41 % del total de los Residuos Sólidos Urbanos (FIUBA, 2011) y se dispuso casi en su totalidad en rellenos sanitarios operados por la empresa estatal Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE). Esta situación no ha variado en la actualidad y la mayor parte de estos residuos potencialmente tratables siguen disponiéndose en rellenos sanitarios. Esto refleja una clara diferencia entre los objetivos propuestos por los marcos normativos, tanto a nivel provincial como municipal.

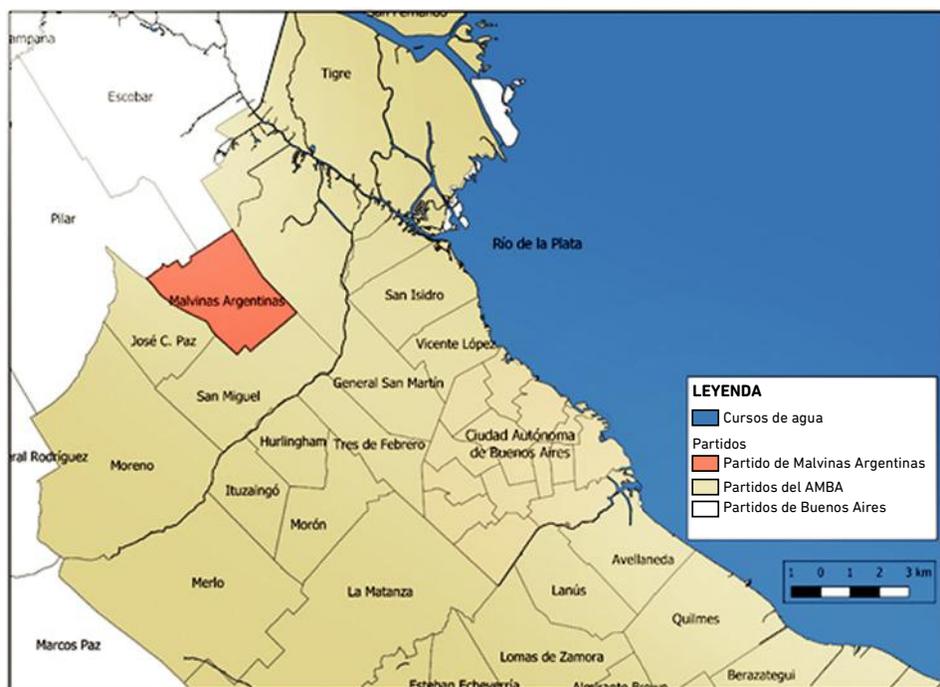
Tomando en cuenta lo antes mencionado, este trabajo se plantea como objetivo evaluar si el tratamiento de la fracción orgánica de los RSU en el ámbito doméstico mitigaría el impacto ambiental negativo de los actuales sistemas de gestión en la región. En ese sentido, se plantea el análisis de alternativas de gestión de los RSU considerando el tratamiento de la fracción orgánica doméstica *in situ*.

Se tomó como área de estudio el municipio de Malvinas Argentinas, que cuenta con un programa ambiental que involucra componentes destinados a mejorar la gestión de los RSU. Sin embargo, el tratamiento de la fracción orgánica doméstica es minoritario y en su gran mayoría es enviada a disposición final a los rellenos sanitarios del Complejo Ambiental Norte III de CEAMSE. Esta situación y las características que comparte con el resto de los municipios del AMBA en términos de políticas y acciones para la gestión de los residuos sólidos urbanos, permite evaluar escenarios de gestión de los RSU que luego podrían tomarse como base para el desarrollo de políticas públicas en el resto de la región.

2. Área de estudio

El municipio de Malvinas Argentinas se encuentra ubicado en el noroeste del AMBA, forma parte del aglomerado urbano (Alsina & Borello, 2007) y limita con los partidos de José C. Paz, San Miguel, Escobar, Pilar y Tigre (Figura 1). Para el 2010, la cantidad de habitantes fue de 322.375 en una superficie de 63 km² y una densidad poblacional de 5.117 habitantes por km² (INDEC, 2010).

Figura 1. Municipio de Malvinas Argentinas.



El partido está conformado por las localidades de Grand Bourg, Ingeniero Adolfo Sourdeaux, Ingeniero Pablo Nogués, Los Polvorines, Tortuguitas, Villa de Mayo, Tierras Altas, el Área de Promoción (El Triángulo) y Malvinas Argentinas. En cada una funcionan las Unidades Locales de Gestión (ULG), dependientes de la Secretaría de Servicios, con el propósito de otorgar una respuesta rápida y eficaz a los problemas cotidianos de los vecinos. Los responsables de las ULG son los que mantienen un contacto directo con los vecinos para recibir y resolver sus demandas, en el marco de una nueva relación entre las familias y el municipio. La localidad de Grand Bourg cuenta con cuatro ULG; Ing. Pablo Nogués, con dos ULG; Los Polvorines cuenta con tres ULG; Tortuguitas, con dos ULG; Villa de Mayo con dos ULG; e Ing. Adolfo Sourdeaux, Tierras Altas y El Triángulo con una ULG cada una (Figura 2).

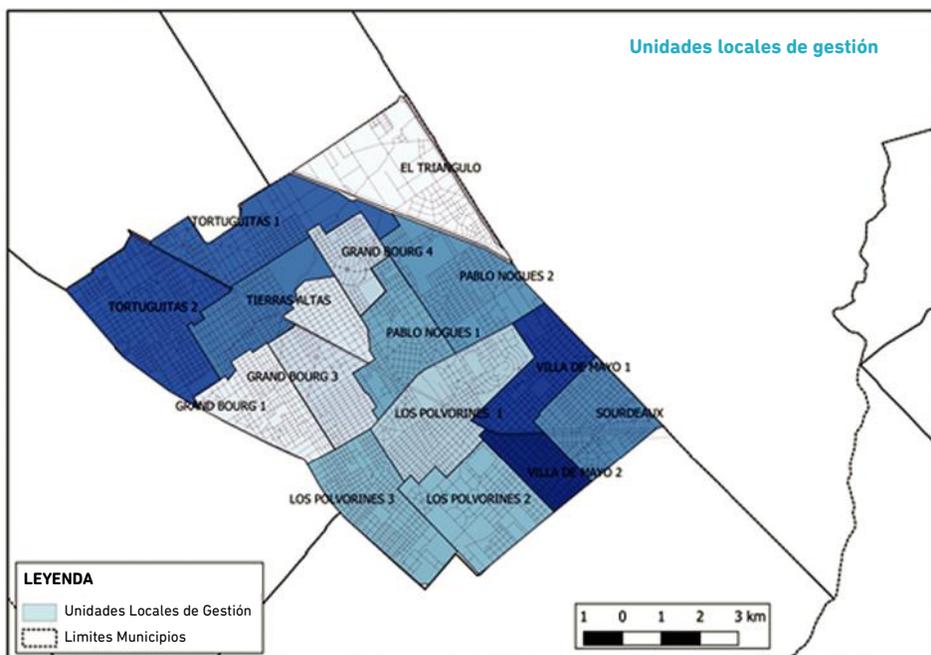


Figura 2. Unidades Locales de Gestión (ULG) del Municipio de Malvinas Argentinas.

3. Materiales y métodos

El trabajo de investigación se estructuró en tres etapas (Figura 3). En la primera etapa, se aplicó la metodología de Análisis de Flujo de Materiales (MFA) para construir un modelo conceptual de la gestión de los RSU domiciliarios del municipio de Malvinas Argentinas. Este escenario se estableció como base para las siguientes etapas. Se cuantificaron los componentes más relevantes del modelo, tomando el año 2010 como referencia. Los flujos que no pudieron ser estimados se consideraron cualitativamente como parte del sistema. En la segunda etapa, se construyeron escenarios para evaluar alternativas de gestión que consideraran el compostaje doméstico como una estrategia de mitigación de impactos ambientales negativos. En la tercera etapa, se realizó una ponderación de los resultados de los escenarios para evaluar si efectivamente la estrategia de compostaje doméstico contribuiría a mejorar la gestión de RSU en el partido. A continuación, se detallan las fuentes de información y los métodos utilizados en cada etapa.



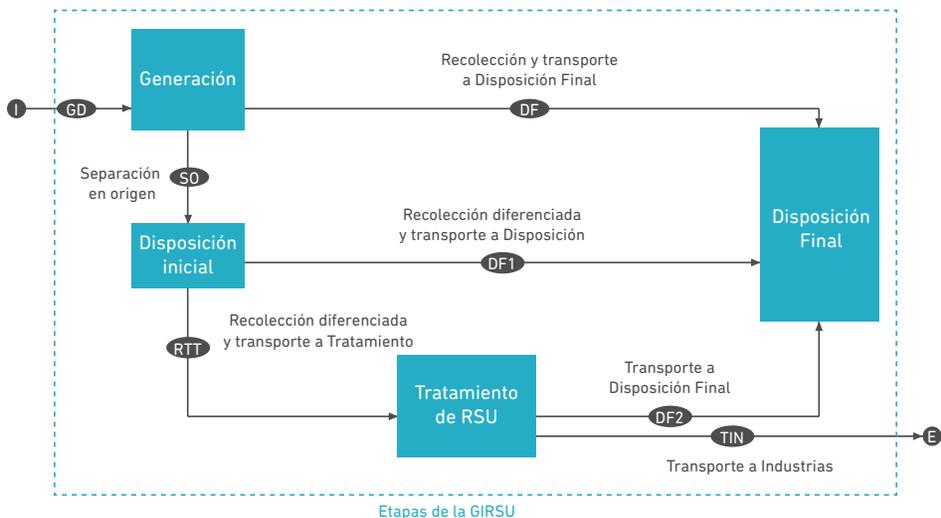
Figura 3. Resumen de las etapas de la metodología empleada.

3.1. Escenario base de la Gestión de RSU en el municipio de Malvinas Argentinas

3.1.1. Análisis cualitativo de la gestión de RSU municipal

En primer lugar, se realizó una identificación de las diferentes etapas de la gestión de los RSU en el municipio de Malvinas Argentinas, considerando como base el esquema conceptual propuesto para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) por el Organismo Para el Desarrollo Sostenible (OPDS) del Gobierno de la Provincia de Buenos Aires (OPDS, 2018), diferenciando las fracciones de residuos inorgánicos y orgánicos (Figura 4). Luego, se realizó un análisis cualitativo del flujo de materiales siguiendo la metodología propuesta por Brunner y Rechberger (2003).

Figura 4. Modelo conceptual de la gestión de RSU municipal según criterios del OPDS de la provincia de Buenos Aires. GD: Generación Doméstica; DF: Disposición Final; SO: Separación en Origen.



3.1.2. Análisis cuantitativo de la gestión de RSU municipal

Para la elaboración del MFA cuantitativo se utilizó el software STAN 2.5 (Vienna University of Technology, 2012). La información necesaria se obtuvo de fuentes secundarias extraídas de la página oficial de estadísticas de la CEAMSE Norte III, de datos estadísticos disponibles en el sitio web del municipio y de estudios de calidad de RSU del AMBA, del año 2010, realizados por FIUBA (FIUBA, 2011). Esta información se complementó con entrevistas en profundidad a los siguientes informantes clave: director de la Secretaría de Producción, Industria y Medio Ambiente; directoras del Área de Educación; subsecretario del Área de Servicios; director de la Planta de Separación Municipal de Residuos; responsables del Departamento de vivero municipal; directores de las ULG de Los Polvorines (El Triángulo, Grand Bourg, Villa de Mayo Tortuguitas, Sourdeaux, Grand Bourg y Pablo Nogués) y responsable de la empresa de recolección de residuos EcoCiudad.

Teniendo en cuenta que en el MFA se aplica la ley de conservación de masas —es decir, que la variación del almacenamiento del sistema (stocks) es igual a la suma de los flujos de entrada menos la suma de los flujos de salida—, la cuantificación de los flujos y de los stocks faltantes se estimó con la aplicación del modelo de MFA. Los flujos analizados corresponden a los residuos domiciliarios y asimilables a domiciliarios generados en el ámbito doméstico (Ley 13.592, 2006).

3.1.2.1. Estimación de la generación doméstica de RSU

Dado que no se cuenta con mediciones de la generación doméstica (GD), se realizó una estimación a partir de la producción diaria por persona obtenida por el Observatorio Nacional para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (2012) y la cantidad de población del municipio (INDEC, 2010) aplicando la ecuación 1.

1

$$GD=(PPC \times P \times 365)$$

GD: generación doméstica.

PPC: producción de residuos diaria por persona.

P: población.

3.1.2.2. Estimación de la separación en origen y tratamiento de residuos

La ecuación 2 permite estimar la fracción de residuos generados en el municipio que son separados en origen por la población contemplada en el programa de reciclado municipal "Malvinas Recicla".

2

$$SO=(GD\times PM)$$

SO: separación en origen.

GD: Generación doméstica.

PM: proporción de residuos incluidos en el programa de separación municipal.

Los residuos separados en origen son transportados a la planta municipal de tratamiento. El valor de eficiencia de la planta fue brindado por funcionarios mediante entrevista.

3.1.2.3. Estimación de la disposición final en relleno sanitario

Se tomaron los valores informados por CEAMSE (2019) para cuantificar la fracción de residuos que se disponen en relleno sanitario.

3.1.2.4. Estimación del desvío de residuos

Dentro del esquema GRSU, OPDS no incluye el desvío de residuos, pero en los municipios del AMBA existe un porcentaje de desvío que no puede ser cuantificado con exactitud porque no se cuenta con registros o investigaciones que den información al respecto. Este valor se estimó a partir del modelo desarrollado, aplicando MFA.

3.1.2.5. Estimación del transporte y la recolección

Los valores de flujos de recolección y transporte se calcularon con base en las diferencias de porcentajes de cada uno de los flujos que pertenecen a los procesos antes desarrollados mediante la aplicación del modelo.

3.2. Escenarios alternativos de gestión

Se analizaron dos escenarios que representan acciones concretas de intervención en la gestión de residuos y se comparan con el escenario base. Los escenarios

enfatan dos aspectos claves: por un lado, compostar *in situ* la fracción orgánica y, por otro, aumentar la separación en origen y la recuperación de materiales reciclables. Para el cálculo de las principales etapas de gestión, se utilizaron las mismas fuentes de información referidas en la elaboración del escenario base.

3.2.1. Escenario 1

En este escenario se incorporó el tratamiento doméstico de residuos sólidos orgánicos compostables (ROC) al programa “Malvinas Recicla”, que contempla al 25 % de la población del municipio y tiene una eficiencia de recuperación de materiales reciclables (RR) del 7 %. Mediante la ecuación 3 se realizó el cálculo de la fracción orgánica que ingresa al proceso de compostaje *in situ*. Se evaluó la variación de la eficiencia del compostaje considerando un 50 % de los residuos compostados para el escenario 1A y en un 75 % para el escenario 1B (Tabla 1).

3

$$CO=SO \times FOC \times Ef$$

CO: Fracción orgánica compostable.

SO: cantidad de residuos separados en origen.

FOC: proporción de residuos orgánicos domésticos generados en el municipio.

Ef: eficiencia del compostaje *in situ*.

3.2.2. Escenario 2

En este escenario se consideró un aumento de la cobertura del programa “Malvinas Recicla” a un 40 % de la población para el escenario 2A y a un 60% para el escenario 2B. En ambos casos, se incluyó el compostaje doméstico incorporado en el escenario 1. Asimismo, se consideró una mejora en la recuperación de materiales reciclables para ambos escenarios (Tabla 1).

Tabla 1. Porcentaje en los escenarios alternativos de gestión.

Indicadores	Escenarios			
	1A	1B	2A	2B
Separación en origen (%)	25	25	40	60
Separación de RR (%)	7	7	10	20
Compostaje <i>in situ</i> de ROC (%)	50	75	50	75

Para los cálculos de cada flujo de cada una de las etapas de gestión, se utilizaron coeficientes obtenidos en las entrevistas en profundidad a informantes clave.

3.3. Evaluación comparada de los escenarios formulados

A fin de realizar una evaluación comparada entre el escenario base y los escenarios propuestos, se analizó el impacto en las etapas de recolección y transporte y de disposición final aplicando cuatro indicadores: la recuperación de RR y la producción de compost, la cantidad de residuos dispuestos en relleno sanitario, la emisión de CO₂ debido al servicio de recolección y transporte, y el gasto en combustible debido al servicio de recolección y transporte.

3.3.1. Recuperación de RR y producción de compost

Tanto la recuperación de RR como la producción de compost en los diferentes escenarios se estimaron mediante los modelos de MFA.

3.3.2. Disposición final en relleno sanitario

Se realizó una comparación de las toneladas de RSU dispuestos en relleno sanitario para la gestión base con respecto a cada uno de los escenarios propuestos. La cantidad de residuos dispuestos en los escenarios 1 y 2 se estimó del MFA cuantitativo de cada escenario.

3.3.3. Emisiones de CO₂

Para calcular las emisiones de CO₂ se utilizó la base metodológica propuesta en el manual de aplicación de la huella de carbono de la provincia de Buenos Aires (Ministerio de Agroindustria, 2018) aplicando la ecuación 4.

$$4 \quad ECO_2 = CO_{2eq} \cdot D$$

ECO₂: Emisión de CO₂

CO_{2eq}: Factor de emisión de CO₂ (0,5397 kg CO₂/km).

D: Distancia recorrida en la recolección y el transporte.

Para obtener la distancia recorrida por el servicio de recolección y transporte de los residuos separados en origen para el escenario base, se realizó un procesamiento de datos en GIS a partir de información

suministrada por la Subsecretaría del Área de Servicios Municipal.

Para la proyección de los escenarios alternativos se trabajó sobre las localidades de Los Polvorines, Villa de Mayo y Grand Bourg a fin de limitar la zona de recolección de residuos separados en origen. Se eligieron estas zonas ya que, como se observa en la Figura 5, son las zonas que cuentan con la mayor superficie de recolección diferenciada cubierta por el municipio. Para obtener la distancia recorrida se tomaron en cuenta las toneladas de residuos a transportar, la capacidad de cada camión y la distancia operativa de cada camión. Calculada con base en datos brindados por la empresa Ecociudad.

Para el escenario 1A y 1B, la distancia de recolección se calculó para el área de la localidad de Los Polvorines, ya que cuenta con un porcentaje de población de 22 %. Para el escenario 2A, se consideró a las localidades de Los Polvorines y Villa de Mayo. El porcentaje de población es de un 22 % para Los Polvorines y de un 12 % para Villa de Mayo. Para el escenario 2B, se sumó la localidad de Grand Bourg con un porcentaje de población de 25 %, llegando al 60 % de población que participaría de la separación en origen. Finalmente, se estimó la distancia total recorrida para transportar los residuos a disposición final para cada escenario aplicando la ecuación 5.

5

$$D = R_{int} + RS * CC$$

CC: cantidad de camiones para transportar los RSU.

R_{int}: Kilómetros de recorrido interno del municipio.

RS: kilómetros de recorrido hasta Relleno Sanitario.

3.3.4. Consumo de combustible

El consumo de combustible es un factor económico trascendente en la gestión de RSU, dado que, junto al mantenimiento de los camiones y a los sueldos del personal que realiza la recolección, constituyen los costos más importantes del servicio. El consumo se calculó como el producto entre los kilómetros recorridos y un coeficiente de consumo medio de los camiones recolectores brindado por la empresa Ecociudad (la cantidad de combustible utilizado por camión es de 60 litros de diésel por cada 35,56 kilómetros realizados diariamente en la recolección).

4. Resultados

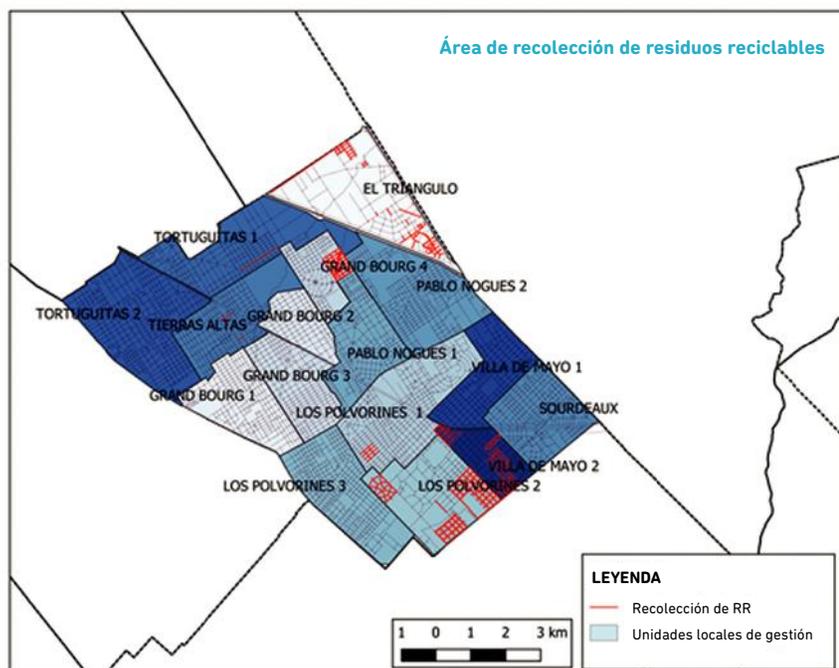
4.1. Escenario base de la Gestión de RSU en el municipio de Malvinas Argentinas

4.1.1. Análisis cualitativo de la gestión de RSU municipal

El servicio de recolección de RSU en el municipio es diario, de domingos a sábados y se encuentra a cargo de la empresa Ecociudad S.A. Este servicio depende de la Secretaría de Servicios de la Municipalidad. La disposición final de los residuos se realiza en el relleno sanitario del Complejo Ambiental Norte III de CEAMSE.

El municipio cuenta con el programa de reciclaje de residuos en organismos públicos y privados "Malvinas Recicla", el que tiene como objetivos crear conciencia ecológica con base en la separación de residuos reciclables, disminuir la disposición final de los residuos, contribuir al ahorro de energía y consumo de agua (Medio Ambiente. Malvinas, 2010). El servicio de recolección diferenciada es muy variado de acuerdo a cada localidad y está a cargo del municipio. Funciona de lunes a sábados y se cubre en cada localidad hasta 2 veces por semana, aunque no llega a todos los barrios. Cada localidad está dividida en una cuadrícula y el servicio de recolección varía en cada una de acuerdo a la cantidad de población (Figura 5).

Figura 5. Recolección de residuos reciclables en el municipio de Malvinas Argentinas.



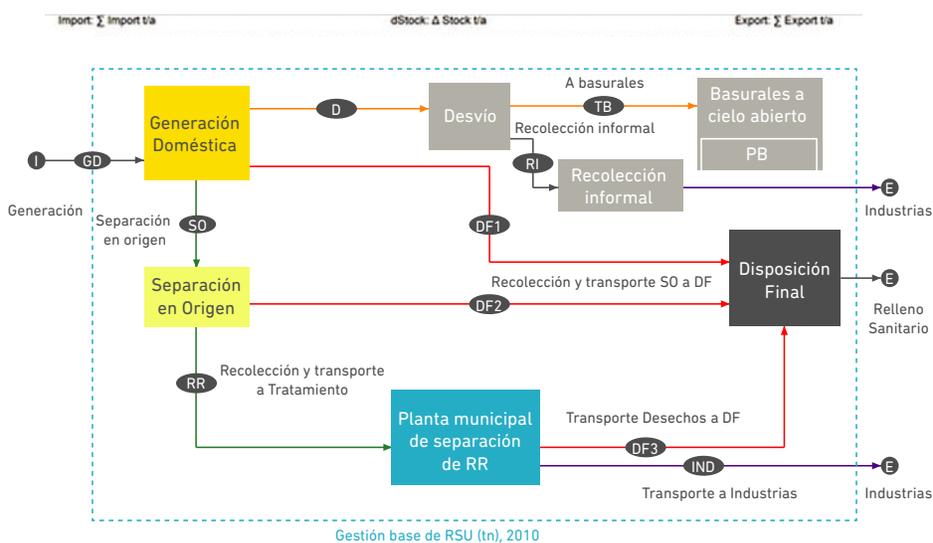
El municipio cuenta, además, con un servicio de recolección de poda de los espacios verdes y veredas urbanas. Estos residuos son recolectados por camiones municipales y llevados a la planta de tratamiento, donde se realiza un proceso de chipeo y compostaje.

Por otro parte, el Programa municipal de recupero de aceite vegetal usado, contempla la habilitación de un Centro de Investigación y Laboratorio Municipal de Biodiesel para el abastecimiento del parque automotor municipal, sobre la base de materia prima de aceite vegetal nuevo y de recupero de aceite vegetal usado bajo el Decreto 2216/10 (Boletín 183, 2010). Dentro del programa se encuentra el servicio de recolección de aceite vegetal usado, cuyo objetivo es recoger el aceite de uso doméstico y comercial para producir biodiesel en la planta municipal. Esta planta fue construida en el año 2008 en un predio perteneciente al municipio, sito en la Ruta 197. Actualmente, la planta fue trasladada a un predio del área de promoción El Triángulo.

Además, el municipio cuenta con el Plan de Protección Ambiental, cuyos objetivos son generar un compromiso de todos los ciudadanos para enfrentar la crisis ambiental y crear conciencia en la población, respecto de los problemas ambientales que se generan por los usos y costumbres actuales; y sus posibles soluciones (Boletín 164, 2008).

En la Figura 6 se presenta el MFA cualitativo resultante del análisis de la gestión municipal.

Figura 6. MFA cualitativo de la gestión de RSU del municipio de Malvinas Argentinas. GD: generación doméstica; SO: separación en origen; DF: disposición final; D: desvío de residuos; RR: recolección y transporte a tratamiento; RI: recolección informal; TB: a basurales; IND: transporte a industrias; RS: relleno sanitario.



El proceso de *generación doméstica* contempla los residuos generados en el ámbito doméstico. Parte de estos ingresan al proceso de *separación en origen* que representa la fracción de residuos que son separados y transportados a la planta de tratamiento en el programa "Malvinas Recicla". A su vez, el proceso *planta municipal de separación de RR* comprende el conjunto de operaciones tendientes al acondicionamiento y valorización de los residuos reciclables.

El proceso de *disposición final* contempla la fracción de residuos que son recolectados y transportados al relleno sanitario. Incluye los residuos generados en el domicilio y los que fueron a tratamiento y no entraron al circuito de RR. Los flujos de *recolección y transporte* corresponden a los residuos que son recolectados en los domicilios y llevados a disposición final (DF1 y DF2), como así también a los residuos rechazados de la planta municipal de tratamiento (DF1). Los residuos que no fueron recolectados por el sistema formal ingresan al proceso *desvío* que tiene dos destinos principales: los *basurales a cielo abierto* y la *recuperación informal*.

4.2. Análisis cuantitativo de la gestión de RSU municipal

4.2.1. Generación doméstica

La generación de RSU para el municipio de Malvinas Argentinas es de 0,70 kg/hab./día, según informe del Observatorio Nacional para la Gestión de RSU (2012). Para el año 2010, la cantidad de habitantes en el municipio era de 322.375 (INDEC, 2010) y la generación de residuos en el ámbito doméstico se estimó en 82.367 t/año.

El desvío de residuos resultó en aproximadamente el 9 % de la GD. Se considera que una parte de este desvío constituye la recuperación informal de materiales reciclables, que de acuerdo a valores informados para el AMBA es aproximadamente de un 11% (Schamber & Suárez, 2011) y la otra parte se dispone en basurales a cielo abierto. Asimismo, parte de los residuos que terminan en basurales posiblemente sean llevados a relleno sanitario cuando la autoridad competente realiza el servicio de barrido y limpieza (Malvinas Argentinas, 2018), aunque no se encuentra registrado ni cuantificado.

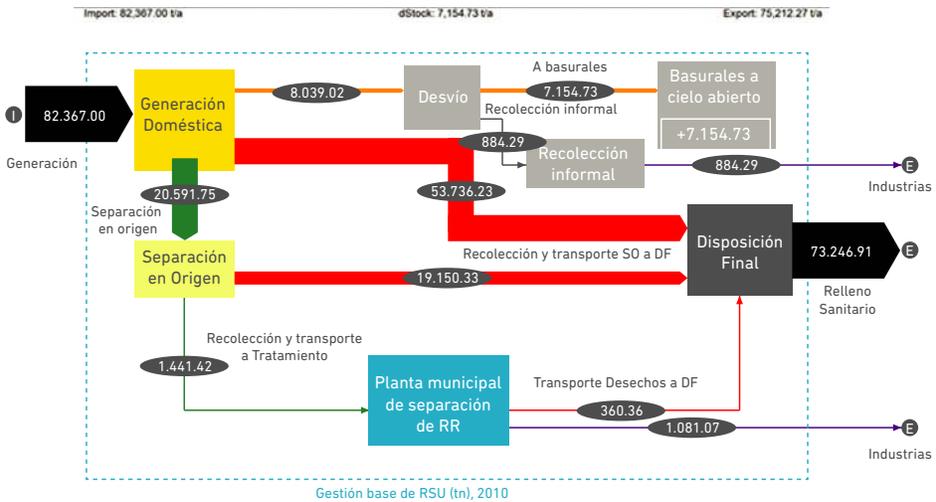
4.2.2. Separación en origen y planta municipal de separación

La separación en origen se estimó en 20.592 t/año, tomando en cuenta la cantidad de población involucrada en el programa "Malvinas Recicla". De esta fracción ingresan a la planta de Reciclado Municipal 1440 t/año, porcentaje que representa el 7 % de la GD del municipio. Según la entrevista realizada al director de la Planta Municipal de Separación, la eficiencia de la planta municipal es de un 75 %, es decir, que para el año 2010 se transportaron a las industrias 1081 t/año de material recuperado. El 25 % de rechazo restante es transportado al relleno sanitario.

4.2.3. Disposición final

La disposición final en relleno sanitario para el año 2010 fue de 73.246 t/año (FIUBA, 2011). En la Figura 7 se presentan los resultados del MFA de la gestión del municipio.

Figura 7. Flujograma cuantitativo de base.



El MFA indica que existe una fracción mayoritaria de residuos enviados a relleno sanitario que podría valorizarse o compostarse, ya que anualmente solo se recuperaron 1441 t, mientras que la fracción total de reciclable generado en el municipio fue de 23.380 t/año (FIUBA, 2011).

4.3. Escenarios alternativos de gestión

Los escenarios propuestos incluyen el compostaje a nivel doméstico y una planta de tratamiento para la estabilización del compost obtenido en los hogares.

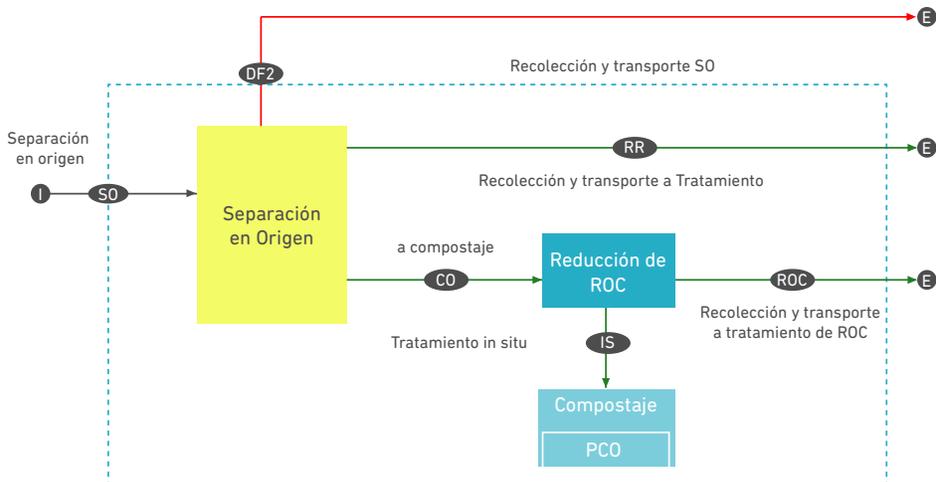
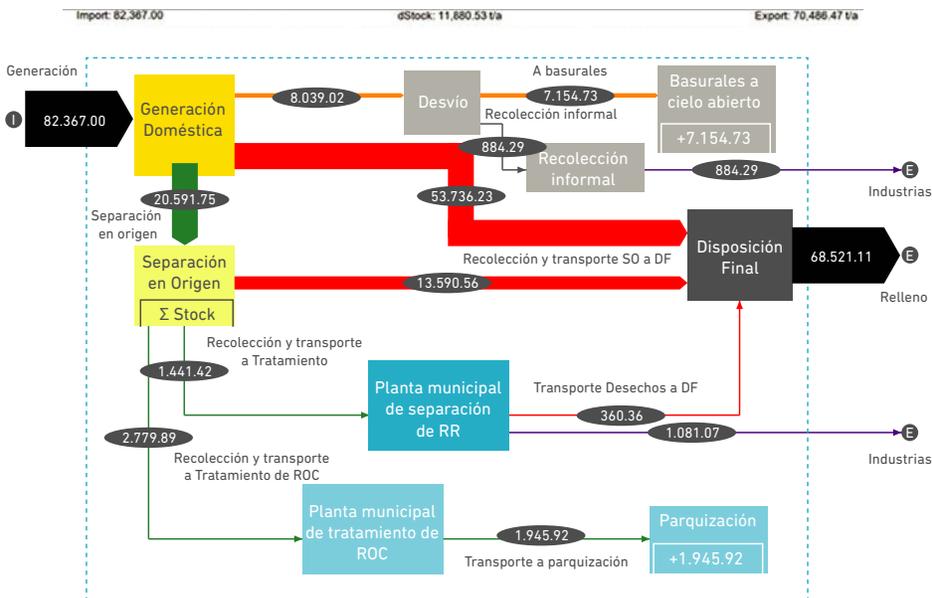


Figura 9. Subsistema Separación en origen.

4.3.1. Escenario 1

El escenario 1 incorpora el compostaje doméstico al Programa Municipal de Separación de Reciclados que cuenta con una adhesión del 25 % de la población, según entrevistas realizadas al área de educación y de las ULG en julio de 2016, con una eficacia del 50 % y del 75 % de residuos compostados. En las figuras 10 y 11 se presenta el flujograma para el escenario 1B.

Figura 10. Escenario 1B con eficacia del 75 % de los ROC.



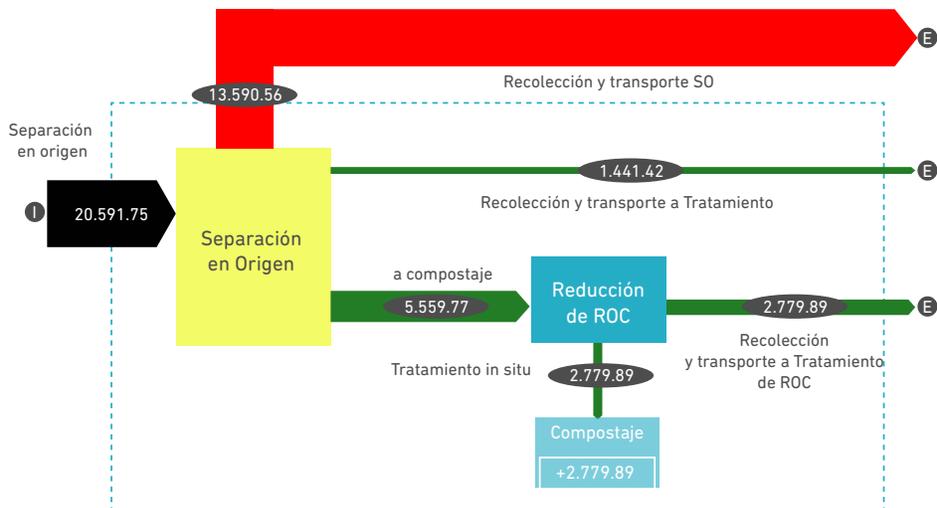
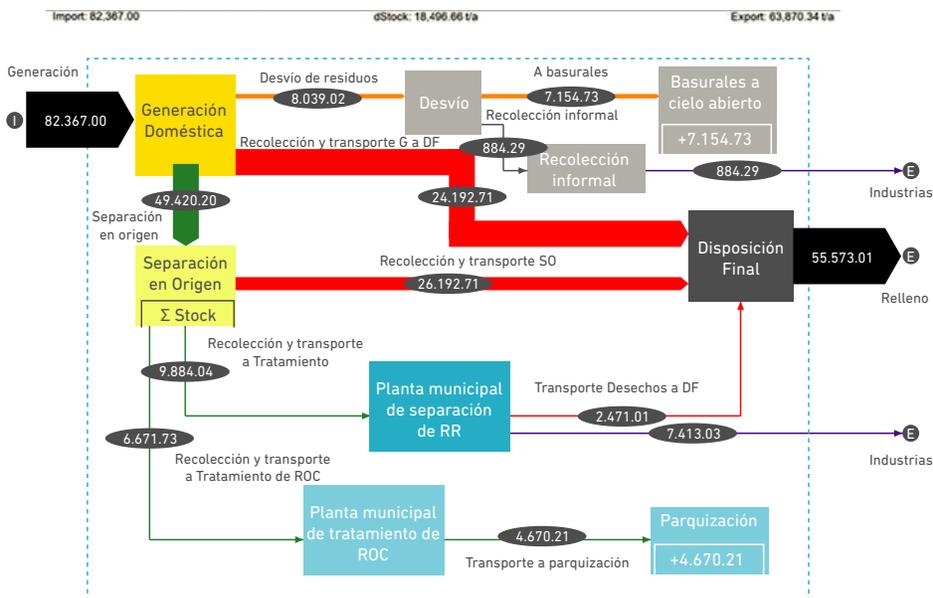


Figura 11. Subsistema 1B. Compostaje in situ (75 % de eficacia).

4.3.2. Escenario 2

Se amplía el porcentaje de participación del programa de separación en un 40 % y en un 60 %, aumentando el compostaje *in situ* de la fracción orgánica y de la fracción de RR separados en origen. A modo ilustrativo, en las figuras 12 y 13 se presentan los resultados para el escenario 2B.

Figura 12. Escenario 2B con ampliación del 60 % de separación en origen.



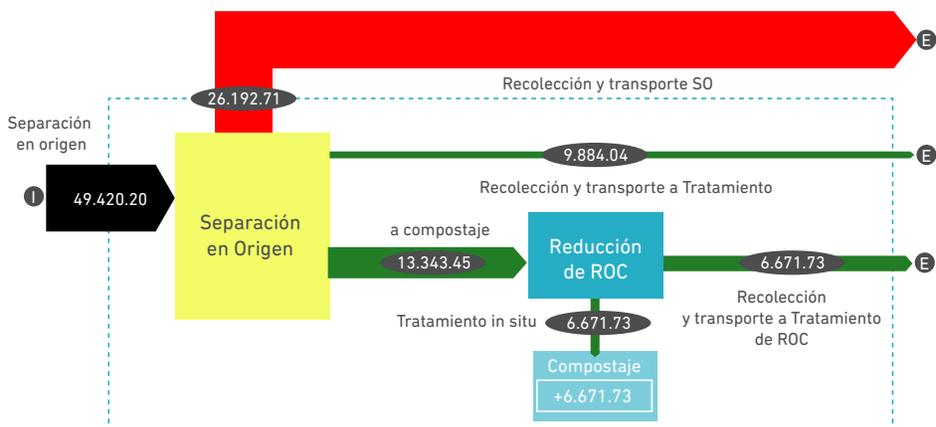


Figura 13. Subsistema 2B. Separación en origen (ampliación del 60 %).

4.4. Evaluación comparada de los escenarios

4.4.1. Recuperación de RR y producción de compost

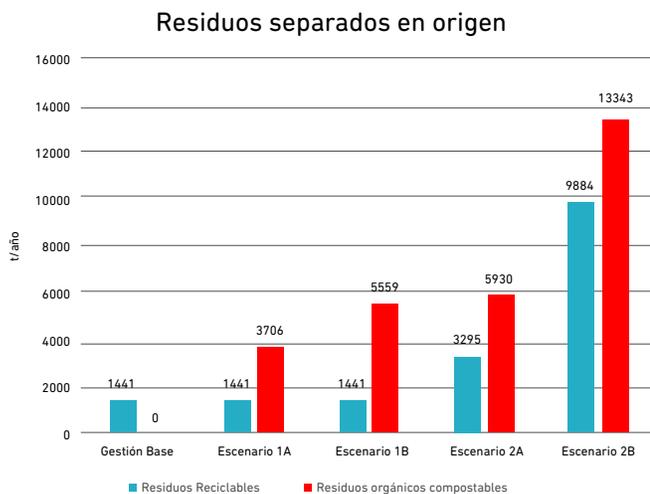
En la Tabla 2 se muestran los porcentajes de recuperación de RR y de ROC con respecto al total de residuos generados de acuerdo a la gestión base y a cada escenario. Los escenarios 1A y 1B fueron evaluados con base en el 25 % de residuos separados en origen, mientras que el escenario 2A a un 40 % y el escenario 2B a un 60 %.

Tabla 2: Porcentajes de recuperación de residuos RR y de ROC.

Fracción de RSU	Gestión base	Escenarios			
		1A	1B	2A	2B
RR (%)	1.75	1.75	1.75	4.00	12.00
ROC in situ (%)	0.00	4.50	6.25	7.20	16.20

Figura 14: Toneladas de residuos separadas en origen.

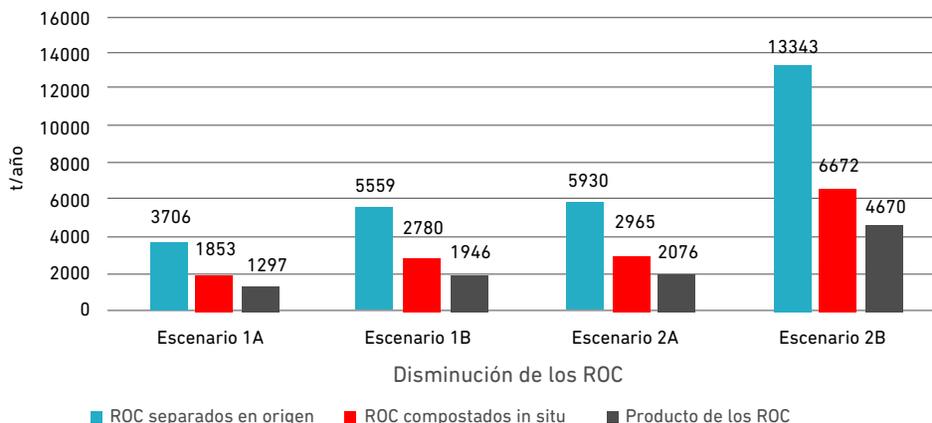
En la Figura 14 se muestran las toneladas de residuos correspondientes a cada escenario de acuerdo a los porcentajes presentados en la Tabla 2.



En la Figura 15 se puede observar la disminución de los ROC una vez que fueron tratados mediante compostaje *in situ* y luego estabilizados en la planta de tratamiento. Valores que muestran una recuperación de materiales en el sistema, es decir, residuos que son utilizados como productos.

Figura 15. Disminución de los ROC.

Tratamiento de los ROC

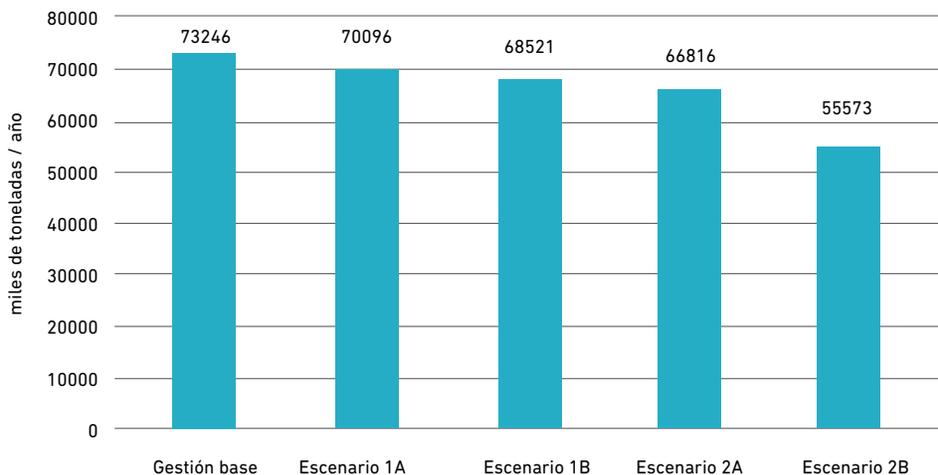


4.4.2. Disposición final en relleno sanitario

La Figura 16 presenta las variaciones de cantidad de residuos dispuestos en relleno sanitario para cada escenario. Al aumentar la cantidad de residuos RR recuperados y ROC compostados, disminuye la cantidad a disponer en relleno sanitario.

Figura 16. Disposición final en relleno sanitario de cada MFA.

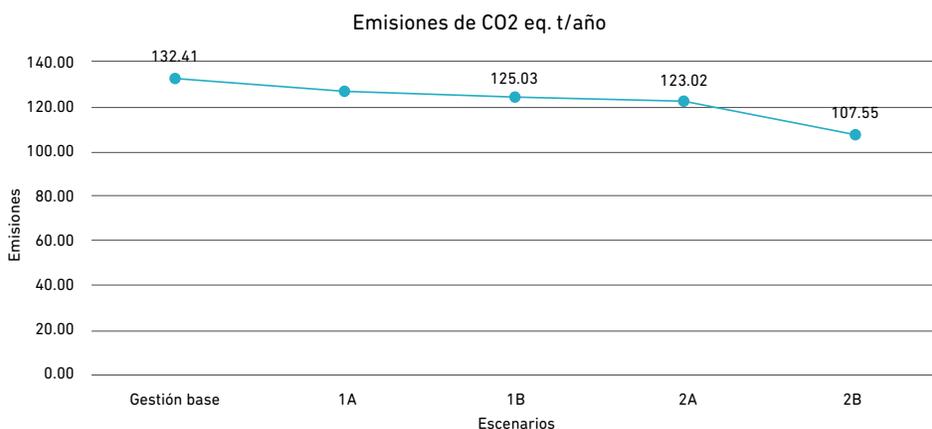
Relleno Sanitario



4.4.3. Emisiones de CO₂

En la Figura 17 se puede observar la disminución de los valores de emisión de CO₂ conforme se incrementa el compostaje *in situ* de ROC debido a la disminución de la distancia recorrida por los camiones recolectores (Tabla 3).

Figura 17. Emisiones de CO₂ eq. t/año.



Indicadores		Gestión base	Escenarios			
			1A	1B	2A	2B
RSU Dispuestos en RS (t/año)		73.246	70.096	68.521	66.816	55.573
RR Separados en origen (t/año)		1.441	1.441	1.441	3.295	9.884
ROC compostados in situ (t/año)		0	1.853	2.780	2.965	6.672
Recolección y Transporte	Promedio de distancia recorrida (km/año)	245.332	236.355	231.661	227.943	199.280
	Emisiones de t CO ₂ eq/año	132	128	125	123	107
	Combustible utilizado (l/año)	414.079	398.926	391.004	384.730	336.351

Tabla 3: Indicadores analizados.

4.4.4. Consumo de combustible

En la Tabla 3 se presentaron los resultados del cálculo del escenario base y los escenarios alternativos para el consumo de combustible. Se puede observar una disminución de la distancia recorrida con la incorporación del compostaje debido a que el volumen y peso de ROC a transportar disminuye al ser tratados *in situ*, esto implica un ahorro de combustible del 9 % entre el escenario base y el escenario 2B.

5. Discusión y conclusiones

El proceso de separación en origen del escenario base, muestra que, si bien se toma en cuenta al 25 % de población que participa del programa "Malvinas Recicla", la fracción de residuos que son separados en origen

es solo de un 7 %, indicando que se puede mejorar. Asimismo, la planta municipal de separación de residuos reciclables (RR) muestra tener una buena eficiencia, ya que el 75 % de los RR que ingresa es material que luego forma parte del circuito regional de reciclado.

La disminución de residuos de la fracción orgánica, mediante el tratamiento *in situ* y luego la estabilización en la planta de tratamiento, lleva a recuperar materia orgánica como producto para la parquización del municipio. Asimismo, los residuos que son separados en origen impactan directamente en el proceso de disposición final, ya que disminuye la cantidad de residuos depositados en relleno sanitario prolongando su vida útil. Al modificar las toneladas de residuos a ser llevados a disposición final, disminuyen las distancias recorridas por los camiones recolectores, lo que muestra impactos ambientales positivos al disminuir las emisiones de CO₂, con un porcentaje de reducción que va desde un 4 % en el escenario 1A hasta un 19 % en el escenario 2B en comparación con la gestión base.

Como conclusión general, la evaluación de los escenarios demuestra que el efecto combinado de promover el compostaje doméstico *in situ* de los desechos orgánicos y optimizar la separación de los residuos reciclables, impacta positivamente en el ambiente tanto en la vida útil del relleno sanitario como en la disminución de emisiones de CO₂ y el ahorro de combustible.

6. Consideraciones finales

Los resultados obtenidos demuestran que, para tener un efecto positivo en la reducción de la distancia recorrida y, por ende, en las emisiones de efecto invernadero, debe gestionarse con eficiencia el servicio de recolección y transporte del compostaje doméstico. Como puede observarse en el mapa de recolección y transporte (Figura 5), este servicio no se encuentra concentrado en zonas, sino que es disperso, por lo que se podría mejorar la eficiencia de la recolección. Se debe tener en cuenta que, si se reducen los recorridos, la empresa de transporte contratada puede llegar a reducir su personal generando un impacto social negativo. Al mismo tiempo, en caso de incluir al compostaje en la gestión,

se requeriría personal para la promoción y para las operaciones en las plantas de tratamiento.

Otro factor importante a considerar, relacionado al flujo de recolección y transporte, es la disminución en gastos en servicio por menor recorrido, ya que disminuye la cantidad de combustible utilizado.

Para futuros estudios, un análisis posible sería realizar el cálculo de emisiones de metano (CH_4) en relleno sanitario y el cálculo de absorción de carbono del proceso de compostaje de los residuos orgánicos. De este modo, se podrá comparar el impacto total de la disminución de emisiones de Gases de Efecto Invernadero en todo el sistema de gestión de residuos. La población tiene que identificar su papel respecto de la sustentabilidad de la gestión de residuos y, a partir de esto, visualizar los beneficios de ser partícipe en programas de recuperación y reciclado. El municipio de Malvinas Argentinas cuenta con un programa de educación ambiental en el que se pueden incluir talleres sobre el tratamiento de compostaje *in situ* para evidenciar sus beneficios.

Por último, si bien el estudio se aplicó al municipio de Malvinas Argentinas en un periodo específico, la metodología utilizada evidencia potencial para evaluar alternativas de gestión de los residuos orgánicos en el resto de los municipios de la región a mediano y largo plazo. ●

Referencias

- Alsina, G. y Borello, J. (Coord.). (2007). *Diagnóstico ambiental del Partido de Malvinas Argentinas*. Los Polvorines: Ediciones UNGS. Recuperado de <https://ediciones.ungs.edu.ar/wp-content/uploads/2017/05/Malvinas-Argentinas-2004.pdf>
- Boletín 164. (2008). *Ordenanza 1054-08*. Legislación Municipal. Recuperado de <http://www.malvinasargentinas.gob.ar/apps/legislacion/seccion-norma.php>
- Boletín 183. (2010). *Decreto 2216/10*. Legislación Municipal. Recuperado de <http://www.malvinasargentinas.gob.ar/apps/legislacion/seccion-norma.php>
- Brunner, P. y Rechberger, H. (2003). *Practical Handbook of Material Flow Analysis*. Londres: Lewis Publishers.
- Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE). (2019). *Cómputos CEAMSE*. Recuperado de <https://www.ceamse.gov.ar/estadisticas/>
- Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires. (FIUBA). (2011). *Estudio de calidad de los residuos sólidos urbanos del área metropolitana de Buenos Aires. Tercer informe de avance*. Recuperado de <https://www.ceamse.gov.ar/wp-content/uploads/2012/06/Tercer-Informe-ECRSU-AMBA.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina (INDEC). (2010). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010*. Recuperado de <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-135>
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). (2012). *Proyecto de compostaje domiciliario. Un repaso de la generación de los RSU, y en particular de los RSOD y sus posibles modos de gestionarlos*. Recuperado de <http://reciclario.com.ar/wp-content/uploads/rsod.pdf>
- Ley 13.592. (2006). *Gestión integral de los residuos sólidos urbanos*. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/normativa/provincial/ley-13592-123456789-0abc-defg-295-3100bvorpyel>
- Ley 25.916. (2004). *Residuos Domiciliarios*. Recuperado de <https://argentinambiental.com/legislacion/nacional/ley-25916-residuos-domiciliarios/>
- Malvinas Argentinas. (2018). *Malvinas Limpia propone un municipio libre de residuos*. Recuperado de <http://www.malvinasargentinas.gob.ar/web/blog/malvinas-limpia-propone-un-municipio-libre-de-resi/>
- Medio Ambiente. Malvinas. (2010). *Medio Ambiente. Municipio de Malvinas Argentinas*. Recuperado de <http://www.malvinasargentinas.gob.ar/web/page/medio-ambiente/>

- Ministerio de Agroindustria. (2018). *Manual de Aplicación de la Huella de Carbono*. Recuperado de https://www.gba.gov.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Manual_aplicacion_Huella_de_Carbono.pdf
- Observatorio Nacional para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos. (2012). Datos estadísticos de Buenos Aires. Recuperado de <http://observatoriorsu.ambiente.gob.ar/104.pdf>.
- Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS). (2018). *Campaña de educación ambiental*. Recuperado de <http://www.opds.gba.gov.ar/imagenes/ea/PPT%203R%20-%20eficiencia%20energetica%202018.pdf>
- Schamber P. y Suárez F. (Comp.). (2011). *Recicloscopio III. Miradas sobre recuperadores urbanos, formas organizativas y circuitos de valorización de residuos en América Latina*. Buenos Aires: Ediciones CICCUS; Universidad Nacional de Lanús; Universidad Nacional de General Sarmiento.
- Silbert Voldman, V. y Olivia, A. (2018). Manual de buenas prácticas para producir compost hogareños. Recuperado de <https://ambiente.cordoba.gov.ar/wp-content/uploads/sites/20/2018/10/manual-compost.pdf>
- Toledo, V. M. (2008). Metabolismos rurales: Hacia una teoría económico-ecológica de la apropiación de la naturaleza. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 7, 1-26.
- Vienna University of Technology. (2012). *Stan2web User Manual*. TU Wien, Institute for Water Quality, Resource and Waste Management. Recuperado de <http://www.stan2web.net/>