

## **HACIA UNA GESTION PLANIFICADA EN EL DEPARTAMENTO DE CACHI (SALTA): CARACTERIZACION DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS**

Villafañe, F.A., y Manrique, S.M.

Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional de Salta – Avda.

Bolivia 5150, A 4408 FVY Salta, Argentina

Tel.: 0387-4255533 – E-mail: [flo\\_a8@hotmail.com](mailto:flo_a8@hotmail.com)

*Recibido 13/08/18, aceptado 18/09/18*

**RESUMEN:** La regularización de la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) resulta fundamental a nivel mundial, ya que la gestión deficiente provoca efectos graves en la salud y el medio ambiente. La generación de datos confiables y sistemáticos es necesaria para proponer mejoras y facilitar la toma de decisiones en políticas ambientales. Por tanto, nuestro objetivo fue caracterizar los residuos que se generan en el departamento de Cachi, a fin de facilitar información de base que posibilite una adecuada planificación y gestión de los RSU. Mediante la aplicación de la metodología CEPIS (2005), se observó como resultado una clara predominancia de la fracción de orgánicos en relación al total de RSU (43% en promedio). La producción per cápita (ppc) para el municipio de Cachi fue de 0,21 kg/hab.día en la zona urbana residencial; 3,14 kg/hab.día para grandes generadores y de 0,15 kg/hab.día en la zona rural. En Payogasta se estimó un ppc de 0,7 kg/hab.día para zona urbana y de 0,55 kg/hab/día zona rural. Se estima el potencial energético de los RSU como uno de los beneficios de la implementación de una adecuada gestión en la zona, como así, el impacto ambiental derivado de la reducción de emisiones de gases efecto invernadero.

**Palabras clave:** Cachi y Payogasta, biogás, caracterización, residuos sólidos, engría térmica.

### **INTRODUCCIÓN**

En un principio, el hombre llevaba una vida integrada con los ciclos naturales del planeta, por lo tanto, podía consumir los recursos que ésta le brindaba sin alterarlos ni limitarlos; mientras que los desechos que se generaban eran de fácil asimilación por el sistema natural (MAyDS, 2016). Esto cambió radicalmente desde la revolución industrial y el desarrollo científico y tecnológico, cuando la generación de residuos incrementó de manera exponencial y se introdujeron sustancias de difícil degradación en el medio natural (UNPE, 2015). Los residuos y desechos producto de la actividad humana comenzaron a acumularse, causando graves problemas sobre la salud pública y el ambiente, propiciando el desarrollo de vectores transmisores de enfermedades y la contaminación de suelos, aire, cuerpos de agua y los organismos que los constituyen. Los suelos contaminados por las materias extrañas provenientes de residuos disminuyeron la probabilidad de ser utilizados con fines agropecuarios. La contaminación atmosférica no solo trajo consecuencias locales, sino también impactos de mayor alcance mediante la acumulación de gases efecto invernadero responsables del sobrecalentamiento global (Zapata, 2011).

Los países desarrollados llevan estadísticas detalladas de la cantidad y el tipo de residuos que generan. Se estima que países como Kuwait, Sri Lanka y algunos países de América anglosajona, están entre los de mayor tasa de producción per cápita (ppc) mundial (kg de RSU generado por habitante por unidad de tiempo), con un promedio de entre 5 y 6 kg por habitante por día. En el otro extremo, países de África, Asia y Latinoamérica, generan un promedio de 0,1 a 0,3 kg por habitante por día (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012). En Argentina, la generación de datos respecto a los residuos resulta casi inexistente, por lo que se realizan abstracciones e inferencias diversas (De Luca, 2015). Se ha estimado una ppc que varía de 0,85 a 1,036

kg/hab.día, según la ciudad considerada (SAyDS, 2005). Para la provincia de Salta, se ha estimado una ppc igual a 0,857 kg/hab.día (De Luca, 2015).

La información de base cuali-cuantitativa de generación de RSU en las diferentes localidades, se obtiene a partir de muestreos en terreno y caracterización de los residuos, a fin de determinar la producción per cápita y las fracciones que pueden ser valorizadas, ya sea para reciclar, reusar, recuperar y/o generar energía, como así también dimensionar cada etapa de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos (GiRSU). En un contexto actual de agotamiento de las fuentes fósiles de energía y con una oferta de recursos naturales definida por la capacidad planetaria de sustentarla, la introducción de gestiones integrales, que consideren desde la utilización de la materia prima hasta la reintroducción de los residuos generados en los ciclos productivos en nuevos ciclos de utilización, resultan esquemas de manejo y de pensamiento fundamentales. Es esencial cambiar el paradigma del concepto de residuo, por el de recurso y redirigir la actual gestión lineal a una gestión circular, en la cual se trabaje para disminuir los residuos antes de que se produzcan (UNPE, 2015).

En la provincia de Salta, en el año 2000, se sancionó la ley 7070 de Protección del Medio Ambiente, donde se determina la responsabilidad de los municipios de regular los residuos generados en el mismo (art.105). Más tarde, en el año 2010 se firmó el decreto 1365/10 con el fin de propiciar un eficiente tratamiento de RSU por medio del Plan Provincial de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (PPGIRSU), siguiendo la Estrategia Nacional de GIRSU. Dentro de la estrategia provincial de GIRSU, los municipios se agruparon en 14 regiones, aunque hoy solo existen 3 de manera formal. Una de ellas, la última en ser conformada, es el consorcio “Valles Calchaquíes 2”, constituido por los municipios de Cachi y Payogasta, según el Decreto 3282/15. La posibilidad de que este Consorcio avance en el desarrollo de propuestas exitosas para el manejo de los RSU en la región que abarca, depende de la existencia de una plataforma de datos e información que colecte los rasgos y características fundamentales de su población, sus recursos y su territorio. Como paso fundamental, la caracterización cuali - cuantitativa de los RSU no solo posibilitará diseñar estrategias de manejo y recolección a medida, sino también permitirá analizar diferentes opciones para la optimización de la actual gestión de los RSU en la zona. La generación de datos confiables y sistemáticos es necesaria para proponer mejoras y facilitar la toma de decisiones en políticas ambientales a partir de fundamentos sólidos. Por tanto, nuestro objetivo fue caracterizar los residuos que se generan en el departamento de Cachi, a fin de facilitar información de base (tipo, calidad, frecuencia y cantidad de residuos que se generan) que posibilite hacer las primeras estimaciones de las capacidades necesarias en los distintos equipamientos de la gestión de residuos, como así también proponer pautas para la toma de decisiones, dentro de un esquema de gestión integral de los RSU. Se estima asimismo el potencial energético de los residuos generados en la región, en vistas de incorporar dicho beneficio en un esquema de gestión integral y eficiente, que coadyuve simultáneamente a la reducción de las emisiones de gases efecto invernadero y minimización de impactos ambientales negativos en la zona.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### *Área de estudio*

El departamento de Cachi incluye dos municipios: Cachi y Payogasta (Latitud: 25° 5'20.10"S y Longitud: 66° 8'1.23"O). El clima es semiárido de altura y árido de sierras y bolsones, con precipitaciones estivales (163 mm anuales) y temperaturas que oscilan en verano entre los 20°C y 35°C y en invierno entre 5°C y 15°C. El suelo es de escaso desarrollo, con texturas desde arenosa hasta franco limosa (Zelarayán, 2015). Geomorfológicamente se caracteriza por ser un valle inter-montano elevado de orientación norte-sur por donde escurre el río Calchaquí. La vegetación de la región es representativa de las provincias fitogeográficas de Monte y Prepuna (Cabrera, 1994). La superficie del departamento de Cachi es de 2.925 km<sup>2</sup>. Cuenta con una población total de 7315 personas (INDEC, 2010).

### *Relevamiento de información de base*

Se trabajó con información recopilada desde diferentes fuentes:

- i) primarias: mediante la aplicación simultánea de las técnicas de observación participante, registro fotográfico y encuestas.
- ii) secundarias: revisión y análisis de documentos, registros de datos en bruto, informes y otros.

Se realizaron dos viajes a cada una de las localidades bajo estudio: la primera en la estación de otoño, donde se visitaron los sitios de disposición final, organismos municipales, establecimientos educativos, hospitales y comercios de ambos municipios. La segunda instancia se llevó a cabo en primavera, particularmente para recabar información que no se pudo obtener anteriormente. En el caso de las encuestas, se realizaron a una muestra de población estadísticamente seleccionada del sector urbano, representando a las categorías de: a) generadores domiciliarios y b) grandes generadores, según se detalla en el siguiente apartado. El sector rural fue asimismo encuestado, considerando un censo de toda la población existente. La encuesta consistió en el relevamiento de los siguientes aspectos:

Aspectos	Tipo de información
<b>Datos personales</b>	Ocupación, nivel educativo, cantidad de personas en la casa, ingresos familiares
<b>Sobre la vivienda</b>	Tipo de servicios y tipo de combustibles utilizados
	Gastos en servicios y combustibles
	Tipo y cantidad de artefactos eléctricos
<b>Sobre RSU</b>	Percepción sobre RSU (es un problema? Hay microbasurales?, está conforme con la gestión? Interés en separación domiciliaria, interés en capacitación ambiental)
	Tipo de manejo de RSU (disposición de RSU: lugar y formato, días de recolección, información sobre la gestión, manejo de residuos peligrosos, separación y manejo, actividad de reciclado).

*Tabla 1 Aspectos relevados mediante las encuestas aplicadas en el departamento de Cachi.*

#### *Caracterización de los RSU*

Se aplicó la metodología desarrollada por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (CEPIS, 2005) que es la que mejor se adapta a los países en desarrollo. Permite obtener la ppc, como así también las distintas fracciones que se generan en cada zona. Se aplicaron dos variantes de la metodología: a) "método en origen" en la zona urbana y b) "cuarteo en disposición final" en la zona rural. El detalle de cada método se explica a continuación.

- Método 1: En el ejido urbano

Debido al tamaño poblacional (mayor que en zona rural), se estratificó según la escala de generación. Las categorías consideradas son dos: a) generadores domiciliarios y b) grandes generadores (comercios, restaurantes, hoteles, hostales, etc.). Para los generadores domiciliarios, dada la imposibilidad de relevar el total de las viviendas, se seleccionó una muestra de la población, mediante la ecuación (1):

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 N \sigma^2}{(N-1)E^2 + Z_{1-\alpha/2}^2 \sigma^2} \quad (1)$$

Donde:

n = tamaño de la muestra (Nº de hogares en donde se realizará el muestreo),  $Z_{1-\alpha/2}$  = coeficiente de confianza = 1.96 para un nivel de confianza del 95%. N = total de viviendas en el municipio=765 viviendas,  $\sigma$  = desviación standard (kg/hab.día), E = error permisible=5%.

Se utilizó un desvío estándar de 0,15 (kg/hab.día), debido a que la zona urbana no muestra variación en cuanto al nivel económico y por lo tanto, en la generación de RSU, según lo que se observó en el lugar y lo confirmado por el personal del municipio. Tanto el valor del coeficiente de confianza como los errores permisibles fueron utilizados según lo sugerido por la metodología.

Resultaron 32 unidades muestrales (viviendas), número que se duplicó a fin de reducir el desvío. Se utilizó una población proyectada al año 2017 de la zona urbana (2.872 habitantes), a partir de las estadísticas de INDEC 2001 y 2010 y estimando la tasa de crecimiento poblacional. La selección de las 64 viviendas involucradas en el muestreo se realizó sobre un plano en forma aleatoria sin estratificar. En cada vivienda se entregaron dos bolsas de distintos colores (celeste y rojo), ambas con identificación correspondiente. La primera fue para los residuos secos, como: el cartón, el papel, las botellas plásticas, etc. Mientras que la segunda para residuos húmedos, donde se incluyen sanitarios y orgánicos entre otros. Se dieron todas las instrucciones y capacitaciones necesarias a las familias, lo que facilitó la correcta participación de la gente. La recolección de las bolsas repartidas, se realizó siguiendo el recorrido y con la misma frecuencia del servicio de recolección en el municipio (lunes, miércoles y viernes). La recolección se realizó con un vehículo municipal. Asimismo, en cada hogar se aplicó la encuesta previamente mencionada.

- Método 2: En el sector rural

Se aplicó el método de “cuarteo en disposición final” y se ejecutó sobre el total de la población de los parajes, ya que el tamaño poblacional así lo permitía., el resultado es una muestra del total de RSU generado por los mismos. Aplicar el “método en origen” en la zona rural, resultaba poco conveniente, debido a que tanto las viviendas como los parajes se encuentran muy alejados unos de otros, lo que implica un costo adicional en combustible, tanto para la distribución de las bolsas como para su recolección. Aplicando esta otra variante, se pudieron distribuir de manera eficiente los limitados recursos destinados por el municipio hacia el presente estudio.

Se calculó una muestra exclusivamente para la aplicación de las encuestas, tomando los mismos valores que para la zona urbana, pero a diferencia de aquella, aquí se utilizó el número total de habitantes como el tamaño de la población (N), 1644 para el año 2017. Los RSU generados por los habitantes se recolectaron en bolsas como muestras simples, que luego se combinaron para formar una única muestra compuesta. Una vez recogidas las bolsas, se rompieron sobre un plástico grande, y se mezclaron los residuos utilizando una pala. Después de dicha mezcla, se procedió a realizar un muestreo por cuarteo, seleccionando dos cuartos opuestos del montículo. La muestra menor se volvió a mezclar y se dividió en 4 partes nuevamente, hasta obtener una muestra de 50 kg de residuos o menos.

#### *Procesamiento de muestras*

- Caracterización física

Se estimó la densidad o peso específico ( $\text{kg/m}^3$ ) de los RSU, utilizando un recipiente de volumen conocido, relleno con residuos. Se pesó el recipiente, luego se descontó el mismo del peso de los residuos. Se obtuvo, de esta manera, los datos para cálculo de la densidad (2).

$$\text{Densidad (D)} = \frac{(\text{Peso del residuo (kg)})}{(\text{volumen del residuo (m}^3\text{)})} \quad (2)$$

- Cuantificación de los RSU

$$\text{Producción per cápita (PPC)} = \frac{(\text{Peso total de residuos (kg)})}{(\text{total de personas o generadore s})} \quad (3)$$

$$\text{Producción media diaria} = \text{PPC} * \text{número de habitantes de la zona} \quad (4)$$

Se eliminaron los valores por debajo del percentil 5% y por encima del 95% a fin de evitar el sobredimensionamiento, ya que los valores presentaron cierta variación (Research and Education Association, 1978). Para el municipio de Payogasta, se recurrió a información existente sobre la caracterización de RSU (Cabral, 2016), generada a partir de la metodología de cuarteo tanto en Finca Palermo como en Payogasta. Además, se complementó dicha información mediante la realización de idénticas encuestas a las ya realizadas en el municipio de Cachi.

- Caracterización macroscópica

La muestra de residuos de ambos municipios, tanto de parajes como de la zona urbana, se pesaron y separaron en el mismo sitio de disposición final. Luego se clasificaron según:

Fracciones	Subfracciones
Aprovechables	PET (botellas de bebidas), bolsas plásticas, plásticos blandos, plásticos duros, papel-cartón, tetrabrik, vidrio, etc.
Peligrosos	pañales, apósitos, aerosoles, pilas, aceites, desechos de animales.
Orgánicas	Restos de comida, podas de jardín, hojas
Otros	Neumáticos, gomas, maderas y escombros, etc.

Tabla 2 Fracciones de RSU de la caracterización macroscópica

#### Estimación del potencial energético disponible

Para poder estimar el potencial energético, se asumió que una correcta gestión para la zona podría incluir la disposición final de los RSU en un relleno sanitario (RS), a partir de la transformación de la fracción orgánica de RSU, mediante procesos de digestión anaeróbica. Esta alternativa constituye una opción común para recuperar una fracción de la energía contenida en la masa residual. La digestión consiste en una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases llamada biogás (principalmente CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>) o gas de vertedero (landfill gas, LFG) y a una suspensión acuosa o “lodo” que contiene los componentes difíciles de degradar y los minerales presentes inicialmente en la biomasa. El biogás podría ser utilizado para generar energía térmica, eléctrica o ambas. De esta manera se podría recuperar el gas de vertedero disminuyendo las emisiones de CH<sub>4</sub> hacia la atmósfera. Las estimaciones se realizaron haciendo una proyección a 20 años, plazo medio estimado para la vida útil de un relleno sanitario.

Se consideró que del total de RSU estimado para el departamento, solo el 80% es material que llegará al relleno, el resto forma parte de la fracción aprovechable. Se utilizó la metodología del IPCC (2006), para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub> provenientes de la descomposición de los residuos en sitios de disposición final. Este método se basa en una ecuación cinética de primer orden (FOD). La metodología define 3 niveles de aplicación, según el detalle de los datos con los que se cuenta. Para el nivel 1, las Directrices del IPCC, proporcionan un modelo Excel, el cual facilita, según el país y región, datos de la actividad y parámetros por defecto. Al no poseer datos de mediciones ni estadísticas de las emisiones de CH<sub>4</sub> a nivel nacional, provincial ni mucho menos locales, se utilizaron datos y parámetros por defecto propuesto por la metodología según las características climáticas de la región (nivel 1), ya que las tasas de descomposición son diferentes. La zona climática que más se ajustaba a la región de los Valles Calchaquíes, fue la del clima seco. La cantidad de metano emitido, en un año específico se estima asumiendo que, del total de metano generado, una parte se oxida en la cubierta de los rellenos sanitarios o se recupera para la generación de energía o su quema en antorcha (5):

$$\text{CH}_4 \text{ emitido en el año } T(\text{Gg/año}) = (\sum \text{CH}_4 \text{ generado } ((x, T) - R)) * (1 - \text{OX}(T)) \quad (5)$$

Donde: T es el año del inventario; x es la categoría o tipo de desecho y/o material; R es el metano recuperado durante el año T; OX factor de oxidación durante el año T. Luego, para estimar la cantidad de CH<sub>4</sub> que se forma a partir del material que puede descomponerse, se multiplica la fracción de CH<sub>4</sub> contenida en el gas de vertedero generado por el cociente de pesos moleculares CH<sub>4</sub>/C (16/12) (Ec 6).

$$\text{CH}_4 \text{ generado } (T) = \text{DDOCm descomp } (T) * F * 16/12 \quad (6)$$

Donde DDOCm descomp, es la cantidad de carbono orgánico degradable que se descompone ese año y F, es la fracción de CH<sub>4</sub> en el gas de vertedero generado, y donde DDOCmd es la masa del carbono orgánico degradable disuelto –DDOC- dada en Gg; W es la masa de los

desechos depositados; DOC es el carbono orgánico degradable durante el año de deposición; DOCf fracción del DDOC que se puede descomponer; MCF es el factor de corrección de CH<sub>4</sub> para la descomposición aeróbica durante el año de descomposición (7)

$$DDOC_{md} = w(t) \times DOC \times DOCf \times MCF \quad (7)$$

Se realizaron dos tipos de estimaciones energéticas:

- i) el máximo potencial de energía térmica que podría obtenerse a partir del biogás generado,
- ii) y el máximo potencial de energía eléctrica que podría obtenerse si se empleara la energía del biogás para este fin.

En el primer caso, fue necesario obtener la cantidad de biogás recuperado ( $\eta$ ) desde el RS, se consideró una eficiencia de captura del 70%, valor utilizado en el trabajo de Quilez et al. (2013). Por lo que la energía potencial del metano se estimaría como:

$$\text{Energía potencial del CH}_4 \text{ (Gcal/t)} = \sum(\text{CH}_4/\text{año}) \times \text{PCI}_{\text{CH}_4} \times \% \text{ valorización} \quad (8)$$

Donde: PCI: Poder calorífico inferior 11,94 Gcal/t; % de valorización= 70%. Proporción del total de CH<sub>4</sub> generado realmente aprovechable.

En el segundo caso, se estimó la generación de electricidad a partir del CH<sub>4</sub> (gas de interés energético) utilizando las siguientes fórmulas y asumiendo se utilizaría moto-generadores preparados para biogás con potencias que varían de acuerdo a la disponibilidad de biogás existente (BID, 2017). Una vez que se obtuvo la energía potencial del CH<sub>4</sub>, se convirtió este valor a generación de electricidad:

$$\text{Potencia disponible (kW)} = \eta t \times \text{PCI}_{\text{CH}_4} \times Q_{\text{CH}_4} \quad (9)$$

Donde:  $\eta t$ : rendimiento térmico de la generación eléctrica. Se asumió un valor medio igual a 30%.  $\text{PCI}_{\text{CH}_4}$ : 9,11KWh/m<sup>3</sup> (Eurostat, 2014).  $Q_{\text{CH}_4}$ : caudal de biogás capturado (m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/hora). Para el cálculo del caudal se utilizó la densidad del metano (0,656 kg/m<sup>3</sup>). Una vez resuelta la ecuación anterior, se utilizó dicho valor para conocer la energía eléctrica producida.

$$\text{Electricidad (kWh/año)} = (\text{potencia disponible}) \times 0,85 \times 8760 \quad (10)$$

Se asumió un factor de disponibilidad de la potencia del 85% por mantenimiento y se multiplicó por 8760, para convertir la energía producida en horas totales de funcionamiento por año.

#### *Estimación de la demanda energética*

Las demandas térmica y eléctrica, se estimaron a partir del consumo de gas envasado y de electricidad, respectivamente de la zona residencial en todo el departamento. A fin de observar no solo la demanda actual (año 2017) sino también la proyección en el tiempo futuro, se consideró el crecimiento de la demanda tomando como punto de partida las estadísticas del año 2010 (DGE, 2010) y como punto intermedio, el año de realización de este estudio (2017), donde se incorporaron datos recabados en las encuestas domiciliarias. A partir de la tendencia observada entre estos años, se hicieron las proyecciones futuras.

Para el caso de la **demanda térmica**, se partió de la cantidad de garrafas consumidas por mes y por viviendas que expresó la población encuestada. Con ese dato y considerando una garrafa promedio de 12 kg, se obtuvieron los kg totales de gas consumidos para cada municipio. Luego dividiendo por el total de la población del departamento, se consiguió el consumo per cápita (cpc) por mes. Con este valor multiplicado por 12, se obtuvo la demanda anual, la cual multiplicada por el PCI el gas licuado (garrafa)<sup>1</sup> se convirtió en demanda térmica. Para los cálculos se consideró que solo el 52% del total de la población consume gas en garrafa en el sector residencial (según DGE, 2010). Los datos usados fueron: número total de viviendas en

<sup>1</sup> Gas licuado (garrafa)= 10.950 kcal/kg (página web del Ministerio de Energía y Minería)

todo el departamento, 2224 y 2447 (años 2010 y 2017); número de viviendas que consumen garrafas, 1166 y 1272, para los años 2010 y 2017, respectivamente.

Para el **consumo eléctrico**, se utilizó el valor de (0,036 MWh/hab/día) (DGE, 2010). Luego, para obtener el consumo medio anual en cada municipio, se multiplicó el cpc por la población total y por 12 para estimar el valor anual (kWh/año). Del mismo modo que en la demanda térmica, se tuvo en cuenta que el 82% de la población total está conectado a la red de energía eléctrica. En el caso de Cachi, en la zona urbana el tamaño de la muestra fue de 277 personas, mientras que para la zona rural fue de 100 personas. Por otro lado, en Payogasta se utilizó una muestra de 83 personas. Para ambos casos fue necesario proyectar la población a futuro. Esto se realizó utilizando la tasa de crecimiento intercensal igual a 5% en el periodo 2001-2010 (DGE, 2010). Por último, se calculó el potencial de cobertura energética, para lo cual, se dividió la generación térmica desde biogás por la demanda térmica, obteniendo la proporción de cobertura. Idéntico proceso se realizó para estimar la cobertura eléctrica

#### Estimación de la potencial reducción de gases efecto invernadero (GEIs)

La utilización del metano generado a partir de los RSU, implicará la mitigación de dos gases de efecto invernadero: el metano (CH<sub>4</sub>) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):

- El primero sucede al capturar el CH<sub>4</sub> contenido en el biogás generado del relleno sanitario (emisiones directas), sería el caso si la energía de los RSU se usara solo con fines térmicos.
- y el segundo por el desplazamiento de combustibles fósiles en la energía eléctrica producida (emisiones indirectas), sería el caso si la energía de los RSU se utilizara con fines eléctricos, en cuyo caso los beneficios de mitigación incluirían tanto las emisiones directas como las indirectas.

Para estimar las reducciones de GEI “directas”, se multiplicó el valor del CH<sub>4</sub> generado por su potencial de calentamiento global (PCG), igual a 28, para convertir las emisiones de CH<sub>4</sub> en toneladas de CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2eq</sub>). Así mismo para estimar las “indirectas”, se consideró el factor de emisión de la red eléctrica 0,5 tCO<sub>2eq</sub>/MWh y el porcentaje de cobertura de la demanda, en este caso es del 4% (MINEM, 2015).

## RESULTADOS

### Cuantificación y caracterización de RSU

En el municipio de Cachi, la muestra poblacional analizada en el sector urbano generó un total de 427,4 kg de RSU en una semana, implicando un promedio de 61,4 ± 25,3 kg de RSU por día. **0,33**

	Zona y tipo de generador de RSU		
	Urbana		Rural
	GD	GG	GR
<b>PPC(kg/hab .día)</b>	0,21 ± 0,92	3,14 ± 6,08	0,15 ± 0,36
<b>PMD (t/día)</b>	0,54 ± 0,14	0,062 ± 0,18	0,4 ± 0,15
<b>DA (kg/m3)</b>	104 ± 4,24	109,6 ± 2,12	s/d
<b>Fracciones de RSU (%)</b>			

Tabla 3 Generación de RSU (cantidad y tipo) en zona rural y urbana, distinguiendo entre generadores domiciliarios (GD), grandes generadores (GG) y generadores rurales (GR),

expresados como ppc acompañados de su desvío estandar y generación media, en el municipio de Cachi. Donde: PMD= producción media diaria, DA= densidad aparente, s/d= sin datos.

En el municipio de Payogasta, el peso total de los RSU fue de 73,8 kg en 24 horas, correspondiéndole una densidad igual 72,1 kg/m<sup>3</sup>. La cantidad total de habitantes presentes el día del muestreo resultaron ser 132 personas.

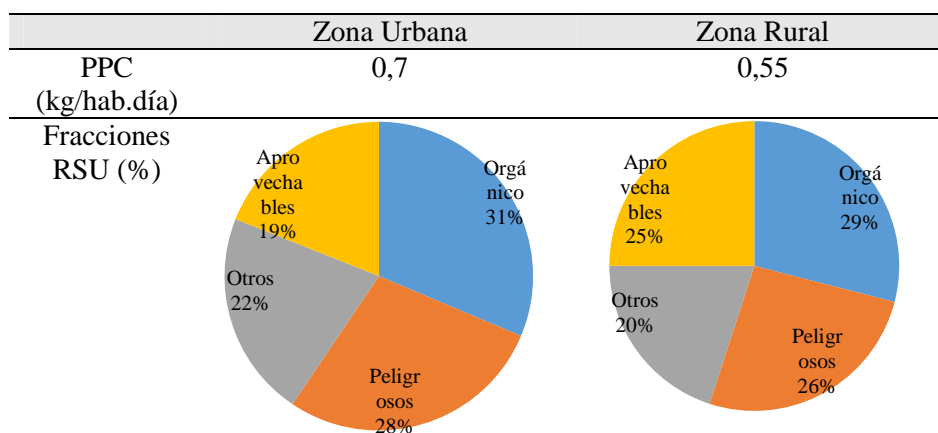


Tabla 4 Generación de RSU (cantidad y tipo) en zona rural y urbana en el municipio de Payogasta

### Estimación del potencial energético disponible en el Consorcio

En cuanto a la demanda térmica, el consumo per cápita de gas es igual a 3,60 kg/hab.mes y 0,12 kg/hab.día. Mientras que el consumo de electricidad resulta 0,436 MWh por año por persona.

La potencial oferta térmica que podría obtenerse si los RSU se depositaran en un relleno sanitario, es igual a 5 veces la demanda para los primeros años y hasta 6 veces luego de 20 años; es decir, existe una potencial oferta energética disponible desde el biogás, que excede la demanda actual y futura (para las tasas de crecimiento asumidas). La potencial oferta eléctrica lograría cubrir solo el 4% de la demanda total en todo el departamento de Cachi, manteniéndose constante durante los 20 años proyectados.

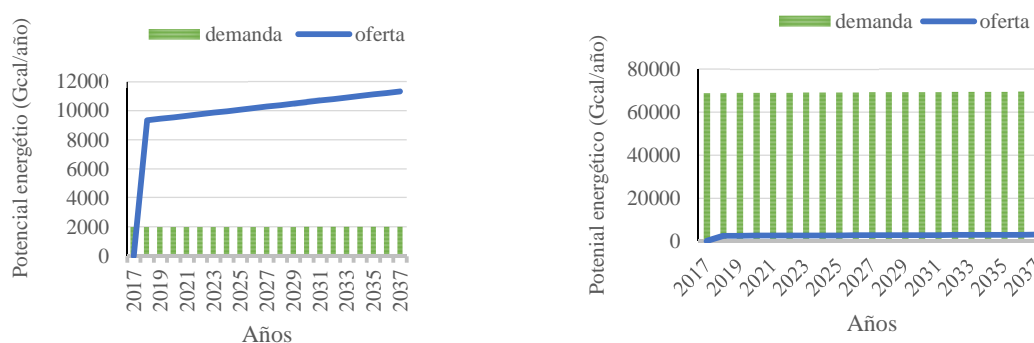


Tabla 5 Potencial sustitución de la demanda térmica (izquierda) y potencial cobertura de la demanda eléctrica (derecha) en el departamento de Cachi.

### Estimación de la reducción de emisiones de GEI

En el primer año no se evitan emisiones de GEIs, debido a que los procesos microbianos de descomposición del residuo recién depositado, comienzan a desarrollarse poco a poco. Luego, a partir del año 2018 y hasta el año 2037, las reducciones de emisiones de CO<sub>2eq</sub> para las emisiones directas representan el 97% del total de emisiones por año, y para las emisiones indirectas solo el 7% del total por año.



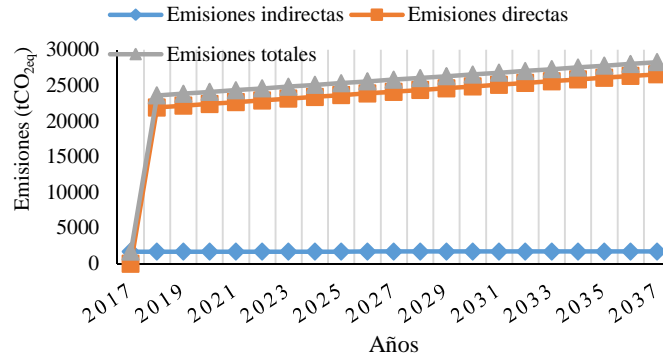


Tabla 6 Reducción de emisiones de GEIs considerando tanto emisiones directas (captura de CH<sub>4</sub>) como emisiones indirectas (desplazamiento de combustibles fósiles para la producción de energía eléctrica).

## DISCUSION

### Con respecto a la generación y caracterización de RSU

La tasa de generación de residuos per cápita fue mayor en el municipio de Payogasta que en el municipio de Cachi, considerando ambas zonas (rural y urbana). Esto puede deberse a diferencias en la metodología de cuantificación aplicadas, ya que en el primer municipio la cuantificación no se realizó según escalas de generación, incluyendo dentro de la muestra a los grandes generadores. Del mismo modo, si se comparan los valores de generación obtenidos con los que establece la Ingeniería y Asistencia Técnica en Argentina S.A (IATASA) para poblaciones de entre 2500 y 5000 habitantes (0,603 kg/hab.día), se puede observar claramente que el municipio que más se ajusta a este valor es el de Payogasta. Es por ello la importancia de trabajar con datos generados localmente, ya que, de otro modo, al utilizar el valor estimado por dicha entidad, se estaría sobredimensionando la capacidad del sistema de gestión y con ello se incurriría en costos innecesarios tanto de inversión como operativos. Situación que podría llevar al municipio a decidir no regularizar su actual gestión.

En cuanto a la caracterización macroscópica, en la zona urbana, de ambos municipios, se genera mayor proporción de residuos orgánicos que en la zona rural. Posiblemente, esto se deba a que, en el sector rural, los residuos orgánicos se reaprovechan en mayor proporción, siendo utilizados como alimento de animales domésticos, destinados a elaboración de compost o directamente son quemados o enterrados. Por otro lado, en la zona rural se genera mayor proporción de la fracción aprovechable (destacándose el plástico), debido a que la población no goza de un servicio de agua potable, lo que resulta en un mayor consumo de bebidas envasadas.

### Con respecto a la propuesta de gestión de los RSU

En promedio, se genera 43% de fracción orgánica en el departamento de Cachi. Dicho valor evidencia la gran oportunidad de implementar un relleno sanitario anaeróbico con posible aprovechamiento energético como sistema de disposición final, ya que además, la estimación de producción de biogás y la cobertura de la demanda térmica del departamento, son óptimas para implementar este tipo de disposición final. Si bien las estimaciones de demanda térmica solo se realizaron a partir del sector de la población que utiliza gas de garrafa para cocción (residencial), por lo cual, la demanda térmica del departamento es superior a la estimada, aun así, el potencial bioenergético disponible muestra un amplio margen de beneficios. La posibilidad de sustituir este combustible fósil (gas de garrafa) por uno renovable (biogás), y con notables impactos ambientales positivos en la región, brindaría un valor agregado importante al sistema de relleno sanitario propuesto. Por otra parte, si la bioenergía disponible fuera utilizada para generación de electricidad, dada la baja eficiencia de conversión del propio sistema y bajo margen energético propio del biogás (cuyo 50% aproximadamente es CO<sub>2</sub> no energético), sumado a la necesidad de limpieza del gas y su adecuación al sistema generador, tornan poco viable este tipo de aprovechamiento. Sin embargo, en un contexto actual de mercados de

carbono y acuerdos ambientales internacionales, quizás ésta pueda resultar una alternativa factible en el futuro.

### **Con respecto al impacto en el medio natural y social**

El aporte de GEI hacia la atmósfera desde el sector residuos a nivel nacional fue de 14 MtCO<sub>2eq</sub> en el año 2014. Esto es igual a 14.000 Gg de CO<sub>2eq</sub>, de los cuales el 69,2% pertenecen netamente a la eliminación y quema de RSU (MAyDS, 2017). En la provincia de Salta este aporte se reduce a 0,21 Mt de CO<sub>2eq</sub> que corresponden a 2100 Gg de CO<sub>2eq</sub> (MAyDS, 2014). Suponiendo que los aportes se mantuvieron desde el año 2014 a la actualidad sin grandes variaciones, el departamento de Cachi aportaría para el año 2018, 31 Gg de CO<sub>2eq</sub>, que corresponden al 1,4% del aporte provincial y al 0,22% del aporte nacional. Con la implementación de un RS, las emisiones aportadas se reducirían para el 2018 a 8 Gg de CO<sub>2eq</sub>, que significarían solo el 0,38% del aporte provincial y 0,05% del aporte nacional. Estos notorios beneficios se obtendrían a partir de una localidad cuya superficie solo significa el 1,8% del territorio provincial y cuya población representa solo el 0,55% de la población provincial. En esta perspectiva, las ventajas ambientales de que otros municipios se sumen a sistemas de gestión integral de sus residuos como en Cachi, pueden visualizarse fácilmente.

Es importante considerar el marco de oportunidad que significan la CMNUCC, el Protocolo de Kyoto y el más reciente Acuerdo de París, en el cual Argentina se ha comprometido. El respaldo financiero, la transferencia de tecnología y las políticas de fomento, constituyen un conjunto válido que podría contribuir para hacer frente de manera exitosa al alto costo de inversión inicial en un sector que atrae poco interés como es de los RSU. En la alternativa de que un proyecto como el planteado ingrese en los mercados de carbono como Créditos de Emisiones Reducidas (CER), y para un precio actual de 9 € = 1 tCO<sub>2eq</sub>, y para la generación de CH<sub>4</sub> esperada (5 Gg= 5000 toneladas/año), se podría obtener un ingreso económico de 45.000 Euros anuales. Más allá de las discusiones de base sobre el mercado de bonos de carbono y la conveniencia de entrar en un sistema de esta naturaleza, éste u otro mecanismo que cubran los costos de inversión inicial, sería un respaldo suficiente para poner en marcha sistemas ambiental y sanitariamente ventajosos en la provincia.

### **CONCLUSIONES**

Este estudio resulta un primer paso importante en la construcción de una base de datos que sirve no solo para poder conocer la naturaleza y cantidad de residuos que se generan en el departamento de Cachi, sino que también permite diseñar y dimensionar un sistema de gestión adecuado. Brinda también una plataforma necesaria para realizar monitoreos evaluando la dinámica a lo largo del tiempo, como así proyecciones adecuadas hacia el futuro. La información proporcionada debería ser complementada con muestreos en diferentes épocas del año, que permita incorporar las variaciones de flujos estacionales de población flotante, logrando medias anuales más precisas.

Respecto a las características de la generación, una mayor proporción de residuos de naturaleza orgánica (43% en promedio), es notablemente mayor frente al resto. Esto implica que la alternativa de emplazar un RS anaeróbico con aprovechamiento de biogás resulta potencialmente viable en el aspecto energético y ambiental. Las estimaciones realizadas en este trabajo, muestran una potencial cobertura de demanda térmica actual de entre 5 y 6 veces a partir del biogás que podría obtenerse desde el RS, y una cobertura del 4% del total de demanda eléctrica existente en la actualidad. Si esa bioenergía disponible se utilizara con fines térmicos, tendría un beneficio económico añadido, ya que la población dejaría de gastar en la compra de garrafas. Con respecto al aprovechamiento del metano para la generación de energía eléctrica, si bien la cantidad de personas alcanzadas por este beneficio es baja, esta generación se podría utilizar para abaratar costos dentro del emplazamiento del relleno sanitario o para el alumbrado público.

La correcta disposición y tratamiento de los RSU en un relleno sanitario para el Consorcio, no solo estaría estabilizando los RSU, sino también contribuiría en la mitigación del metano emanado hacia la atmósfera en un 97% (emisiones directas) y en el desplazamiento del uso de

hidrocarburos o combustibles fósiles hacia el uso de energías limpias. Resulta evidente que la planificación de un sistema de gestión integral adecuado para la zona, debe partir de la realidad concreta del sitio, a fin de disminuir el riesgo de cometer errores, como, por ejemplo, en el dimensionamiento de las etapas de gestión.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece a los pobladores del departamento de Cachi (Intendentes, Secretarios, otros actores sociales) por la predisposición para responder las entrevistas y participar comprometidamente para la consecución de este trabajo. A la Municipalidad de Cachi, por acompañar y facilitar la logística en la zona. A la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable y en especial, a la Ing Mónica Pasculli, por el apoyo brindado para el éxito de este proyecto. A los estudiantes que colaboraron con el muestreo y en la aplicación de las encuestas, se agradece su esfuerzo y entusiasmo.

## **REFERENCIAS**

- Cabral, R. 2016. Propuesta de una nueva Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos para el Municipio de Payogasta
- Cabrera, A. 1994. Regiones Fitogeográficas Argentinas. En: Kugler, W. (ed.), Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería, 2º ed., T II, F 1, 85 pp
- CEPIS, 2005. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales
- De Luca, M. 2015. Estudio de Estrategia y Factibilidad de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) para la República Argentina. Área de pensamiento Estratégico.
- DGEC. <http://estadisticas.salta.gov.ar/>
- Dirección General Europea (Eurostat), [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal\\_waste\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal_waste_statistics).
- Hoorweg, D y Bhada-Tata, P 2012. What a waste: Global review of solid waste management. World Bank, Washington DC, p. 81-83. [www.worldbank.org/urban](http://www.worldbank.org/urban).
- INDEC. 2010. <http://www.indec.gob.ar/>
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2006 - Synthesis Report. Disponible en: [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_ipcc\\_fourth\\_assessment\\_report\\_synthesis\\_report.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm). Acceso en: 1º fev. 2011
- MAyDS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable), 2016. Informe del estado del ambiente de la República Argentina. Editorial Bs As.
- MINEM, 2015. Ministerio de Energía y Minería.
- Quilez, F. 2013. Proyecto de Construcción de la Celda nº 1 de Vertido del Vertedero de Residuos no Peligrosos del Complejo Ambiental de Zonzamas.
- Research and Education Association. 1978. Modern Pollution Control Technology, Vol. II. Research & Education Association, Nueva York, EUA, pp. 82-89
- SAyDS, 2005. Estrategia Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable.
- UNEP and ISWA, 2015. Global Waste Management Outlook. Disponible en: [https://www.unep.org/ietc/sites/unep.org.ietc/files/GWMO\\_summary\\_0.pdf](https://www.unep.org/ietc/sites/unep.org.ietc/files/GWMO_summary_0.pdf)
- Zapata, O. 2011. Residuos y salud: Tartagal – Salta pp.35-43. Disponible en: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S185175872011000200005&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S185175872011000200005&lng=es&nrm=iso).
- Zelarayán, A. y Fernández D. 2015. Línea de base ambiental y diagnóstico territorial. OT Alta Cuenca del Río Calchaquí. Salta - Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

**ABSTRACT:** The regularization of the management is based on a worldwide level, since the poorly managed waste causes serious effects on health and the environment. The generation of reliable and systematic data is necessary to propose improvements and facilitate decision-making in environmental policies. For all the above, it was decided to study the current management of urban solid waste in the department of Cachi, including the two municipalities: Cachi and Payogasta. The waste generated there was characterized, applying the methodology proposed by CEPIS for developing countries. The results obtained show that, the department has a clear tendency to generate the organic fraction in relation to the total of RSU (43% on average). The per capita production for the municipality of Cachi was: urban area 0.21; large generators 3.14; rural area 0.15. In Payogasta: urban area 0,7 and rural area 0,55 kg / inhab / day

**Keywords:** Cachi and Payogasta, biogas, characterization, solid waste, thermal energy.