

DIAGNÓSTICO DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. TANDIL, ARGENTINA.

SOSA, BEATRIZ S.¹; MEZZADRA, MARIANO²; BANDA NORIEGA, ROXANA B.³; VILLALBA, LUCIANO³ Y CISNEROS BASUALDO, NICOLÁS E³.

1: Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales –CONICET
Facultad de Ciencias Humanas – UNCPBA. Campus Universitario.
beatrizsosa33@gmail.com

2: Facultad de Ciencias Humanas -UNCPBA
nanomezzadra@hotmail.com

3: Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales- CICPBA
Facultad de Ciencias Humanas –UNCPBA. Campus Universitario
rbanor@gmail.com, lucianovillalba@gmail.com, cnicolaseloy@gmail.com

Resumen. *Las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) producidas por el sector de manejo de residuos en países en desarrollo y economías emergentes son altamente relevantes, en particular por el alto porcentaje de componentes biodegradables contenidos en los flujos de residuos. Este estudio pretende conocer las emisiones locales asociadas a las diferentes etapas que buscan la Gestión Integral de Residuos (GIRSU) en Tandil, Provincia de Buenos Aires. El objetivo principal fue realizar un diagnóstico de las emisiones de GEI, con el propósito de que esta información permita generar propuestas de GIRSU, y de esta forma generar aportes a los esfuerzos locales de mitigación de GEI. El estudio se desarrolló durante el año 2016 en el marco del Proyecto “Análisis de las oportunidades de desarrollo del Cooperativismo y de la Economía social solidaria en el marco de la gestión de Residuos Sólidos urbanos de la ciudad de Tandil”. Se realizaron las estimaciones aplicando la Herramienta de Cálculo de GEI para el Manejo de Residuos Sólidos (MRS); y, la metodología del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático 2006, para la estimación de emisiones correspondientes al servicio de recolección. Los resultados presentan las emisiones del Status Quo 2016.*

Palabras clave: GIRSU, GEI, Inventario de emisiones.

1. INTRODUCCIÓN

Las emisiones de GEI producidas por el sector de manejo de residuos en países en desarrollo y economías emergentes son altamente relevantes, en particular por el alto porcentaje de componentes biodegradables contenidos en los flujos de residuos [1] [2]. De acuerdo con la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático (2015) [3], el sector Residuos tuvo un fuerte crecimiento anual promedio (2,76%) para el periodo 1990-2012, que se suma a la tendencia de aumento en las emisiones que mostraron todos los sectores para este periodo. La gestión actual de los Residuos Sólidos Urbanos en Argentina se reduce a la recolección

domiciliaria e higiene urbana, siendo la disposición final, en muchos casos, efectuada en basurales a cielo abierto con escasos controles ambientales y técnicos [4]. Por otro lado, en términos de emisiones antropogénicas, aproximadamente del 10 al 23 % del CH₄ global generado y liberado a la atmósfera, es producto de la descomposición anaeróbica de los residuos depositados en rellenos sanitarios [5]. Si bien el sector Residuos se posiciona dentro de los más bajos en cuanto a su aporte a las emisiones de GEI totales, las emisiones generadas por el sector Residuos en Argentina se incrementaron un 266% entre los años 1990 y 2008, correspondiendo el mayor incremento al período comprendido entre los años 2000 y 2006. El subsector que presentó el mayor incremento durante todo el período fue el de los Residuos Sólidos Urbanos (365%) y más de la mitad de este incremento se registró entre los años 2000 y 2008 [4]. El sector de manejo de los residuos contribuye al efecto invernadero antropogénico, principalmente a través de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) [2].

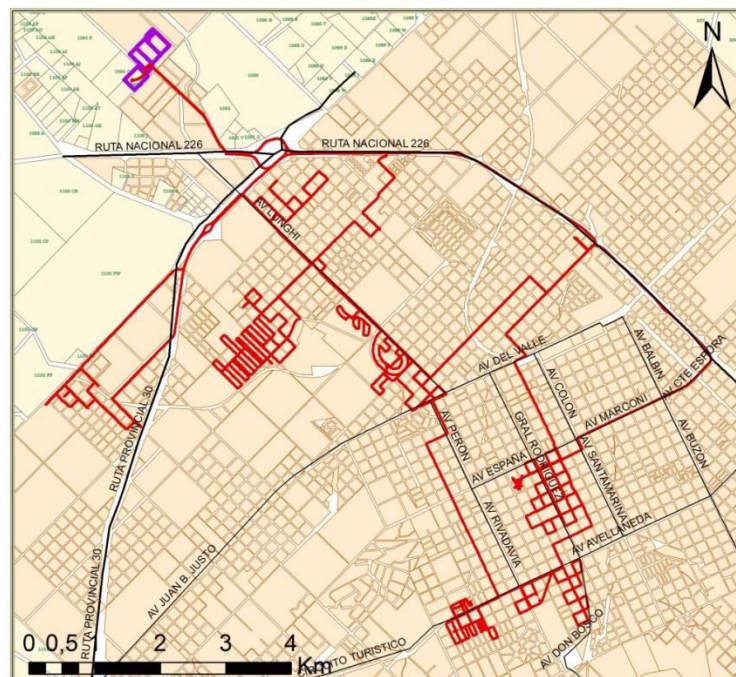
El presente trabajo tiene por objetivo conocer las emisiones locales asociadas a las diferentes etapas de la gestión de residuos domiciliarios en Tandil, Provincia de Buenos Aires con el propósito de que esta información permita generar propuestas de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), y de esta forma generar aportes a los esfuerzos locales de mitigación de GEI. Es importante mencionar en este contexto, que el Municipio de Tandil estableció recientemente (año 2016) su compromiso para el cálculo de las emisiones de GEI locales mediante la firma de un Convenio con la Red Argentina de Municipios Frente al Cambio Climático. A su vez, el estudio aquí propuesto, es eje de trabajo de un proyecto mayor desarrollado durante el año 2016 denominado *Análisis de las oportunidades de desarrollo del Cooperativismo y de la Economía social solidaria en el marco de la gestión de Residuos Sólidos Urbanos de la ciudad de Tandil* (Res. SPU N°1615/15) que pretende analizar tanto la realidad actual del sistema de gestión de los RSU como su evolución reciente y los distintos escenarios que sean plausibles de concretarse en un futuro cercano, teniendo en cuenta variables económicas, ambientales y sociales, y evaluando puntualmente el potencial de participación de Cooperativas y actores de la Economía Social en los mismos. Como sucede en la mayoría de las ciudades del mundo [6], y como se anticipa también para las ciudades de Argentina, el principio rector de la política municipal en gestión de RSU en Tandil ha sido el de la higiene urbana: recolectar y disponer de manera segura la casi totalidad de los residuos generados en la ciudad en el relleno sanitario.

2. CONDICIONES DEL ÁREA DE ESTUDIO.

La ciudad de Tandil es un emplazamiento urbano en crecimiento, con histórica actividad industrial dentro de su casco urbano que ha permitido el desarrollo local, y un importante parque automotor en comparación al tamaño de su población. Con 123.871 habitantes (partido) [7] y un área urbana aproximada de 50 km² se emplaza en el sistema serrano de Tandilia que atraviesa el partido en sentido NO-SE, y significa un atractivo turístico para la ciudad. Actualmente la recolección de RSU, contempla una superficie de 47 km² donde se pueden distinguir dos circuitos en relación a los RSU, el de recolección y disposición final de residuos a cargo del Municipio; y el de recuperación para valorización de los materiales

reciclables por cartoneros, o por instituciones con fines benéficos [8]. El Municipio de Tandil a través de la Secretaria de Planeamiento y Obras Públicas, ha desarrollado programas que llevan a cabo la Dirección de Medio Ambiente, La Dirección General de Servicios y la Dirección de Vialidad y que buscan no sólo ir en pos del cumplimiento de la Ley sino además generar un real cambio de hábito en la población de Tandil. Desde hace dos años se vienen desarrollando los Puntos Limpios, espacios donde los ciudadanos pueden llevar aquellos residuos que son rápidamente comercializables y hacerlo en forma limpia y separada. Además, los residuos de estos Puntos Limpios son aprovechados por diferentes instituciones benéficas que hacen del residuo un recurso muy valioso para el desarrollo de sus actividades [9].

La disposición final de los residuos se realiza en el predio del relleno sanitario que se encuentra emplazado en el sector NO, a tan solo 15 Km del centro de la ciudad y cuyas principales vías de acceso son las rutas Nacional N° 226 y Provincial N° 30. La Figura 1 presenta la ubicación del relleno sanitario y un ejemplo de circuito de recolección para un camión en una jornada de trabajo.



Leyenda

Relleno Sanitario Tandil
 — Recorrido camión recolector

Figura 1. Ejemplo de jornada laboral de un camión recolector y ubicación del Relleno Sanitario, Tandil.

Los RSU tratados en el relleno sanitario, son en su mayoría residuos de origen domiciliarios, aunque también se admiten de jardín, de podas de espacios públicos, de demolición (emisores privados) y otros tipos de residuos que no estén contemplados como residuos patológicos,

peligrosos y/o especiales en la legislación vigente (Ley 24051 Nación Argentina y Ley 11720 prov. Bs. As) de origen industrial y hospitalarios. Esta tecnología implica la realización de una excavación, la compactación del terreno, la colocación de la geomembrana que impermeabiliza el suelo e impide que los contaminantes se infiltren al acuífero, la colocación de los caños colectores de los líquidos lixiviados que generan los residuos para su tratamiento y otras estructuras de escurrimiento, cobertura de los residuos con tosca y tierra para su parquización futura y el venteo de gases. Las tareas consisten en la construcción de celdas mediante la excavación y la colocación de una membrana impermeabilizante de unos 140 metros por 50 metros, junto a trabajos propios de este sistema de disposición de residuos.

En el relleno sanitario se vierten los RSU de la ciudad de Tandil, Vela y Gardey. La recolección tiene frecuencia diaria (lunes a viernes), para la mayor parte de los sectores de la ciudad, con servicios de recolección para algunos sectores los días sábados. El número de viajes diario al relleno es mayor los días lunes (44), y decrece a lo largo de la semana (33 los viernes) debido a la acumulación de estos durante el fin de semana. El servicio de recolección se realiza en gran medida con camiones compactadores, participando en los recorridos diarios -en su máxima expresión- unos 19 vehículos.

3. METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE GEI PARA EL SERVICIO DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS.

Para el cálculo de las emisiones de GEI de los RSU en Tandil se consideró el periodo correspondiente a los meses enero-diciembre de 2016. Los cálculos se efectuaron a partir de dos metodologías: a. estimación de la emisión correspondiente al servicio de transporte de recolección de RSU, b. estimación de la emisión correspondiente a la gestión y disposición final de RSU.

3.1 Transporte de Residuos: Emisiones a partir de Metodología Top-Down.

Las emisiones de GEI se calcularon como la sumatoria de las emisiones correspondientes al consumo por tipo de combustible (*diesel*) de toda la flota de vehículos del servicio de recolección de residuos correspondiente a la categoría 1A3biii (*Camiones para servicio pesado y autobuses*) según la división detallada correspondiente al sector transporte de las Directrices revisadas [10].

La metodología Top-Down -se basa en datos agregados, se alimenta de estadística ya elaborada- se corresponde con las ecuaciones de Nivel 1 y de Nivel 2 del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC). De acuerdo con éste, la emisión estimada a partir de km recorridos es un método adecuado para conocer emisiones de CH₄, y N₂O. Por otra parte, las emisiones de CO₂ deben estimarse a partir del combustible consumido que se considera igual al combustible vendido y asume que se quema todo el contenido de carbono. No obstante, dado que no se obtuvieron datos de cantidad de combustible utilizado para el servicio de recolección de residuos, se estimaron las emisiones de todos los contaminantes a partir del combustible consumido por km recorrido, asumiendo que se quema todo el carbono.

Estimación de contaminantes a partir del consumo de combustible:

En función de la información disponible (Tabla 1) se realizó la estimación de GEI a partir de los kilómetros recorridos/día -datos aportados por la Dirección de Servicios Municipales y Dirección de Ambiente- y por distancias medidas en campo a partir del dispositivo VAM (Monitor de Actividad Vehicular- GPS). Para el caso de Tandil, el consumo de combustible es aproximadamente de 30 litros cada 100 km, y considera el recorrido en su condición urbana con la dinámica propia de la recolección que implica varias paradas del camión por cuadra de servicio. Los datos de consumo fueron aportados por trabajadores locales, a partir de la observación directa durante la actividad de recolección. En este caso se aplicó el método de Nivel 1 donde cada contaminante se estima a partir de la ecuación:

$$\text{Emisión } X = \sum [\text{Combustible}_a \bullet EF_x] \quad (1)$$

Siendo:

-Emisión X: Emisiones del contaminante X (Kg).

-Combustible_a: combustible consumido (TJ)

-EF_x: Factor de Emisión (Kg/TJ).

-a: Tipo de combustible.

3.2 Manejo de Residuos. Estimación de emisiones mediante calculadora MRS-GEI.

El cálculo de las emisiones correspondientes al manejo de los residuos domiciliarios, se logró mediante la aplicación de la herramienta MRS-GEI [2] desarrollada por el Instituto IFEU que suma todas las emisiones de todos los residuos o de flujos de reciclaje (respectivamente) y calcula las emisiones totales de GEI en equivalentes de CO₂. Las emisiones obtenidas incluyen todas las futuras emisiones causadas por una determinada cantidad de residuos tratados. Esto significa que los residuos enviados y tratados en rellenos sanitarios incluyen las emisiones acumuladas generadas durante la degradación de residuos (correspondiente al enfoque de “Nivel 1” descrito en el IPCC). El método de cálculo de esta herramienta sigue, básicamente, el Análisis de Ciclo de Vida y sirve para la cuantificación y la comparación de las emisiones de gases de efecto invernadero de diferentes estrategias de manejo de residuos en una fase temprana en el proceso de decisión.

4. RESULTADOS

4.1 Emisión de GEI en el transporte de residuos domiciliarios: servicio de recolección.

El cálculo se realiza teniendo en cuenta un poder calorífico del combustible diesel (PCI) de 0,043TJ por m³ de combustible [10]; este factor es además tomado como parámetro general en el cálculo del Inventario de Gases de Efecto Invernadero para la Argentina, Sector Energía, año 2012. Como se mencionara en el apartado metodológico, el consumo de combustible de un camión de recolección de residuos es igual a 30 L/100km recorridos (ver Tabla 1).

La ecuación general para obtener los valores de toneladas de CO₂ anuales emitidos fue:

$$\text{Emisión } tCO_2 \text{ año} = \sum [\text{Combustible}_a (TJ) \bullet EF_{CO_2} (kg/TJ)_a] \bullet 365 \div 1000 \quad (2)$$

Similar procedimiento se aplicó para el cálculo de las emisiones correspondientes a N₂O, CH₄ (factores de emisión tomados de IPCC 2006), NO_x, CO, COVNM, y SO₂ (factores de emisión tomados de IPCC 1996). Los resultados para cada compuesto se pueden observar en la Tabla 2. El poder de calentamiento global del CO₂, CH₄ y N₂O para un año de servicio de recolección de residuos sólidos urbanos -siguiendo la metodología de Nivel 1 del IPCC 2006- en Tandil es de 1,644 tCO₂eq/a; en tanto que se emiten a la atmósfera local 5,087 t de NO_x, 4,579 t de CO, 1,017 t de COVNM y 0,184 t de SO₂.

Móvil	KRV/d	Litros de combustible consumidos	m ³ de combustible	Combustible consumido (TJ)
				PCI
		0,31/km	1000l=1m ³	Tj/m ³
				0,043
1	116,857	35,057	0,035	0,002
2	0,000	0,000	0,000	0,000
3	210,000	63,000	0,063	0,003
4	0,000	0,000	0,000	0,000
5	143,429	43,029	0,043	0,002
6	40,143	12,043	0,012	0,001
12	48,286	14,486	0,014	0,001
100	94,286	28,286	0,028	0,001
111	0,143	0,043	0,000	0,000
123	26,857	8,057	0,008	0,000
150	0,000	0,000	0,000	0,000
156	72,143	21,643	0,022	0,001
157	0,000	0,000	0,000	0,000
158	0,000	0,000	0,000	0,000
160	87,714	26,314	0,026	0,001
162	1,857	0,557	0,001	0,000
166	108,571	32,571	0,033	0,001
431	65,714	19,714	0,020	0,001
432	64,571	19,371	0,019	0,001

Tabla 1. Información sobre actividad de los camiones. Datos empleados para el cálculo de GEI.

Móvil	Factores de Emisión para Argentina - Inventario 2012
-------	--

	FE CO ₂	FE N ₂ O	FE CH ₄	FE NO _x a	FE CO _a	FE COVNM _a	FE SO ₂
	KgCO ₂ /Tj	KgN ₂ O/Tj	KgCH ₄ /Tj	kgNO _x /TJ	kgCO/TJ	kgCOVNM/TJ	kgSO ₂ /TJ
	74,1	0,6	3	1000	900	200	36,279
1	0,112	0,001	0,005	1,507	1,357	0,301	0,055
2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	0,201	0,002	0,008	2,709	2,438	0,542	0,098
4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	0,137	0,001	0,006	1,850	1,665	0,370	0,067
6	0,038	0,000	0,002	0,518	0,466	0,104	0,019
12	0,046	0,000	0,002	0,623	0,561	0,125	0,023
100	0,090	0,001	0,004	1,216	1,095	0,243	0,044
111	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,000
123	0,026	0,000	0,001	0,346	0,312	0,069	0,013
150	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
156	0,069	0,001	0,003	0,931	0,838	0,186	0,034
157	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
158	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
160	0,084	0,001	0,003	1,132	1,018	0,226	0,041
162	0,002	0,000	0,000	0,024	0,022	0,005	0,001
166	0,104	0,001	0,004	1,401	1,261	0,280	0,051
431	0,063	0,001	0,003	0,848	0,763	0,170	0,031
432	0,062	0,000	0,002	0,833	0,750	0,167	0,030
Total kgr/día	1,0329	0,0084	0,0418	13,939	12,545	2,788	0,506
Total Kg/a.	377,011	3,053	15,264	5087,871	4579,084	1017,574	184,583
Kg CO ₂ eq/a	377,011	946,344	320,536				

Tabla 2. Resultados de estimación de GEI para la actividad del servicio de recolección de RSU.

4.2 Emisiones de GEI estimadas para el manejo de RSU en Tandil.

Los cálculos de la calculadora MRS-GEI se basan en la cantidad total de residuos. Esto es necesario para evaluar posibles escenarios de manejo de los residuos adecuadamente. La cantidad total de residuos se define como la suma de los residuos que van a la disposición final y que son reciclados. El reciclaje incluye las actividades del sector informal. Si bien la herramienta permite definir escenarios futuros, los resultados se acotan a la determinación de las emisiones para el Status Quo en el año 2016 sobre la base de las características mencionadas para Tandil en el apartado 2, y con información obtenida del primer trabajo de campo de caracterización de residuos domiciliarios para la ciudad¹. Los cálculos se estiman

¹ Proyecto *Análisis de las oportunidades de desarrollo del Cooperativismo y de la Economía social solidaria en el marco de la gestión de Residuos Sólidos Urbanos de la ciudad de Tandil*. Resolución N° 77 Ministerio de

para la condición actual de manejo de residuos sin considerar la recuperación de los materiales en los Puntos Limpios, dado que se pretende conocer las emisiones en la gestión que históricamente se ha dado a los residuos en el partido de Tandil.

El resultado de las emisiones en tCO₂eq./a se obtuvo teniendo en cuenta: *a.* tipo de materiales que componen los residuos, *b.* el sistema de disposición final, y *c.* el tratamiento que se hace en su disposición final. Se ingresó una población para el partido de Tandil igual a 130.000 hab., dato correspondiente a estimación municipal para el año 2016.

Por otro lado, se consideró un contenido de agua alto en los residuos, mayor al 40%, para establecer qué porcentaje en la composición de los RSU tienen potencial para contribuir al cambio climático. Recuérdese que, de ser tratados mediante incineración, la fracción correspondiente al carbono fósil es la que aporta a esta problemática ya que el CO₂ procedente del carbono orgánico regenerativo y/o degradable (COD) es considerado como neutro para el clima porque se origina a partir de plantas que fijan el CO₂ atmosférico. La composición de los residuos, y el contenido de agua que se evaluó arrojaron un contenido de carbono fósil igual al 8%.

La Figura 2, muestra los valores conocidos para Tandil, en porcentajes de peso húmedo, y los compara con los valores por defecto que propone la herramienta MRS-GEI para las economías de bajos ingresos (EBI) y para economías de medianos ingresos (EMI).

En la Figura 3, se muestra la disposición final con barras de “cargos”, a las emisiones de GEI causadas por el reciclaje; y, con barras de “créditos”, a las emisiones de GEI ahorradas por el reciclaje. Sólo la opción de tratamiento de Relleno Sanitario contribuye a que los resultados tengan valores positivos en la primera barra (eliminación de residuos), sin ningún beneficio derivado de esta opción de tratamiento; por lo tanto, no se ven créditos o valores negativos resultando el valor neto igual al valor del relleno controlado. De este modo, la disposición final de residuos en Tandil genera un total de 25.772 tCO₂eq/a.

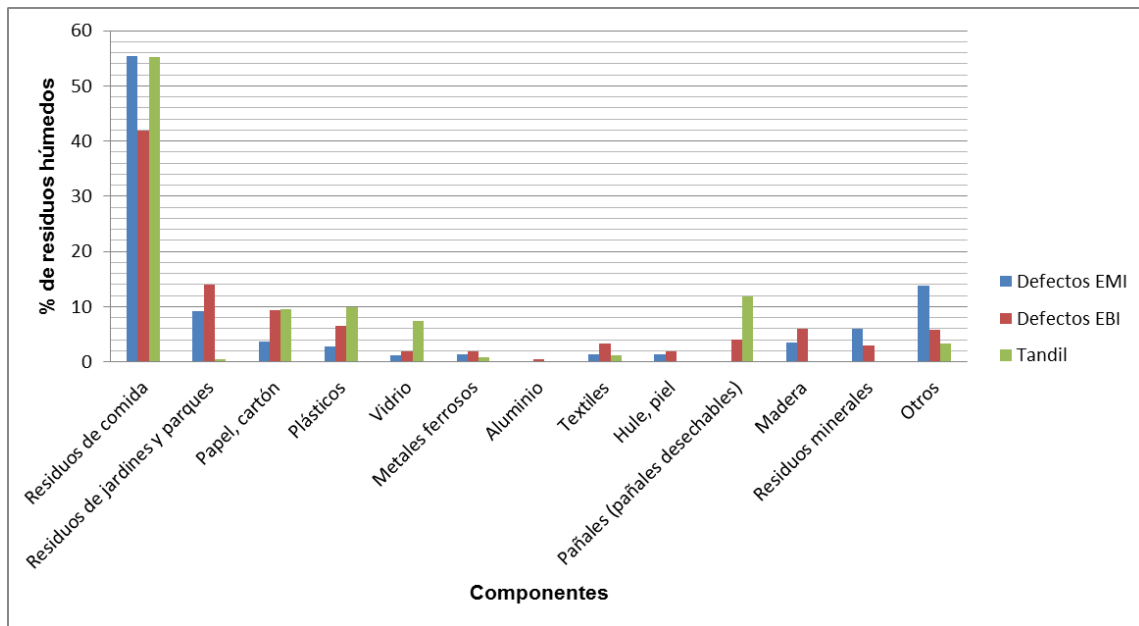


Figura 2. Comparación de la composición de RSU en Tandil con economías de medios y bajos ingresos.

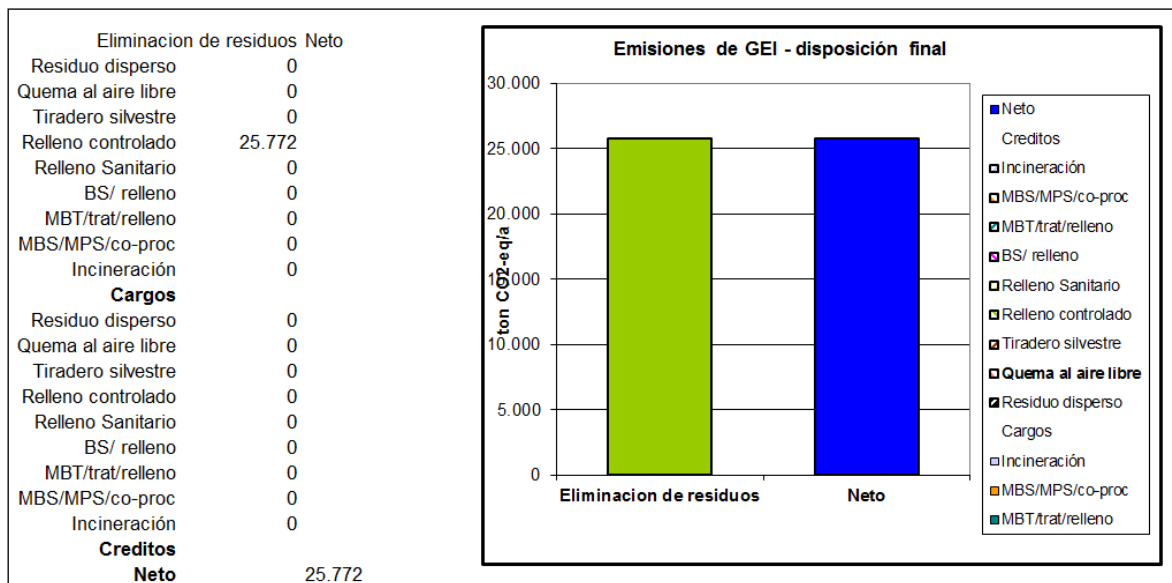


Figura 3. Status Quo. GEI en tCO₂eq./a. para el manejo de residuos en Tandil.

5. CONCLUSIONES

- La situación de Status Quo en Tandil para el año 2016 que contempla las emisiones de GEI derivadas del manejo de los residuos, más las emisiones de GEI generadas por el servicio de recolección, alcanzan un total de 25.773,644 tCO₂eq./a. El estudio permite establecer una primera aproximación de las emisiones de GEI generadas por la gestión

de RSU domiciliarios en el Municipio de Tandil. Utilizar dos metodologías para la estimación permite recoger la totalidad de las emisiones. El sólo uso de la herramienta MRS-GEI no hubiese bastado debido a que el objetivo de la herramienta es comparar el cambio en los valores netos por modificaciones en el sistema de gestión (créditos y cargos), donde las emisiones del servicio de recolección de residuos son similares quedando entonces fuera del cálculo. Si bien las emisiones correspondientes al transporte son despreciables al compararlas con las que resultan de la deposición en el relleno, es importante contar con toda la información cuando se trabaja con sistemas de gestión. En este sentido, cabe mencionar que recientemente se está comenzando a evaluar las contribuciones de contaminantes de vida media al Cambio Climático; emisiones de *black carbon*, no han sido estimadas en este trabajo, pero debido al combustible utilizado sería de interés incorporar este contaminante al análisis en trabajos futuros.

REFERENCIAS

- [1] Janssen, J. Estimación del Potencial de Mitigación en el Ámbito de GIRS en Costa Rica. 2011.
- [2] IFEU - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH. Jürgen Giegrich y Regine Vogt. Calculadora MRS-GEI. 2011.
- [3] SAyDS. Gobierno de la República Argentina. Tercera Comunicación del Gobierno de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Inventario de GEI de la República Argentina – Año 2012. Sector Residuos. 2015.
- [4] CEPAL. Emisiones de Gases de efecto invernadero y mitigación en el sector residuos. La economía del cambio climático en la Argentina. Serie Medio Ambiente N° 162. 2015.
- [5] M. D. Caprile. Impacto climático del uso de suelos destinados a relleno sanitario. Avances y estado de situación en análisis del ciclo de vida y huellas ambientales en Argentina. Actas del IV encuentro Argentino de ciclo de vida y III encuentro de la red Argentina de huella hídrica Enarciv. 2015.
- [6] UNHSP. United Nations Human Settlements Programme éd. Solid waste management in the world's cities: water and sanitation in the world's cities 2010, London ; Washington, DC: UN-HABITAT/Earthscan. 2010.
- [7] INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas. Cuadro P5-D. 2010.
- [8] Villalba, L.; Banda Noriega, R.; Donalasio, R.; Sosa, B.; Día, A. Indicadores de metabolismo urbano a la gestión de los RSU en la ciudad de Tandil, Prov. De Buenos Aires. 1^{as} Jornadas de Hábitat y Ambiente. FAUD – IHAM. Mar del Plata. 2016.
- [9] La Voz de Tandil. *Tandil no tiene basural, tiene uno de los mejores rellenos sanitarios de la provincia*. Diario la Voz de Tandil 4 de marzo de 2017.
- [10] PCC. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de GEI, Volumen 2, Energía. Capítulo 3, Combustión Móvil. 2006.