

## CAPÍTULO 12

### Diseño y selección de alternativas de gestión de residuos sólidos urbanos en la localidad de Santa Eufemia, Córdoba

*Cahe, E.<sup>51</sup>; de Prada, J.<sup>52</sup>*

#### Resumen

La gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) presenta grandes desafíos ambientales y económicos para la comunidad en su conjunto, y particularmente para municipios de pequeño y mediano tamaño. El objetivo del caso es desarrollar un modelo multicriterio interactivo para ayudar al diseño y evaluación de alternativas de gestión de RSU (AG-RSU) en la localidad de Santa Eufemia, Córdoba, Argentina. Se usa el método PROMETHEE para evaluar las AG-RSU y las preferencias de los decisores se relevan en encuentros interactivos (talleres) con el gobierno municipal y actores que éste involucró. Cinco alternativas (*AG-RSU\_1\_Tendencial; AG-RSU\_5*) fueron diseñadas y parametrizadas con cinco criterios. Los criterios de selección utilizados fueron: *Inversiones (\$); Costo Económico Municipal (CEM) (\$ año<sup>-1</sup>); Emisiones GEI (Tn CO<sub>2</sub>eq año<sup>-1</sup>); Esfuerzo Político Institucional (EPI) e Involucramiento*

---

51 Docente en el Departamento de Economía Agraria, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. Contacto: [ecahe@ayv.unrc.edu.ar](mailto:ecahe@ayv.unrc.edu.ar)

52 Docente en el Departamento de Economía Agraria, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. Contacto: [jdeprada@ayv.unrc.edu.ar](mailto:jdeprada@ayv.unrc.edu.ar)

*Social*. Los resultados muestran conflictos a la hora de decidir por alguna de las AG-RSU. La *AG-RSU\_1\_Tendencial* presenta mejores resultados en los criterios *Inversiones* y *EPI*, pero baja performance ambiental y económica. En contraste, la *AG-RSU\_3* para los criterios *EGEI* (2.792 Tn CO<sub>2</sub>eq año<sup>-1</sup>) y *CEM* (\$2.687.699 año<sup>-1</sup>; U\$D189.275) presenta los mejores resultados y se posiciona como más promisoria para la gestión de RSU locales. De hecho, los involucrados asignaron mayores pesos al criterio *Involucramiento social* y menores al criterio económico *CEM*. La *AG-RSU\_3* se posiciona en el primer orden de las alternativas rankeadas, seguida por la *AG-RSU\_4*. Por último, los resultados muestran que hay mejores AG-RSU que las modalidades actuales desarrolladas en diferentes municipios de pequeño y mediano tamaño de la región y el país, donde además se propone integrar la educación ambiental con el involucramiento del hogar, la escuela, el Estado y toda la comunidad para la solución de un problema estructural común a todos.

**Palabras claves:** Métodos multicriterio; compostaje; interactivo; residuos sólidos urbanos (RSU); Emisiones GEI.

## Introducción

El crecimiento de la generación de los residuos sólidos urbanos (RSU) tiende a superar la tasa de urbanización (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012), y constituirá un problema económico y ambiental cada vez más desafiante para la sociedad. La generación de RSU y la falta de control en la deposición final de los mismos afectan negativamente: a) el ambiente y los recursos naturales, por ejemplo, emisiones gases efecto invernadero -EGEI- (e.g. Adhikari et al., 2010; Ayalon et al., 2001; Gupta et al., 2015); b) la salud pública, como mayor probabilidad de enfermedades a personas que se exponen diariamente a focos de contaminación (Saidón, 2013); y c) la economía, del hogar y del Estado (Aleluia y Ferrão, 2017; Szantó Narea, 1996).

Estos efectos no deseados son más marcados en localidades de pequeño tamaño. Por ejemplo, en la provincia de Córdoba, Argentina, hay un total de 427 localidades de las cuales solo 30 localidades tratan y revalorizan RSU antes de su deposición final, mientras que las 397 restantes solo realizan recolección domiciliaria (Delgadino et al., 2011). Según estos autores, alrededor de 300 localidades, la mayoría pequeñas, depositan e incineran RSU en basurales a cielo abierto (BCA) a pesar de que la ley provincial Nº 9.088/03 lo prohíbe.

La gestión de RSU (GRSU) ha sido estudiada en cuatro perspectivas. En primer lugar, los autores han puesto de manifiesto la relación entre la GRSU y las externalidades ambientales negativas a los servicios ecosistémicos (Chen y Lin, 2008; Chidiak y Bercovich, 2004; Oliveira et al., 2017). Desde otra perspectiva los autores estudian y desarrollan tecnologías para la GRSU. Por ejemplo, hay autores que desarrollaron técnicas para reducir las emisiones GEI y los costos de la GRSU (Adhikari et al., 2010; El-Hamouz, 2008). Como así también para la transformación de: a) residuos orgánicos en biogas; enmiendas (Chien Bong et al., 2017; Hargreaves et al., 2008; Sztern y Pravia, 1999) o de RSU a otras formas de energía (Korai et al., 2017; Zhou et al., 2015). En la tercera perspectiva, los autores estudian el comportamiento social en relación a la GRSU; por ejemplo, consumo sostenible (Delgado, 2013); compras inteligentes (Armijo, 2005; Gaiani et al., 2017); y tratamiento domiciliarios aplicables a algunos RSU (Jouhara et al., 2017; Wei et al., 2017). En la cuarta perspectiva, varios autores han desarrollado los métodos para evaluar y ayudar a elegir propuestas de GRSU.

En esta última perspectiva, los métodos se han clasificado en dos enfoques: monocriteriales y multicriteriales (Falconí y Burbano, 2004). Los primeros usan un criterio generalmente

asociado a la dimensión económica tal es el caso del análisis beneficios costos (Pin et al., 2018; Szantó Narea, 1996). En cambio, los métodos que usan el enfoque multicriterio o de ayuda a las decisiones multicriterio (ADM) consideran más de un atributo y suelen incluir diferentes dimensiones como: la económica, la ambiental y la social (Falconí y Burbano, 2004). Soltani et al. (2015) realiza una revisión bibliográfica sobre los métodos ADM en la GRSU. Los autores mencionan que los métodos ADM han sido usados con énfasis para seleccionar: a) la mejor planta de tratamiento de RSU (38 artículos); y b) la localización del sitio de deposición final de RSU (30 artículo) y c) ambos (solo un artículo). También, Soltani et al. (2015), muestran que mayoría de los artículos no consideran la participación de los interesados (62% versus 38% de los artículos); mientras que cuando los actores han participado, lo hacen principalmente en la asignación de pesos (21 artículos), la elección de criterios (14 artículos) y la evaluación de alternativas (9 artículos). Los métodos ADM más usados son: análisis jerárquico, AHP (Analytic Hierarchy Process) y sus variantes; y los métodos de superación, como PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation), ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité). También, TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution) como uno de los métodos de superación más utilizados para seleccionar entre 10 alternativas tecnológicas de disposición de RSU parametrizadas con 18 criterios (Arikan et al., 2017).

Los métodos de superación realizan comparaciones de a pares de propuestas en cada criterio y permiten involucrar el rol de los actores interesados en el proceso de toma de decisión, como así también diferenciarlo de la parte técnica. En este sentido, se ha utilizado el método PROMETHEE en interacción con el gobierno de Santa Eufemia y los actores que éste involucró para generar una visión de largo plazo para la localidad (de Prada et al., 2017a). Particularmente, se han hallado estudios que ayuden en el proceso de diseño y selección de alternativas de GRSU en localidades de pequeña y mediana escala en la Argentina, y particularmente en la provincia de Córdoba.

Por ello, el objetivo de este artículo es mostrar el diseño, valoración y selección de alternativas de gestión de residuos sólidos urbanos (AG-RSU), interactuando con el gobierno municipal y los involucrados por éste. La aplicación se realiza en la localidad de Santa Eufemia, usando el modelo multicriterio PROMETHEE para la selección y evaluación de las AG-RSU.

Las contribuciones de este artículo son tres principalmente. La primera hace referencia al desarrollo de una metodología interactiva entre diferentes actores para construir una visión futura del servicio de gestión de RSU. En segundo lugar, se identificó un criterio social cualitativo, que no había sido utilizado en nuestra provincia y marca el cambio de comportamiento de las personas para implementar una gestión sustentable de los RSU. Por último, los resultados muestran que hay AG-RSU que superan ampliamente la performance económica, ambiental y social de la modalidad actual de tratamiento RSU en la mayoría de pequeñas y medianas localidades del interior provincial.

### ***Materiales y métodos***

#### **Área de estudio y población**

El área de estudio corresponde al Municipio de Santa Eufemia, ubicado el departamento Juárez Celman, provincia de Córdoba, Argentina. Las coordenadas geográficas son (Latitud 33°11'30'' S; Longitud 63°17'30'' O) (Figura 12.1).

En el diseño del servicio de GRSU se consideran dos tamaños de población para el año 2030. El primer tamaño de población, *tendencial* se usa la proyección de población con el modelo geométrico (Torres-Degró, 2011) y los datos de los censos nacionales de población año 2001 y 2010 (INDEC, 2001, 2010). El segundo tamaño de población, para las AG-RSU (2, ...5) se utiliza una *meta de población* para el año 2030, consensuada por el gobierno municipal y los actores involucrados.



Figura 12.1. Localización, Santa Eufemia, Córdoba. Fuente: Elaboración propia

### Producción de residuos sólidos urbanos (PRSU)

La PRSU se calculó considerando la frecuencia anual de recolección por el peso de RSU recolectados por el compactador. La frecuencia de recolección anual es 312 (tres días por semana con dos recolecciones por día); tara del camión recolector completo (11.800 kg), vacío (8.800 kg), realizada en enero de 2016. La proyección de la producción RSU considera un incremento anual per cápita del 1%.

### Alternativas de gestión de residuos sólidos urbanos (AG-RSU)

Se diseñaron por aproximaciones sucesivas cinco AG-RSU a nivel de perfil de proyecto (Szantó Narea, 1996, 1998). El diseño de AG-RSU incluye: generación, recolección y transporte, valorización y deposición final. De acuerdo con los autores Delgadino et al. (2011) se considera que el 60% de los RSU generados en cada alternativa corresponden a restos orgánicos. La *AG-RSU\_1 “Tendencial”* (o modalidad actual) implica la recolección; transporte ( $30.858 \text{ km año}^{-1}$ ) y deposición final con incineración de RSU en BCA local. La *AG-RSU\_1* requiere de inversiones para ajustar y acondicionar al marco legal (Ley Provincial 9.088/10.208) el BCA. La *AG-RSU\_2* implica recolección; transporte ( $40.225 \text{ km año}^{-1}$ ); y tratamiento en una planta ubicada en el predio del Basural Municipal Acondicionado (BMA) para luego depositar controladamente los RSU que no tuvieron valor. La *AG-RSU\_3* involucra grandes cambios como: separación de RSU en origen y compostaje domiciliario; recolección de inorgánicos por lo que las distancias de transporte se reducen ( $19.719 \text{ km año}^{-1}$ ); clasificación de materiales reciclables, valorización y deposición controlada en el BMA. La *AG-RSU\_3* requiere de inversiones intangibles en educación ambiental y extensión, estimadas en \$ 400.000 (U\$D 29.169), para acompañar a los usuarios (hogares) en la elaboración de compost domiciliario (o proximidad). La *AG-RSU\_4* implica la separación de RSU en origen; recolección diferenciada y transporte ( $53.430 \text{ km año}^{-1}$ ), donde los residuos inorgánicos son trasladados a una planta regional de tratamiento en La Carlota (30 km al

sur), mientras que la valorización de los residuos orgánicos es a nivel local. Por último, la *AG-RSU\_5* requiere separación de RSU en origen; recolección diferenciada y transporte (40.225 km año<sup>-1</sup>); donde la clasificación y deposición controlada en igual a la AG-RSU\_2.

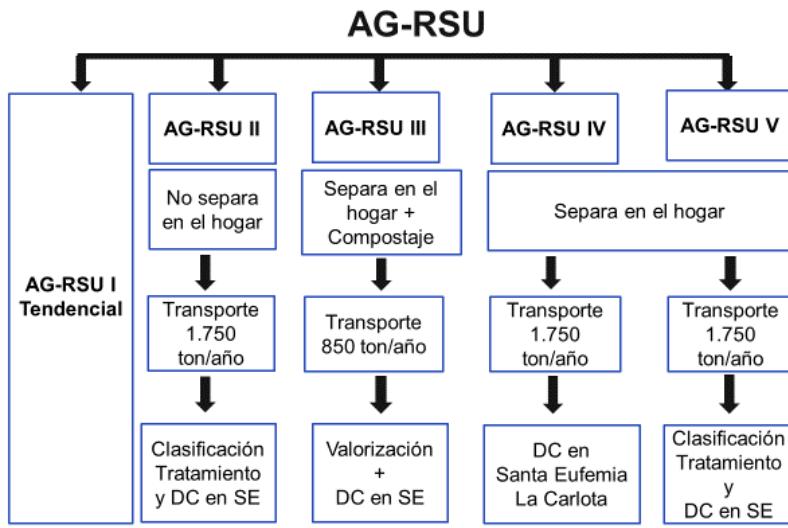


Figura 12.2. Alternativas de gestión de residuos sólidos urbanos Santa Eufemia 2030. Referencias. (DC) deposición controlada; (SE) Santa Eufemia. Fuente: Elaboración propia

## Criterios

Los criterios de comparación entre AG-RSU son cinco, y derivan del paradigma de desarrollo sostenible. En la dimensión económica consideramos dos criterios: *Inversiones*, medidas en \$, y *Costo económico municipal (CEM)* medido en \$ año<sup>-1</sup>, ambos criterios valorados a precio corriente mayo 2016 (Divisa: \$ 14.2 = 1 U\$D). En la dimensión ambiental consideramos *Emisiones gases efecto invernadero (EGEI)*, medido en ton CO<sub>2</sub>eq. año<sup>-1</sup>. En tanto, en la dimensión social utilizamos dos criterios: *Efuerzo político institucional (EPI)* e *Involucramiento social*, ambos calificados como indicadores cualitativos.

Las *Inversiones* fueron estimadas mediante presupuestos parciales considerando un horizonte de planificación al año 2030 (Hernandez Reyes, 1996). Las inversiones fijas corresponden al acondicionamiento del BCA, construcción accesos, infraestructura y compra de un camión compactador. En tanto, las inversiones en capital de trabajo son similares a la modalidad actual. El principal contraste son las inversiones intangibles, (capital nominal) que se refieren a: estudio de diseño técnico, educación ambiental, extensión y capacitación para implementar una AG-RSU (Ver Anexo de este capítulo).

El *CEM* es el equivalente anual del valor actual de los costos (VAC), estimado por las siguientes ecuaciones (Roura y Cepeda, 1999):

$$CEM = VAC \frac{r(1+r)^T}{(1+r)^T - 1} \quad (1)$$

$$VAC = \sum_{t=0}^T \frac{I_t + g_o t}{(1+r)^t}, \quad (2)$$

donde  $I$  representa las inversiones, medida en \$;  $go$  representa los gastos de operación medidos, en \$ año $^{-1}$ ,  $r$  representa el costo de oportunidad del capital (6%), el subíndice  $t$  representa el tiempo, medido en años; y  $T$  representa el período de análisis. Los  $go$  están integrados por los gastos de combustibles, lubricantes; gastos de mantenimiento y reparaciones; gastos en control y fiscalización; y salarios junto a aportes patronales de los operarios, datos provistos por la Municipalidad.

El *EPI* indica el esfuerzo necesario que debe realizar el gobierno para pasar de la modalidad actual a la AG-RSU seleccionada (de Prada et al., 2017b). Este criterio social, califica el grado de dificultad para inducir un nuevo comportamiento en el Estado y a través de éste, cambiar el comportamiento de los hogares para la nueva gestión RSU.

El *Involucramiento Social* califica la necesidad de participación ciudadana y la responsabilidad de la comunidad en cada AG-RSU. Este criterio fue sugerido por los actores invitados por el gobierno para diferenciar, las AG-RSU que requieren involucramiento del hogar para separar y aprovechar *in situ* la fracción orgánica de los RSU, de otras AG-RSU que no lo requieren.

Por último, el criterio *EGEI* orienta la comparación ambiental de las AG-RSU. Las *EGEI* cuantifican la contribución de las alternativas al calentamiento global. Las *EGEI* se calcula mediante el uso del software WARM® (EPA, 2016) con datos de consumo de alimentos a partir de la hoja de balance alimenticio (FAO, 2001; IPCVA, 2015).

## Procedimiento

Las interacciones con el gobierno local y los actores invitados por éste fueron realizadas en tres encuentros (talleres) en distintas fechas. En el primer encuentro se analizó la problemática y posibles soluciones. En un segundo encuentro se analizó la matriz de decisión y la valoración de los criterios. En el último encuentro, los participantes explicitaron sus preferencias mediante la asignación de peso a cada criterio y se discutió el *ranking* emergente de cada participante y se alcanzó un consenso sobre el orden de las AG-RSU. El método PROMETHEE propuesto por (Brans y Mareschal, 2005) se utilizó para elaborar el *ranking* de las AG-RSU.

Las funciones de preferencia utilizadas por el método son de dos tipos. Por un lado, se seleccionó la función preferencia *Lineal* para los criterios cuantitativos, y por otro, una función *Usual* para los criterios cualitativos. Los umbrales de preferencia absoluta ( $p_j$ ) e indiferencia ( $q_j$ ) fueron establecidos arbitrariamente (80% y 20%, respectivamente) y posteriormente se realizó un análisis de sensibilidad usando valores (70% y 30%, respectivamente).

## Resultados y discusiones

### Situación de referencia

La población de Santa Eufemia estimada para el año 2016 fue 2.567 habitantes. La generación de residuos se estimó en 967.235 kg año $^{-1}$ , aproximadamente 377 kg RSU hab $^{-1}$ . La población al año 2030 estimada en el estudio fue: a) *tendencial* y b) *meta de población*, 3.076 hab (992 hogares) y 4.000 hab (1290 hogares), respectivamente. La *tendencia* de población es usada para cuantificar la AG-RSU\_I, mientras que la *meta de población* es utilizada para las demás AG-RSU. Para el año 2030, se estima una generación de RSU de

$1.333.188 \text{ kg año}^{-1}$  para la AG-RSU\_I, en tanto en las otras alternativas (I...,V) la generación se estimó en  $1.737.400 \text{ kg RSU año}^{-1}$ .

El aumento en la generación de RSU estimada por habitante para este estudio es algo menor al proyectado para la región de América Latina y el Caribe. En Santa Eufemia, varía entre 1,02 a 1,19 kg habdía $^{-1}$  entre el año 2015 y 2030, mientras que en la región América Latina y el Caribe el valor proyectado asciende de 1,1 a 1,6 kg hab dí $a^{-1}$  entre los años 2010 a 2025 (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012).

La modalidad actual de gestión de RSU en Santa Eufemia es realizada por el Municipio y consiste en dos áreas prioritarias: higiene urbana y recolección de residuos. La higiene urbana comprende el barrido de calles y mantenimiento de áreas verdes. La recolección de residuos comprende la recolección domiciliaria; transporte (realizada con camión compactador de 3 ton de capacidad) y deposición de los RSU donde son incinerados en el BCA local (Figura 12.3). El BCA carece de un sistema de control y vigilancia de acceso, y particularmente este aspecto es frecuente en otras localidades de la provincia (Delgadino et al., 2011) y la nación (ENGIRSU, 2009).



Figura 12.3. Deposición final e incineración en basural a cielo abierto. Fuente: Elaboración propia

La modalidad actual de gestión mostraba un déficit presupuestario que aumentará significativamente de mantenerse la misma política tarifaria. La tarifa cobrada para el servicio de recolección de residuos e higiene urbana es de \$45 hogar mes $^{-1}$  (U\$D 3.20) y el déficit es cubierto por otras partidas presupuestarias. En el año 2016, el déficit presupuestario fue de \$756.960 (U\$D 53.307) y se estima que esta cifra ascendería a más de \$2.186.535 (U\$D 153.981) para el año 2030, si se mantiene la modalidad actual AG-RSU\_I (Tabla 12.1).

Tabla 12.1. Resultados y proyección económica del servicio de gestión de residuos sólidos urbanos, San Eufemia

Tiempo	Hogares	Ingresos	Gastos de Operación	Neto
(años)	Nº	\$ año <sup>-1</sup>		
2016	838	452.520	1.118.976	-756.960
2030	992	535.680	2.722.215	2.186.535

Fuente: Elaboración propia con datos provistos por el gobierno municipal.

## Valor de los criterios de comparación

### 1) Emisión de gases efecto invernadero (EGEI)

Las *EGEI* para cada propuesta se muestran en la Tabla 12.2. La AG-RSU\_III presenta menos emisiones debido a que los residuos orgánicos son compostados en el hogar, reduciéndose las emisiones por transporte de RSU. En contraste, la AG-RSU\_IV es la alternativa que mayor cantidad de emisiones genera, debido al transporte de residuos inorgánicos hasta una planta regional 30 km al sur de Santa Eufemia. Particularmente, la AG-RSU\_III ahorra aproximadamente 2.907 ton eq. CO<sub>2</sub> con respecto a la PG-RSU\_I, es decir 51% menos de emisiones por ton de RSU año<sup>-1</sup>. Esta cifra es aún más significativa considerando que la AG-RSU\_III considera la *meta de población* de 4.000 habs., mientras que la *tendencial* considera la proyección de población 3076 habs. Este porcentaje de reducción es comparable con estudios informados por Adhikari et al. (2010), donde estimaron que las prácticas de compostaje domiciliario reducen 50% las *EGEI* de la gestión de RSU.

La mejor performance ambiental planteada por la PG-RSU\_III, también representa ventajas económicas para la comunidad. Hemos hallado que reducir una tonelada CO<sub>2</sub> eq. año<sup>-1</sup> equivale a \$ 430 (U\$D 30.5) en dicha alternativa. Otros autores, (Ayalon et al., 2001) estimaron un valor de U\$D 19 para reducir una tonelada CO<sub>2</sub> eq. año<sup>-1</sup> en propuestas que plantean compostaje domiciliario para tratar los RSU. En este sentido, podemos concluir que el compostaje domiciliario es una solución factible para mitigar las *EGEI* en pequeñas localidades que adoptan al BCA como mecanismo para deposición final de RSU.

### 2) Esfuerzo político institucional (EPI)

El EPI cualifica las acciones del gobierno para disminuir las brechas entre el comportamiento social actual y el comportamiento necesario de alcanzar para las AG-RSU diseñadas. El esfuerzo es “*Muy bajo*” en la AG-RSU\_I del servicio debido a que mantiene el comportamiento actual, en cambio es “*Muy alto*” en la AG-RSU\_III implica nuevas obligaciones y cambios cualitativo de los hogares, las instituciones y el Estado. En el hogar implica, hacerse cargo de la fracción orgánica de los RSU y compostar la misma. En las instituciones, por ejemplo, en la escuela incluir en sus trayectos curriculares la enseñanza y los valores para un consumo sostenible de los habitantes y la colaboración de los hogares en las AG-RSU. En el Estado y gobierno, instalar el proyecto junto al diseño de los incentivos correctos para inducir los nuevos hábitos y penalizar los comportamientos no ajustados, lo cual representa una tarea muy sensible en Municipio de pequeña escala.

### 3) Inversiones

Los montos de las inversiones por AG-RSU representan un esfuerzo financiero importante para un Municipio de pequeña escala, pero la variación entre alternativas es considerable (Tabla 12.2). La AG-RSU\_I presenta el mínimo valor necesario (\$2.13 MM; U\$D 150.000) para ajustar el BCA a la ley provincial. Este esfuerzo es considerable para un Municipio que tiene un presupuesto público anual alrededor de \$18 MM (U\$D 1.267.605) (julio 2016). En tanto, la AG-RSU\_III que recolecta, transporta y deposita menores cantidades de RSU requiere una inversión (\$2.83 MM; U\$D 199.296) algo mayor que la AG-RSU\_I debido a inversiones nominales. En contraste, las mayores inversiones se corresponden a las AG-RSU\_II y AG-RSU\_V, que requieren más de \$5.4 MM (U\$D 380.282) para acondicionar el BCA y se presupuesta la instalación de una planta de clasificación de residuos a nivel local. Por último, en la AG-RSU\_IV el esfuerzo financiero es intermedio debido a menores costos de infraestructura para el BCA y procesamiento de residuos inorgánicos porque son trasladados a la localidad de La Carlota, Córdoba.

Las inversiones estimadas son consistentes en el rango con lo hallado por otros autores. Las inversiones entre las alternativas varían entre \$1.632 (U\$D 115) en la AG-RSU\_3 a \$3.215 (U\$D 226) en la AG\_RSU\_II por ton<sup>-1</sup> de RSU generado (representa una relación 1:2 respectivamente). El tratamiento de residuos con compostaje domiciliario como la AG-RSU\_III en la mayoría de los estudios representa el valor más bajo del rango. Por ejemplo, Adhikari et al. (2010) mencionan un rango entre propuestas de \$861 (U\$D 61) a \$4.940 (U\$D 349) ton<sup>-1</sup> RSU generado (una relación aproximada 1:6 respectivamente). Otros autores calculan las inversiones por ton<sup>-1</sup> RSU generado en un rango entre \$441 (U\$D 31) y \$1.677 (U\$D 118), (una relación próxima a 1:4 respectivamente) (Aleluia y Ferrão, 2017). Estos autores hallaron que el compostaje domiciliario, como alternativa de tratamiento de RSU, permite a pequeños Municipios reducir costos fijos de la gestión de RSU, en comparación a técnicas como incineración o pirolisis que son más costosas en términos financieros y ambientales.

### 4) Costo económico municipal (CEM)

Los resultados económicos muestran un hallazgo muy promisorio. Se ha diseñado una AG-RSU que representa un 32% menos de *CEM* por hogar que la *tendencial*. De hecho, la AG-RSU\_III tiene menor *CEM* (\$2.687.699; U\$D 189.275). En contraste, la AG-RSU\_III presenta mayor *CEM* en valores absolutos (\$2.951.909; U\$D 207.881), mientras que la AG-RSU\_III tiene mayor *CEM* (\$4.137.896; U\$D 291.401). Esta reducción del criterio mencionado en la AG-RSU\_III se debe principalmente a los menores gastos de recolección domiciliaria y al transporte de RSU. Situación similar a la encontrada por otros autores para otros estudios realizados que presentan la misma dinámica (e.g. El-Hamouz, 2008; Jouhara et al., 2017).

Si la tarifa del servicio fuese equivalente al *CEM* por hogar, el ahorro más relevante se logra con la AG-RSU\_III que incluye el aprovechamiento domiciliario de los residuos orgánicos. En este sentido, clasificar y aprovechar los residuos orgánicos en origen (AG-RSU\_3) significa un ahorro por hogar de \$969 (U\$D 68) año<sup>-1</sup>, equivalente a una tarifa de \$2.083 (U\$D 147) hogar año<sup>-1</sup> mientras que la tarifa en la AG-RSU\_I costaría \$3.053 (U\$D 215) hogar año<sup>-1</sup>. Según Lauf (2008), el criterio “costo” en un servicio de GRSU, es el principal factor para que personas y hogares se involucren o modifiquen sus hábitos en pos de la separación y reciclaje de RSU.

## 5) Involucramiento social

El involucramiento social indica la participación ciudadana en la AG-RSU. El objetivo puede ser maximizar o minimizar, en este caso el gobierno municipal y la sociedad civil consideran que más involucramiento es mejor. Por lo tanto, la dirección de este objetivo fue maximizar; consecuentemente la AG-RSU\_III es la mejor y la AG-RSU\_I es la que peor resultado presenta en este indicador. Cabe mencionar que el involucramiento en la AG-RSU\_III refiere a clasificar RSU y compostar residuos orgánicos en el hogar.

## Matriz de decisión multicriterio

La matriz de decisión refleja las AG-RSU con los valores de los criterios de selección (Tabla 12.2). La misma muestra conflictos para elegir una propuesta. Si solo nos basamos en los criterios ambientales, la AG-RSU\_III es la mejor, pero la misma tiene escaso desempeño en el área sanitaria. La AG-RSU\_I presenta el mejor resultado para el criterio *EPI* e *Inversiones*, pero escaso desempeño en la parte ambiental.

Tabla 12.2 Matriz de decisión multicriterio Santa Eufemia visión 2030

Alternativas	Inversiones	CEM	EGEI	Involucramiento Social	EPI
	\$	\$ año <sup>-1</sup>	ton CO <sub>2</sub> eq. año <sup>-1</sup>	Índice*	
AG-RSU_I	2.135.000	2.951.909	5.879	Muy bajo	Muy bajo
AG-RSU_II	5.435.000	4.137.896	5.015	Bajo	Bajo
AG-RSU_III	2.985.000	2.687.699	2.972	Muy alto	Muy alto
AG-RSU_IV	3.085.000	3.050.746	6.329	Medio	Medio
AG-RSU_V	5.585.000	3.912.034	5.015	Alto	Alto
Objetivo	Min	Min	Min	Max	Min

---

Nota: (CEM) Costo económico municipal; (EGEI) Emisiones gases efecto invernadero; (EPI) Esfuerzo político institucional. \*Índice: criterio calificado cualitativamente. Fuente: Elaboración propia

---

## Preferencia de los participantes

En la Tabla 12.3 se muestran las preferencias y perfiles de los participantes. Se puede apreciar que los participantes asignaron pesos a todos los criterios, aunque el nivel de importancia difiere en términos relativos. El criterio considerado como más importante fue *Involucramiento social* con un promedio de 9,4 y los criterios considerados menos importantes fueron los de que integran la dimensión económica (con un promedio de 6,3 y 6,6 para *CEM*

e *Inversiones* respectivamente). En tanto, el criterio ambiental y el *EPI* tomaron valores intermedios.

Tabla 12.3. Perfil y preferencias de los participantes por criterios de comparación

	Perfil (Rol y vínculo político)	Inversiones	CEM	EGE I	Involucramiento Social	EPI
Participante 1	Intendente (UpC)	7	5	8	10	5
Participante 2	Dir.ª Instituto Bernardino Rivadavia (UpC)	6	9	6	8	5
Participante 3	Pdta. Consejo Deliberante (UpC)	7	8	4	10	10
Participante 4	Consultora Ambiental (UCR)	8	7	10	10	9
Participante 5	Dir.ª Instituto Belisario Roldán	5	0	8	10	7
Participante 6	Concejal (UpC)	7	5	8	10	5
Participante 7	Representante Coop. Servicios	7	8	4	8	10
Participante 8	Secretario de Gobierno (UCR)	5	10	8	9	7
Participante 9	Periodista y locutor local (UCR)	7	5	8	10	5
<b>Promedio de Ponderaciones</b>		6,6	6,3	7,1	9,4	7,0
<b>Desvío estándar</b>		1,01	3,00	2,03	0,88	2,18
<b>Coeficiente de variación (%)</b>		15,5	47,4	8,5	9,3	31,1

Referencias: (CEM) Costo económico municipal; (EGEI) Emisiones gases efecto invernadero; (EPI) Esfuerzo político institucional; (UpC) Unión por Córdoba; (UCR) Unión Cívica Radical.

---

Nota: la escala de 0 a 10, el cero (0) elimina el criterio; del uno (1) y diez (10) indica la importancia asignada en grado creciente. Fuente: Elaboración propia

---

Considerando la importancia asignada a cada criterio, el *ranking* de alternativas posicionó en los primeros puestos a la AG-RSU\_III y AG-RSU\_IV. En la Tabla 12.4, se puede observar que la AG-RSU\_III ha sido seleccionada por ocho (8) participantes, consistentemente con más fortalezas, menos debilidades y mejor flujo neto. Solamente, un participante seleccionó la AG-RSU\_IV. También, se muestra un análisis de sensibilidad del resultado y el mismo se muestra sin alteraciones, permaneciendo el orden establecido de las AG-RSU. De este modo, el gobierno cuenta con dos alternativas competitivas desde diferentes dimensiones.

Particularmente, el perfil de los participantes fue heterogéneo desde el punto de vista político como de su vinculación con la comunidad. En este sentido, algunos participantes representaron al gobierno local, tanto Poder Ejecutivo (Intendencia y Secretaría de Gobierno) como Legislativo (Consejo Deliberante) (Ver Tabla 12.3). En tanto, otros participantes exhibieron la opinión de otras instituciones locales de gran relevancia para el desarrollo local y regional como centros educativos, cooperativa de servicios públicos y medios de comunicación.

Tabla 12.4 Alternativas elegida por participante según flujos y diferencias en los umbrales de preferencia e indiferencia absoluta

Umbrales	$q_j=20\%$ y $p_j=80\%$						$q_j=30\%$ y $p_j=70\%*$							
	Flujos		Neto		Fortaleza		Debilidad		Neto		Fortaleza		Debilidad	
Alternativas	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
AG-RSU_I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AG-RSU_II	0	0	0	0	0	55, 5	0	0	0	0	0	0	0	0
AG-RSU_III	8	88,8	8	88, 8	5	0	8	88, 8	8	88, 8	2	22,2		
AG-RSU_IV	1	11,1	1	11, 1	4	44, 4	1	11, 1	1	11, 1	7	77,7		
AG-RSU_V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Total	9	100	9	100	9	100	9	100	9	100	9	100		

Nota:  $q_j$  umbral de indiferencia, y  $p_j$  umbral de preferencia absoluta. \* Valores utilizados para la sensibilidad. Fuente: Elaboración propia

## Evaluación de los talleres

Por último, se evaluó el procedimiento planteado en este caso. El instrumento utilizado para la evaluación fue un cuestionario semiestructurado de 9 preguntas, con el cual se les solicitó a los participantes su valoración personal de los talleres y el método PROMETHEE. Las preguntas (P1, ...P5) se estructuraron de acuerdo a una escala de respuesta. En tanto en las preguntas restantes se utilizaron para que los participantes agregaran sugerencias, cambios de criterios y/o alternativas valoradas. En la Tabla 12.5 se observan los resultados y estadísticas por pregunta evaluada.

Tabla 12.5 Evaluación del taller por interrogante

	Escala 1 a 5				Escala 1 a 10
	P1	P2	P3	P4	P5
Promedio	4,5	4,3	4,0	4,4	9,0
Desvío Estándar	0,53	0,71	0,76	0,52	0,76
CV	12%	17%	19%	12%	8%
Moda	5,0	4,0	4,0	4,0	9,0
Respuestas Validas	9	9	9	9	9

---

Nota: P1 (Claridad de la exposición); P2 (Importancia del problema bajo estudio); P3 (Metodología de trabajo); P4 (Forma de estudio del problema); P5 (Nota del taller = 1: No satisfactorio, 10: Excelente). Fuente: Elaboración propia

---

En general, los resultados de la evaluación del taller fueron muy satisfactorios. Del total de participantes, el 100% respondieron el cuestionario entregado, donde las preguntas más estructuradas por escala fueron las que mayor nivel de respuesta tuvieron. Los participantes asignaron importancia del problema bajo estudio y la forma en que éste se desarrolló. La metodología de trabajo en general fue muy apropiada y las exposiciones llevadas a cabo en los tres talleres también fueron muy claras. Por último, la nota promedio establecida al taller fue de 9 puntos.

## Conclusiones

En este trabajo, se diseñaron cinco alternativas de gestión de residuos sólidos urbanos (AG-RSU) y se valoraron con cinco criterios para el Municipio de Santa Eufemia, Córdoba, Argentina. Las alternativas son: *AG-RSU\_1* tendencial; *AG-RSU\_2* valorización local y deposición final controlada; *AG-RSU\_3* compostaje en el hogar; valoración y deposición controlada; *AG-RSU\_4* separación en el hogar; tratamiento de inorgánico a la planta regional; *AG-RSU\_5* separación en el hogar, recolección diferenciada, valoración y deposición controlada. Los criterios son: *Inversiones*; *CEM*; *EGEI*; *Involucramiento Social* y *EPI*. También, se relevaron las preferencias del gobierno Municipal, de los actores invitados por éste, y se utilizó el método multicriterio PROMETHEE para elaborar el *ranking* de propuestas.

Los hallazgos de este trabajo tienen implicancias muy importantes para mejorar la performance ambiental, económica y social de la gestión de los RSU. El estudio del caso muestra que es posible hallar una alternativa con capacidad de reducir las *EGEI* (en más del 50%) y al mismo tiempo la tarifa por el servicio podría ser 32% menor (equivalente al *CEM*) que la *AG-RSU\_1*. Se puede apreciar que el Municipio al interactuar e involucrar a la

sociedad civil tuvo un fuerte apoyo para diseñar, valorar y seleccionar las alternativas, donde los participantes reconocen las virtudes y las dificultades de las alternativas.

También, se hallaron algunas dificultades para transformar la modalidad actual de gestión de RSU. El estudio muestra que se requiere una importante inversión financiera para ejecutar la PG-RSU\_3 y un período importante de desfasaje para empezar a percibir los beneficios de la propuesta implementada.

Esta dificultad debe ser considerada no solo por el gobierno local sino también por el gobierno provincial y nacional que han establecido nuevas exigencias en la gestión de RSU y por las ventajas económicas y ambientales halladas en este trabajo. De hecho, si este caso de estudio se constituye en “piloto demostrativo” para un programa provincial de GRSU en las localidades de hasta 6000 habs., el mismo puede tener como meta: un ahorro económico anual entre \$190 MM y \$230 MM (respectivamente 13 y 16 MM U\$D) en las tarifas de los usuarios, y una meta ambiental de reducción anual de las emisiones de GEI entre 780.000 y 820.000 tn CO<sub>2</sub> eq., para el año 2035. Además de las ventajas cualitativas señaladas en el estudio por cambios en el comportamiento de la sociedad en la GRSU, el diseño del programa ofrece también la posibilidad para direccionar estratégicamente el desarrollo, el poblamiento y la gestión de los recursos económicos tanto locales, provinciales e interesar a otras fuentes de financiamiento (nacionales o internacionales).

Aunque los resultados son promisorios es importante alertar al lector que el estudio tiene dos limitaciones. En primer lugar, la información utilizada para el diseño y cuantificación de las propuestas fue a nivel de perfil (debe considerarse en términos relativos). En este sentido, el diseño técnico probablemente puede desarrollar otras alternativas para procesamiento de los RSU. También, el valor de las inversiones nominales de educación, capacitación y extensión para cambiar el comportamiento social representa una muestra de la falta de datos sobre el tema. De hecho, no se encuentra referencia bibliográfica sobre los costos aproximados para inducir cambios de comportamiento social en la GRSU que permita asignar un valor aproximado, y consecuentemente se asumieron en forma arbitraria con conocimiento de los actores involucrados. Por ello, previo a la implementación del proyecto se requeriría de estudios de factibilidad que muestren los valores reales u otra información primaria. De allí la importancia, de realizar las experiencias piloto demostrativas en una población como Santa Eufemia para comprender mejor los procesos de gestión de residuos sólidos urbanos en pequeñas localidades. En segundo lugar, no se ha considerado la estrategia comercial de los productos derivados del reciclaje o la reutilización, y se asume que no demandarían recursos adicionales. Sin embargo, se desconoce si el volumen de estos productos puede constituirse en un negocio comercial.

## *Referencias bibliográficas*

- Adhikari, B. K., Trémier, A., Martinez, J., y Barrington, S. (2010). Home and community composting for on-site treatment of urban organic waste: perspective for Europe and Canada. *Waste Management & Research*28, 1039-1053.
- Aleluia, J., y Ferrão, P. (2017). Assessing the costs of municipal solid waste treatment technologies in developing Asian countries. *Waste Management*.
- Arikan, E., Şimşit-Kalender, Z. T., y Vayvay, Ö. (2017). Solid waste disposal methodology selection using multi-criteria decision making methods and an application in Turkey. *Journal of Cleaner Production*142, 403-412.

- Armijo, C. (2005). El manejo de los residuos sólidos municipales bajo una visión de responsabilidad compartida. Instituto de Ingeniería, UABC. Memorias del V Foro de Consulta Pública sobre "El manejo responsable e inteligente de los residuos domésticos, industriales y urbanos en Ensenada, B.C.".
- Ayalon, O., Avnimelech, Y., y Shechter, M. (2001). Solid waste treatment as a high-priority and low-cost alternative for green house gas mitigation. *Environmental Management* 27, 697-704.
- Brans, J.-P., y Mareschal, B. (2005). Promethee methods. "Multiple criterio decision analysis: state of the art surveys". (J. Figueira, S. Greco y M. Ehrgott, eds.), Vol. 78, pp. 163-195, Kluwer Academic.
- Chen, T.-C., y Lin, C.-F. (2008). Green house gases emissions from waste management practices using Life Cycle Inventory model. *Journal of Hazardous Materials* 155, 23-31.
- Chidiak, M., y Bercovich, N. (2004). "Microcréditos y servicios ambientales urbanos: Casos de gestión de residuos sólidos en Argentina," CEPAL, Naciones Unidas, Santiago de Chile.
- Chien Bong, C. P., Ho, W. S., Hashim, H., Lim, J. S., Ho, C. S., Peng Tan, W. S., y Lee, C. T. (2017). Review on the renewable energy and solid waste management policies towards biogas development in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 70, 988-998.
- de Prada, J., Degioanni, A., Cantero, A., Tello, D., Gil, H., Cahe, E., Cisneros, J., Becerra, V., y Pereyra, C. (2017a). Procedimiento multicriterio en fases para la construcción de la visión territorial local. Aplicación en la localidad de Santa Eufemia, Córdoba, Argentina. . *REVISTA ARGENTINA DE ECONOMÍA AGRARIA. Volumen XVII - Número 1*.
- de Prada, J. D., Degioanni, A., Cisneros, J. M., Galfioni, M. A., y Cantero G., A. (2017b). Evaluación multicriterio de la expansión urbana, visión 2030. El caso Río Cuarto, Córdoba, Argentina. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* 17, 153-167.
- Delgadino, F., Rodriguez, J. M., Albrisí, S., Mosquera, M., Rubinstein, H., Moiso, E., Arranz, P., Brarda, J. P., y Speranza, P. (2011). "Proyecto Córdoba 2025. Resumen Ejecutivo." Universidad Nacional de Córdoba y Cámara Argentina de la Construcción Córdoba, Argentina.
- Delgado, C. C. (2013). Del consumismo al consumo sostenible. 14.
- El-Hamouz, A. M. (2008). Logistical management and private sector involvement in reducing the cost of municipal solid waste collection service in the Tubas area of the West Bank. *Waste Management* 28, 260-271.
- ENGIRSU (2009). Estrategia Nacional Para La Gestión Integral De Residuos Sólidos Urbanos. República Argentina. Ministerio de Salud y Ambiente. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable., 19.
- EPA (2016). Documentation for Greenhouse Gas Emission and Energy Factors Used in the Waste Reduction Model (WARM).. pp. 54.
- Falconí, F., y Burbano, R. (2004). Instrumentos económicos para la gestión ambiental: decisiones monocriteriales versus decisiones multicriteriales. *Revibec: revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica* 1: 011-20.
- FAO (2001). Perfiles Nutricionales por Países. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación., pp. 30.
- Gaiani, S., Caldeira, S., Adorno, V., Segrè, A., y Vittuari, M. (2017). Foodwasters: Profiling consumers' attitude to waste food in Italy. *Waste Management*.

- Gupta, N., Yadav, K. K., y Kumar, V. (2015). A review on current status of municipal solid waste management in India. *Journal of Environmental Sciences* 37, 206-217.
- Hargreaves, J. C., Adl, M. S., y Warman, P. R. (2008). A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 123, 1-14.
- Hernandez Reyes, M. (1996). "Análisis Económico de Experimentos Agrícolas con Presupuestos Parciales: Re-enseñando el uso de este enfoque. pp.9." ICTA, Guatemala.
- Hoornweg, D., y Bhada-Tata, P. (2012). "What a waste: a global review of solid waste management." The World Bank.
- INDEC (2001). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas del año 2001. Instituto Nacional de Estadística y Censos. (Economía., ed.), Argentina.
- INDEC (2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. Año del Bicentenario. Instituto Nacional de Estadística y Censos. (Economía., ed.), Argentina.
- IPCVA (2015). "Estudio de Usos y Actitudes sobre el consumo de Carne Vacuna en Argentina. Ing. Agr. M. Sc. Adrian Bifaretti". IPCVA.
- Jouhara, H., Czajczyńska, D., Ghazal, H., Krzyżyńska, R., Anguilano, L., Reynolds, A. J., y Spencer, N. (2017). Municipal waste management systems for domestic use. *Energy* 139, 485-506.
- Korai, M. S., Mahar, R. B., y Uqaili, M. A. (2017). The feasibility of municipal solid waste for energy generation and its existing management practices in Pakistan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 72, 338-353.
- Lauf, P. (2008). Comparison Of Recycling Rates Of Three Adjacent Communities In St. Clair County, Illinois. *Belleview, IL 62223*.
- Oliveira, L. S. B. L., Oliveira, D. S. B. L., Bezerra, B. S., Silva Pereira, B., y Battistelle, R. A. G. (2017). Environmental analysis of organic waste treatment focusing on composting scenarios. *Journal of Cleaner Production* 155, 229-237.
- Pin, B. V. R., Barros, R. M., Silva Lora, E. E., y Dos Santos, I. F. S. (2018). Waste management studies in a Brazilian microregion: GHG emissions balance and LFG energy Project economic feasibility analysis. *Energy Strategy Reviews* 19, 31-43.
- Roura, H., y Cepeda, H. (1999). Manual de identificación, formulación y evaluación de proyectos de desarrollo rural. ILPES, Santiago de Chile.
- Saidón, M. (2013). Resultados evidenciados en un programa de reciclado de residuos domiciliarios en Quilmes (Argentina). *Revista Gestión y Ambiente. Volumen 16 - No. 1. Medellín. Colombia. ISSN 0124.177X. pp 71-8416.*
- Soltani, A., Hewage, K., Reza, B., y Sadiq, R. (2015). Multiples take holders in multi-criteria decision-making in the context of Municipal Solid Waste Management: A review. *Waste Management* 35, 318-328.
- Szantó Narea, M. (1996). "Guía para la identificación de proyectos y formulación de estudios de prefactibilidad para manejo de residuos sólidos urbanos," ILPES.
- Szantó Narea, M. (1998). "Guía para la preparación, evaluación y gestión de proyectos de residuos sólidos domiciliarios", ILPES.

Sztern, D., y Pravia, M. A. (1999). "Manual for the development of composting conceptual bases and procedures". "Panamerican Health Organization, World Health organization should"?; Presidency of the Republic Montevideo, Uruguay.

Torres-Degró, A. (2011). Tasas de crecimiento poblacional (r): Una mirada desde el modelo matemático lineal, geométrico y exponencial. México. *CIDE digital. Vol. 2. N° 1*.

Wei, Y., Li, J., Shi, D., Liu, G., Zhao, Y., y Shimaoka, T. (2017). Environmental challenges impeding the composting of biodegradable municipal solid waste: A critical review. *Resources, Conservation and Recycling* 122, 51-65.

Zhou, H., Long, y., Meng, A., Li, Q., y Zhang, Y. (2015). Interactions of three municipal solid waste components during co-pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*.

## Anexo Capítulo 12

Tabla 12.6. Inversiones por propuesta de gestión de residuos sólidos urbanos (PG-RSU), Santa Eufemia

Descripción	Costos *	PG-RSU_1	PG-RSU_2	PG-RSU_3	PG-RSU_4	PG-RSU_5
Nivelación y sistematización del BCA. Construcción de enterramiento, impermeabilización con geomembrana y estabilización de residuos actuales.	50.000					
Alambrado y forestación del predio Municipal (Relleno sanitario)	150.000					
Construcción de accesos al predio, portón de ingreso y señalizaciones	45.000					
Camión compactador (4x2)	1.750.000					
Camión compactador (6x2 con balancín)	2.250.000					
Instalación de 15 basureros en espacios públicos de la localidad, junto a 10 contenedores para reciclado de plásticos.	20.000					
Hidrolavadora	50.000					
Reparación /Recambio de barredoras.	50.000 / 250.000					
Compra de 2 nuevas desmalezadoras	20.000					
Instalación de iluminaria en el predio Municipal (Relleno sanitario)	2.000.000					
Instalación red de agua potable en predio Municipal (Relleno sanitario)	1.000.000					
Extensión y educación ambiental	250.000					
	400.000					
	100.000					
Sub total	2.135.000 (150.353)	5.435.000 (382.746)	2.985.000 (210.211)	3.085.000 (217.254)	5.585.000 (393.310)	

---

Nota: \*costos aproximados en pesos y en (U\$D). Valor de la divisa \$14.2=1U\$D (Mayo 2016). Fuente: Elaboración propia.

---