

PALABRAS CLAVE

Residuos sólidos urbanos
Análisis multicriterio
Gestión ambiental

KEYWORDS

Urban solid waste
Multi-criteria analysis
Environmental management

EL ANÁLISIS MULTICRITERIO COMO HERRAMIENTA PARA LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS. EL CASO CAÑUELAS, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

MULTI-CRITERIA ANALYSIS AS A TOOL FOR THE SELECTION OF WASTE TREATMENT ALTERNATIVES. THE CAÑUELAS CASE, BUENOS AIRES

> **SANTIAGO RODRÍGUEZ ALONSO**
Universidad de Buenos Aires
Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo

RECIBIDO

7 DE OCTUBRE DE 2020

ACEPTADO

15 DE SETIEMBRE DE 2021



EL CONTENIDO DE ESTE ARTÍCULO
ESTÁ BAJO LICENCIA DE ACCESO
ABIERTO CC BY-NC-ND 2.5 AR

> **CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO (NORMAS APA):**

Rodríguez Alonso, S. (2021, mayo-octubre). El análisis multicriterio como herramienta para la selección de alternativas de tratamiento de residuos. El caso Cañuelas, provincia de Buenos Aires. [Archivo PDF]. *AREA*, 27(2), pp. 1-11. Recuperado de https://www.area.fadu.uba.ar/wp-content/uploads/AREA2702/2702_rodriguez-alonso.pdf

RESUMEN

La gestión de residuos en municipios de mediana escala (50 mil a 200 mil habitantes) del Área Metropolitana de Buenos Aires se realiza informalmente. En este artículo se propone estudiar y seleccionar alternativas de tratamiento y disposición final de residuos a través de un análisis multicriterio, teniendo en cuenta los sociales, políticos, económicos y ambientales.

A partir de las alternativas disponibles, estos criterios, las encuestas y entrevistas realizadas, se llevó a cabo el análisis multicriterio, el cual demostró ser una herramienta capaz de evaluar diversas alternativas con relación a variables complejas de comparar como ocurre en la gestión de residuos.

ABSTRACT

Waste management in medium-scale municipalities (50 thousand to 200 thousand inhabitants) of the Metropolitan Area of Buenos Aires is carried out informally. In this work it is proposed to study and select alternatives for the treatment and final disposal of waste through a multi-criteria analysis, taking into account social, political, economic and environmental criteria.

From the available alternatives, the mentioned criteria and the surveys and interviews carried out, the Analytic Hierarchy Process was carried out, which proved to be a tool capable of evaluating various alternatives in relation to numerous criteria, with complex variables to compare as occurs in waste management.

> ACERCA DEL AUTOR

SANTIAGO RODRÍGUEZ ALONSO. Magíster en Gestión Ambiental Metropolitana por la Universidad de Buenos Aires (UBA). Arquitecto por la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (FADU-UBA). Adjunto de Introducción a los Sistemas de Información Territorial (FADU-UBA). Miembro de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS).

✉ <santiago.rodriguez@fadu.uba.ar>

Introducción

La mayor parte de la población mundial se concentra en las zonas urbanas (Naciones Unidas, 2016), presentándose así problemas urbano-ambientales y de gobernanza¹ en las ciudades, producto de una acelerada urbanización iniciada a partir de mediados del siglo XX.

Esta situación formó ciudades que no se prepararon para las demandas de sus habitantes. Su crecimiento adquirió un carácter desordenado (Aponte Páez, 2007). De acuerdo con las proyecciones de crecimiento de población a nivel mundial para 2011 se contaba con 7 mil millones de habitantes, tendencia que seguirá en aumento, donde algunos escenarios indican que los 9 mil millones se alcanzarán para el 2043, imponiendo cada vez mayores presiones sobre los recursos naturales (UNEP, 2012).

Uno de los mayores desafíos a los que se enfrentan las ciudades actualmente, sobre todo de los países en desarrollo o subdesarrollados, está relacionado con los residuos. Su gestión implica un gran volumen de recursos de todo tipo, en un contexto de desarticulación normativa, carencia de coordinación interjurisdiccional y falta de conocimientos técnicos al respecto.

En este marco, se encuentran basurales a cielo abierto, rellenos sanitarios colapsados, planes y proyectos tendientes a incrementar la recuperación y el reciclado de los residuos, como así también, una falta de recursos económicos, incentivos y desconocimiento de los escenarios futuros. De esta forma, la gestión integral de los residuos sólidos urbanos (GIRSU) se presenta en una crisis, que incluye retos ambientales, políticos, sociales, técnicos y económicos derivados de la falta de un abordaje integral del sistema de gestión, que comprenda una etapa de transición entre la gestión actual y una gestión sustentable (Cittadino, Zamorano, Igarzabal de Nistal, Majul, Ocello, Ajhuacho y D'hers, 2012).

El paradigma futuro a nivel mundial está cambiando en términos teóricos y académicos, llevando a la GIRSU a interpretar al residuo como un recurso, introduciendo lo que se denomina *economía circular*, concepto económico que se interrelaciona con la sostenibilidad y cuyo objetivo es que el valor de los productos, los materiales y los recursos, se mantengan durante el mayor tiempo posible, y que se reduzca al mínimo la generación de residuos. Se trata de implementar una nueva economía no lineal, basada en el

principio de “cerrar el ciclo de vida” de los productos, los servicios, los residuos, los materiales, el agua y la energía. En términos de este estudio se la define como la intersección de los aspectos ambientales, económicos, políticos y sociales (Economía Circular, s.f.). El sistema económico-lineal (extracción, fabricación, utilización y eliminación), tiene límites que muy probablemente se hayan logrado o estén alcanzando. La economía circular propone un nuevo modelo de sociedad que utiliza y optimiza los flujos de materiales, energía y residuos, cuyo objetivo es la eficiencia del uso de los recursos. Los residuos de unos se convierten en recursos para otros.

El reciclaje, la separación en origen, la recuperación y el reúso constituyen aportes fundamentales para la GIRSU, considerados, a veces como pretratamientos (Schejtman e Irurita, 2012), alternativas que se pueden clasificar básicamente en tratamientos Físicos, Biológicos, Químicos o Combinados (Tchobanglous, Thiesen y Vigil, 1994; Soltani, Hewage, Reza y Sadiq, 2014).

Desarrollo

Para este trabajo se realizaron en el Municipio de Cañuelas, localidad ubicada a unos 60 km al suroeste de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, entrevistas y encuestas para ser utilizadas en el análisis multicriterio con el objeto de seleccionar alternativas de tratamiento y disposición final de residuos sólidos urbanos (RSU) considerando los aspectos, sociopolíticos, económicos y ambientales del municipio. Visto la gama de tecnologías existentes, cuando se considera implementar alguna de ellas en la GIRSU, deben formularse preguntas claves, para no incurrir en proyectos no realizables:

- > ¿La tecnología propuesta está disponible?
- > ¿Hay mano de obra capacitada para tal fin?
- > ¿La tecnología propuesta es la que mejor cubre las necesidades específicas del área de intervención?
- > ¿Cuáles son los costos y los requerimientos de operación y mantenimiento del sistema?
- > ¿El presupuesto asignado puede afrontar dichos gastos?
- > ¿Se está haciendo la mejor elección económica considerando el costo, riesgo de la inversión y flexibilidad en la operación ante cambios futuros?

1. Gobernanza refiere a eficacia, la calidad y la satisfactoria orientación de un Estado, hecho que le atribuye a este una buena parte de su legitimidad. Promueve un nuevo modo de gestión de los asuntos públicos, fundamentado en la participación de la sociedad civil a todos sus niveles: nacional, local, internacional y regional (Ucha, 2011).

- > ¿Hay apoyo político detrás de esta política de estado de invertir en una GIRSU?
- > ¿La solución adoptada es ambientalmente adecuada?
- > ¿Se tienen en cuenta los aspectos y el contexto social?
- > ¿Cómo afecta a dichos aspectos una nueva gestión?

En este contexto la selección de alternativas a aplicar depende de múltiples variables, por lo cual el análisis multicriterio (Saaty, 1988) puede resultar una herramienta útil.

Este se define como el mundo de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos usados para auxiliar a los centros decisores a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos con base en una evaluación de acuerdo con una serie de criterios (Bosque Sendra y García, 1999). Es una herramienta de ayuda a la toma de decisiones (Gutiérrez Angonese, Gómez Delgado y Bosque Sendra, 2010). Permite tener una visión integral y un mejor acercamiento a la problemática de los RSU en referencia a las alternativas de tratamiento y disposición, sobre un contexto con las variables sociales, políticas, tecnológicas, económicas y ambientales. Ofrece la flexibilidad necesaria para analizar los efectos de decisiones con connotaciones cualitativas, multidimensionales relacionadas. Posibilita estructurar un problema, sus elementos, ordenar sus juicios, sintetizarlos y combinarlos de modo de priorizar de forma clara las alternativas de mejor a peor. Puede incorporar factores tanto cualitativos como cuantitativos para luego combinarlos, e incrementar su funcionalidad permitiendo arribar a mejores decisiones. De esta forma se procura un mejor acercamiento a la complejidad, entendiendo que la misma se ve reflejada en la aceptación de diferentes criterios de descripción de una misma realidad (Funtowicz, Martínez-Aler, Munda y Ravetz, 1999). Este modelo busca un equilibrio o compromiso entre un conjunto de objetivos usualmente en conflicto que pretende satisfacer, en la medida de lo posible, una serie de metas asociadas a dichos objetivos (Jorques Jiménez, 1997). Se logra un balance entre las ganancias y pérdidas, ventajas y desventajas. Es el tipo de racionalidad que se usa para tomar decisiones (Riascos, 2010). Dentro de la variedad de métodos de evaluación o análisis multicriterio, el denominado Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process-AHP), es uno de los más utilizados y que mayor desarrollo ha tenido.

El AHP, propuesto por Thomas Saaty en 1980, se basa en la idea de que la complejidad inherente a un problema de toma de decisión con criterios múltiples se puede resolver mediante la jerarquización de los problemas planteados. Ante un problema de toma de decisión, el AHP, mediante la construcción de un modelo jerárquico, permite organizar la información respecto del problema, descomponerla y analizarla por partes y, por último, realizar una síntesis. Entre marzo 2014 y octubre de 2016 se realizaron en el Municipio de Cañuelas las entrevistas y encuestas para ser utilizadas en el análisis multicriterio (Saaty, 1988) para dar cumplimiento a las diferentes etapas que comprende el AHP. En tal sentido, con los resultados de las encuestas y entrevistas se puede dar inicio a la *Modelización*. En esta etapa se construye una estructura jerárquica en la que quedan representados todos los aspectos considerados relevantes en el proceso de resolución: actores, escenarios, factores o criterios, elementos o alternativas, y sus interdependencias. La jerarquía resultante debe ser completa, representativa, no redundante y minimalista, tal como se refleja en la Figura 1 (en p. 7). Su construcción es la parte más creativa del proceso de resolución, pudiendo aparecer posiciones enfrentadas entre los distintos participantes. Un punto importante de esta metodología es que se debe trabajar solo con aquellas alternativas factibles. Posterior a ello, se realiza la *Valorización*, que comprende la incorporación de preferencias, gustos y deseos de los actores mediante los juicios incluidos en las denominadas matrices de comparación por pares. Estas matrices cuadradas reflejan la dominación relativa de un elemento frente a otro respecto a un atributo o propiedad común, como se puede ver en la Tabla 1 (en p. 8). El significado teórico es el siguiente, de los dos elementos comparados, se toma como referencia el que posee en menor medida o grado la característica en estudio y se da un valor numérico de las veces que *el mayor* domina o es más preferido que *el menor* respecto al atributo estudiado. En la etapa siguiente se realiza la *Priorización y síntesis*, la cual proporciona las diferentes prioridades consideradas en la resolución del problema. Se entiende por prioridad una unidad abstracta válida para cualquier escala en la que se integran las preferencias que el individuo tiene al comparar aspectos tangibles e intangibles. En el problema de decisión se consideran tres tipos de prioridades:

- > Las prioridades locales son aquellas cuyos elementos cuelgan de un nodo común.
- > Las prioridades globales definen la importancia de esos elementos respecto a la meta global fijada para el problema. La forma de calcular las prioridades globales consiste en aplicar el principio de composición jerárquica: multiplicando los diferentes pesos (prioridades locales) que aparecen en el recorrido de la jerarquía desde el elemento inferior hasta la meta.
- > La prioridad final o total se obtiene agregando las prioridades globales obtenidas para una alternativa en los diferentes caminos a que la unen con la meta. El método habitualmente empleado en el AHP para la agregación, es el equivalente a la suma ponderada (suma de todas las prioridades globales para dicha alternativa).

Para concluir se suele hacer un análisis para examinar el grado de sensibilidad del modelo y los resultados obtenidos, al realizar cambios menores (+/- 5%) en las prioridades de los criterios principales de un problema. Lo que se lleva a cabo es un cambio en la prioridad de un determinado criterio manteniendo las proporciones de las prioridades de los otros criterios, de manera que todos ellos, incluido el criterio alterado, al modificarse sigan sumando la unidad. Los métodos de evaluación y decisión multicriterio se vienen aplicando en diversos casos para la selección de la mejor alternativa o para generar un *ranking* de las alternativas consideradas, teniendo en cuenta diversos criterios de evaluación que usualmente son conflictivos o contrapuestos. Marta Liliana Cerrano, Luiz Flavio Autran Monteiro Gomes y Guillermo Corres (2005) utilizaron el AHP para desarrollar un modelo de decisión multicriterio que permita establecer prioridades entre proyectos alternativos de una cooperativa eléctrica. Claus Köbrich, Mario Maino y Fernando Aguilar (2009) realizaron la priorización de humedales según el riesgo de ingreso de influenza aviar. Rajesh Bahadur y Yuji Murayama (2008) integraron el multicriterio AHP con un sistema de información geográfico (SIG) para evaluar el uso de la tierra para agricultura periurbana en Vietnam. También combinando AHP con un SIG, Roberta de Oliveira Aversa Valente y Carlos Alberto Vettorazzi (2008) definieron áreas prioritarias para la conservación del bosque en Brasil; en tanto Silvia Matteucci, Pablo Herrera, Francisco Miñarro, Jorge Adámoli, Sebastián Torrella

y Rubén Ginzburg (2007) identificaron áreas aptas para la conservación y áreas aptas para la producción ganadera, en los Bajos Submeridionales Santafesinos. En el caso de la gestión integral de residuos sólidos existen más de 68 trabajos en donde se utilizó esta metodología (Soltani, Hewage, Reza y Sadiq, 2014). Para cumplir con este análisis se consideró: *Selección de alternativas de tratamiento y disposición final de residuos sólidos urbanos*.

Del amplio abanico de alternativas existentes de GIRSU se seleccionaron como posibles, aquellas que ya tienen experiencia en el país teniendo en cuenta los postulados de la Agenda XXI de la Cumbre de Río '92, en su capítulo 21, el "Manejo Ecológicamente Racional de los Residuos Sólidos" y de la Cumbre de Johannesburgo 2002 (Figura 1, p. 7). Se tuvieron en cuenta, además, los siguientes aspectos:

- > *Aspectos Generales:* principios, nivel de conocimiento de la tecnología, responsabilidad, adaptación a la evolución tecnológica y situación a nivel mundial.
- > *Aspectos Ambientales:* efectos nocivos, afectación al paisaje, afectación a la salud, contaminación de suelos, de napas, de aire, contaminantes orgánicos, entre otros
- > *Aspectos Técnicos:* volumen de operación, averías y mecanismos de mantenimiento, riesgos de incendio y de explosión, y similares.
- > *Aspectos Económicos:* costos operativos y de mantenimiento, nivel de conocimiento en lo que respecta a los costos, recuperación de energía, inversión inicial, entre otros.
- > *Aspectos Energéticos:* eficiencia energética. Capacidad de utilización de la energía entregada en la etapa de operación de la alternativa.

Las alternativas seleccionadas finalmente fueron:

- > *Alternativa 1.* Planta de Tratamiento Mecánico Biológico, donde se separan los residuos por tipo (secos y húmedos) y luego se retiran por medio de imanes, todos los metales. Posteriormente los secos se clasifican para su posterior comercialización, mientras que los residuos húmedos reciben un tratamiento biológico, donde se los estabiliza para su posterior uso como suelo de relleno, cobertura o enmienda orgánica. La fracción de rechazo se dispone en relleno sanitario tradicional.

- > *Alternativa 2.* Valorización Energética, incineración con cogeneración de energía eléctrica de la fracción de rechazo de RSU.
- > *Alternativa 3.* Separación en origen y en Planta de Separación manual de reciclables potencialmente comerciables y Planta de Compostaje (FIRSU y FORSU)², mientras que la Fracción Rechazo se dispone en relleno sanitario tradicional.
- > *Alternativa 4.* Relleno Sanitario tradicional de tipo biorreactor. Con impermeabilización en paquete conformado por suelo bentonita, membrana geotextil y arcilla. Sin tratamientos previos.

Selección de criterios

Para escoger alguna de las alternativas descriptas, es necesario definir previamente los criterios. Los mismos son básicos para poder ponderar las alternativas en base a la opinión de los sectores técnicos (profesionales y ambientalistas), el sector político y la población en general, para lo cual es necesario el desarrollo de encuestas y entrevistas. Los criterios son variables simples o complejas, numéricas o nominales, que servirán para evaluar las alternativas (Saaty, 1988). La selección de los criterios se hizo sobre la base de los objetos o procesos asociados a cada objetivo. Inicialmente se definieron muchos criterios por pensamiento libre, pero luego se seleccionaron aquellos que eran cuantificables y para los cuales había información disponible, ya que el propósito del trabajo no fue la captura de datos sino la sistematización de la información existente. Las encuestas desarrolladas involucraron a la población en general, en tanto las entrevistas se realizaron al sector político y técnico. Los criterios considerados fueron el social, ambiental, político y económico. Para el desarrollo de las encuestas se realizó una convocatoria³ a la población urbana, rural y de barrios privados a participar de una reunión en la plaza central del municipio. En dicha reunión realizada el 1 de octubre de 2016 se realizó una explicación de las alternativas técnicas seleccionadas para la gestión de residuos del municipio y el porqué de las encuestas. Estas fueron realizadas en forma asistida a 230 personas mayores de 18 años presentes en la convocatoria. Vale destacar que previamente a su realización se evaluó su pertinencia con 10 sondeos al azar. Las encuestas fueron elaboradas a fin de poder cuantificar y/o calificar:

- > la calidad del servicio de recolección y de Higiene urbana en general;

- > la opinión sobre lo pertinente del costo operativo actual de la gestión (Gestión Municipal);
- > la percepción del impacto y deterioro ambiental que genera la gestión actual;
- > el conocimiento y actitud a aceptar los mayores costos al encarar una nueva gestión de residuos que involucren a las alternativas planteadas (aceptación de nuevas tecnologías –preferencias por una o más de una, o combinación de ellas, aun generando mayores impuestos municipales–);
- > el conocimiento sobre la situación de los recuperadores informales que operan en el basural a cielo abierto (BCA);
- > la aceptación a colaborar con las propuestas para llevar adelante una separación en origen;
- > el grado de compromiso para que el proyecto funcione.

Las entrevistas involucraron actores técnicos, políticos y económicos. Se realizaron en total 12 entrevistas que responden a los mismos objetivos de las encuestas, pero a diferencia de estas, los expertos aportan datos concretos desde el conocimiento de su área. La forma de selección fue por conocimiento del profesional, por recomendaciones y el número responde a los que accedieron a su realización. Ambas herramientas (encuestas y entrevistas) apuntaron a distintos criterios:

- > *Criterio Social:* evaluar la aceptación social de la población a través de las encuestas a la adopción y cambio de tecnología en el tratamiento de residuos y a la posibilidad de colaborar con la correcta aplicación de estos.
- > *Criterio Político:* recibir a través de las entrevistas, la visión política desde el sentido de los responsables de la gestión. El período de realización involucró el cambio de gobierno y signo político, y se tuvo oportunidad de entrevistar a representantes salientes y entrantes. En este caso, se debió solicitar por nota, la entrevista con los concejales.
- > *Criterio Económico:* comprende los valores de “Construcción de Infraestructura” y de “Operación y Mantenimiento” por tonelada dispuesta de residuos (descontando el recupero por venta de materiales reciclables, venta de energía u otros beneficios). Dichos valores fueron obtenidos a través de las entrevistas a expertos. Por otra

2. FIRSU es la Fracción Inorgánica de Residuos Sólidos Urbanos de donde se obtienen materias primas para su posterior comercialización *en el caso de que estén limpias y secas (Separados en Origen)*. FORSU es la Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos de donde se obtiene Compost Orgánico, para su posterior comercialización con la Certificación del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) *siempre y cuando estén separadas en origen*.
3. La convocatoria se realizó en redes sociales, con folletería y en la radio local *FM Cosmos 100.1* durante setiembre de 2016.

parte, este criterio fue considerado en las encuestas en la aceptación o no del incremento de impuestos por adoptar nuevas tecnologías de tratamiento.

- > **Criterio Ambiental:** involucró a la población en general a través de las encuestas y a los expertos a través de las entrevistas. Por medio de la encuesta se buscó obtener la percepción de la población respecto de la situación actual de la gestión de residuos. Las entrevistas tendieron a evaluar los impactos ambientales de cada una de las alternativas a considerar.

Modelización

La Figura 1 muestra la estructura del árbol jerárquico construido: objetivo, criterios, subcriterios, y alternativas. Para el Criterio Económico se consideraron dos subcriterios: Costo de infraestructura y Costo de operación y mantenimiento. Para el Criterio Social se consideraron cuatro subcriterios: Mejoras Ambientales, Colaboración con la Separación en Origen e Higiene urbana, Financiamiento Operativo e Impacto Social. Para el Criterio Político se consideraron dos subcriterios: ejecución a corto plazo y a mediano/largo plazo. Finalmente, para el Criterio Ambiental no se consideraron subcriterios. Cada alternativa es evaluada para la última rama del árbol jerárquico, sea criterio o subcriterio.

Valorización

Consiste en priorizar todos los elementos de cada nivel del modelo jerárquico. Involucra la comparación de a pares para cada alternativa considerando los diferentes niveles (subcriterios o criterios últimos del árbol), así como la comparación entre los subcriterios de un determinado criterio, y la comparación de los criterios según el objetivo. Por ejemplo, dentro del Criterio Económico se deberán comparar de a pares los dos subcriterios considerados con relación a las cuatro alternativas: ¿es el costo de infraestructura de la alternativa 1 menos o más preferible que el de la alternativa 2?, ¿es el costo de infraestructura de la alternativa 1 más o menos preferible que el de la alternativa 3? y así sucesivamente para cada par en cada nivel de jerarquía. Las comparaciones pueden hacerse en base a valores reales (el método permite en el caso de contar con los valores exactos para cada alternativa, que dichos valores puedan ingresarse directamente en la comparación, reescalándolos previamente entre 0 y 1) o en forma relativa, de aquí surge el término “más o menos preferible” especificado más arriba. Para realizar dichas comparaciones de a pares se utilizan las escalas de medida aportadas por Saaty (1988). Volviendo al ejemplo, la *Valorización* queda expresada en una matriz cuadrada (Tabla 1, p. 8).

Figura 1

Estructura del árbol jerárquico construido, con criterios y subcriterios en relación con el objetivo. Las líneas entre los subcriterios y las alternativas, las líneas entre los criterios y los subcriterios, y las líneas entre los criterios y el objetivo, son las comparaciones de a pares a realizar. Fuente: elaborado por el autor.

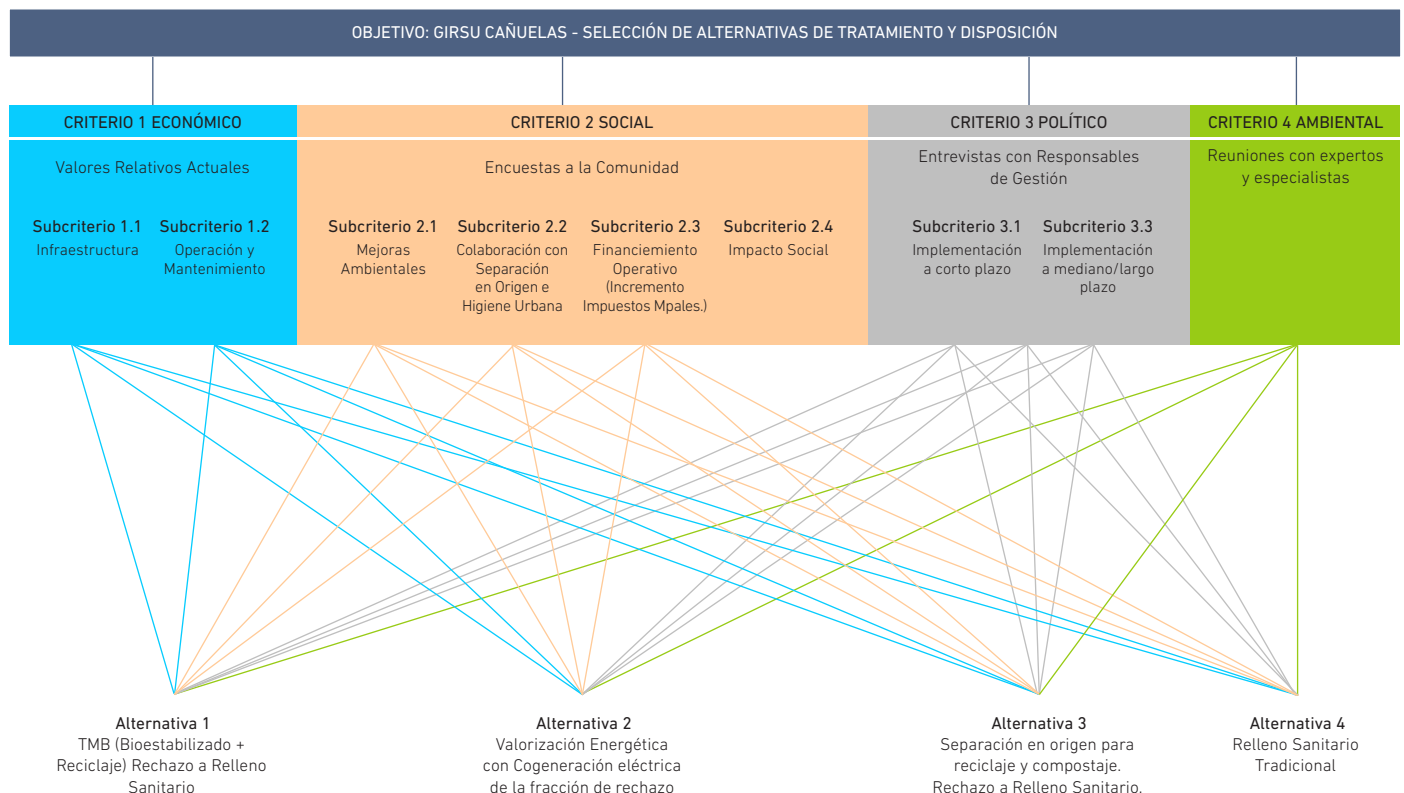


Tabla 1. Ponderación del Subcriterio Infraestructura, del Criterio Económico. Comparación de a pares correspondiente a la Modelización realizada

INFRAESTRUCTURA				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Alternativa 1		3	1/6	1/6
Alternativa 2			1/8	1/8
Alternativa 3				1
Alternativa 4				

Fuente: reelaboración a partir de la tabla publicada por Saaty (1988).

El valor 3 de la tabla representa que la Alternativa 1 es ligeramente preferible (en términos económicos) a la Alternativa 2. El valor 1/6 representa que la Alternativa 3 es notablemente a demostrablemente preferible respecto de la Alternativa 1 y así sucesivamente.

Priorización y síntesis

Una vez construidas las matrices cuadradas con las comparaciones de a pares para cada nivel jerárquico (Alternativas, Subcriterios y Criterios), se utilizó el programa *Expert Choice* para modelar y aplicar la evaluación multicriterio del AHP. Este programa permite estructurar el problema, sus elementos, ordenar sus juicios, sintetizar y combinarlos de modo de priorizar de forma clara las alternativas de mejor a peor. Puede incorporar factores tanto cualitativos como cuantitativos para luego combinarlos, e incrementar su funcionalidad pudiendo llegar a mejores decisiones. Del lado izquierdo de la Figura 2 se muestran los pesos relativos obtenidos para cada criterio (*L*) y subcriterio (*G*) considerado en relación con el objetivo global. Del lado derecho se muestran el resultado final del AHP, con la proporción relativa de cada alternativa. El AHP arrojó que la mejor opción es la Separación en Origen y Reciclado, seguida por el Relleno Sanitario Tradicional,

posteriormente por Planta de Tratamiento Mecánico Biológico (TMB) y en último lugar, Valorización Energética de los Residuos (Figura 2).

Análisis de Sensibilidad

Una vez verificada la consistencia del modelo, se procedió a realizar el análisis de sensibilidad dinámica (Saaty, 1998). Dicho análisis permite ver el cambio en las prioridades de las alternativas cuando se incrementa o decrementa la prioridad de cualquiera de los criterios (Figura 3, p. 9). El modelo se mostró muy consistente dado que se obtuvo una *overall inconsistency*: 0.03, siendo el valor aceptable < 0.1 (Saaty, 1988), demostrando que el resultado obtenido está muy distante de ser aleatorio (Figura 4, p. 9).

Conclusiones

En base a lo analizado, en el manejo de los RSU, operan sistemas con escasos controles ambientales con sus consiguientes riesgos derivados para la salud y el ambiente. Por otra parte, hay otras limitaciones que poseen los gobiernos locales. Raramente en la estructura municipal existe un área responsable de la gestión dotada de los recursos, las herramientas y capacidad técnica para afrontar los esfuerzos que requiere la

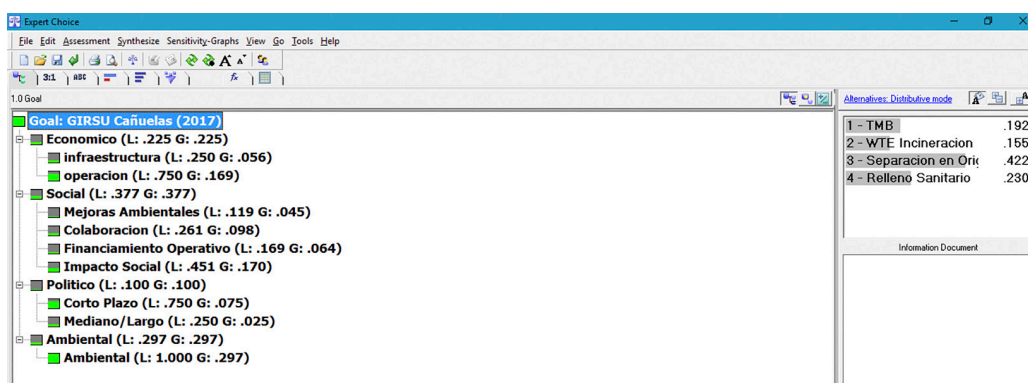


Figura 2

Resultados obtenidos con el programa *Expert Choice*. Fuente: captura de pantalla realizada por el autor.

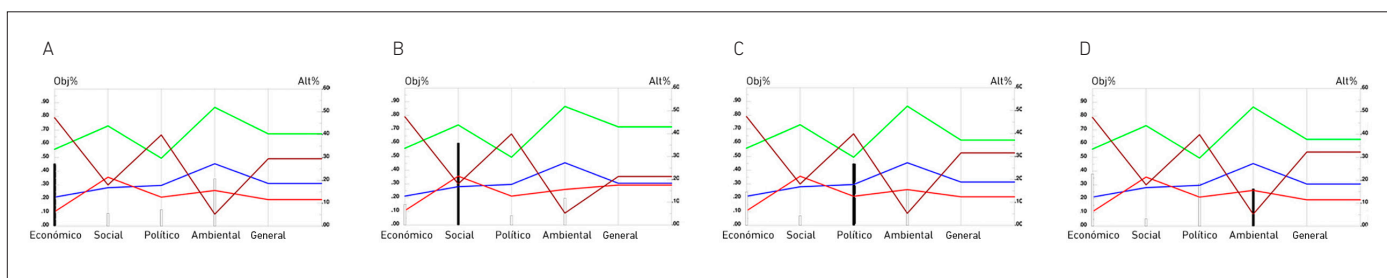


Figura 3

Arriba: resultados del análisis de sensibilidad, alterando A: Criterio Económico. B: Criterio Social. C: Criterio Político D: Criterio Ambiental (Máximo +/- 5% en cada caso). Fuente: elaborado por el autor desde el programa *Expert Choice*.

Sensibilidad de rendimiento para los nodos siguientes. Gol: GIRSU Cañuelas (2017)

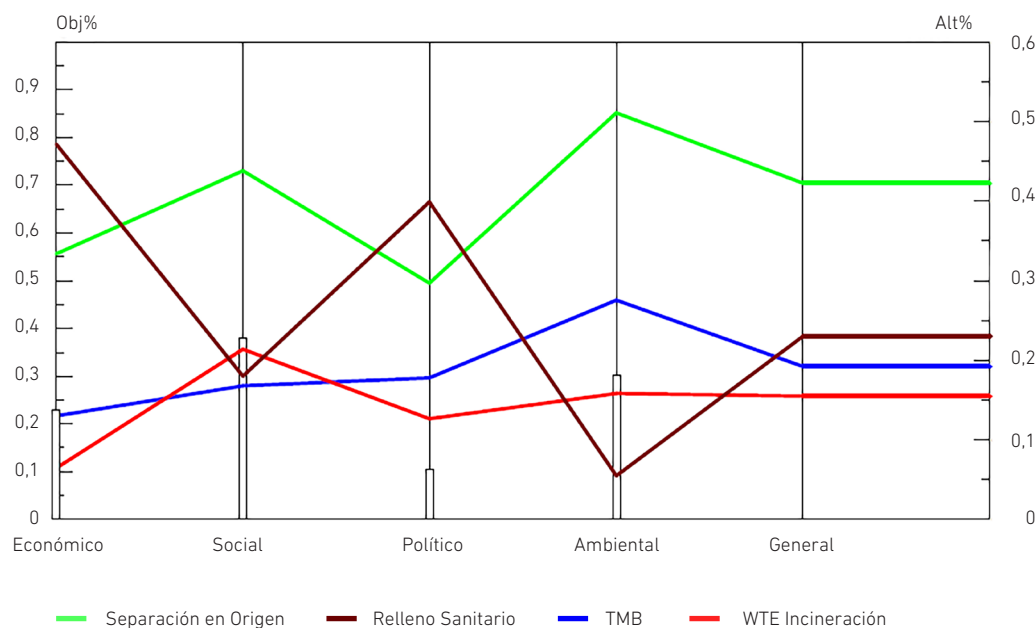


Figura 4

Abajo: resultados obtenidos totales para cada alternativa por criterio. Las barras verticales representan el peso relativo de cada criterio. Para realizar el análisis de sensibilidad se modifican de a uno los criterios hasta un máximo de +/- 5%. Fuente: elaborado por el autor desde el programa *Expert Choice*.

elaboración y desarrollo de planes integrales de gestión de RSU. En muchos casos, la ausencia de información y la falta de criterios uniformes y difundidos, dificulta el diseño e implementación a nivel municipal de planes, programas y proyectos de gestión relacionadas con los RSU. Por otro lado, si bien los residuos insumen una porción importante del presupuesto municipal (+/- 30%) esto alcanza para cubrir prácticamente solo la recolección.

Concluyendo, estas actividades de relevamiento en el territorio y diagnóstico, se resumen los siguientes aspectos más significativos:

- > falta de concientización de la población relacionada con la Gestión de RSU;
- > deficiente manejo de la información pública relacionada con los rellenos sanitarios y su necesidad;
- > percepción errónea de la población relacionada con la identificación de los rellenos sanitarios como basurales a cielo abierto;
- > espacio vacante dejado por la falta de información técnica que fue ocupado por la

deficiente formación de los comunicadores sociales acerca de la *potencial peligrosidad* de los sistemas más novedosos en material de tratamiento de residuos;

- > superficial acercamiento de los tomadores de decisiones a los temas ambientales y específicamente a la problemática de los RSU. La escasa participación pública de los vecinos afectados por algunas instalaciones de Gestión de RSU;
- > falta de una estrategia con continuidad en el tiempo.

Con relación al análisis multicriterio, se ha demostrado que es una herramienta sumamente contundente para la toma de decisiones en especial para evaluar diversas alternativas en lo que respecta a numerosos criterios, con valores complejos de comparar como ocurre en la GIRSU (Soltani, Hewage, Reza y Sadiq, 2014). Aplicando esta metodología, la mejor alternativa a implementar para Cañuelas es la Separación en Origen y Reciclaje seguida por el relleno sanitario. Es imperioso pasar del basural a cielo abierto al relleno sanitario al

tiempo que se deben implementar planes de concientización y educación ambiental para la separación en origen y la adecuación de la infraestructura necesaria para la o las plantas de separación (Eco puntos). A mediano/largo plazo alternativas como el TMB deberían ser consideradas. La población es consciente de la necesidad de separación y reciclaje y se muestra muy predispuesta a colaborar en su

implementación. Por otra parte, debería revisarse la asignación de recursos económicos de la gestión actual de residuos dado que es factible mejorarla, específicamente en el caso de la recolección para lograr un 100% de cobertura. Todos estos cambios deben ser fuertemente dirigidos por el sector político responsable, tomándolo como una política de Estado que debe trascender su propia gestión ■

> REFERENCIAS

- Aponte Páez, F. A. (2007). La sustentabilidad urbana en las ciudades. *Boletim Goiano de Geografia* 27(2), pp. 11-33.
- Bahadur, R. y Murayama, Y. (2008, abril). Land evaluation for peri-urban agriculture using analytical hierarchical process and geographic information system techniques: A case study of Hanoi. *Land Use Policy*, 25(2), pp. 225-239.
- Bosque Sendra, J. y García, R. (1999). Asignación óptima de usos del suelo mediante generación de parcelas por medio de SIG y técnicas de evaluación multicriterio, VII Conferencia Iberoamericana sobre SIG. Publicada en VII Conferencia Iberoamericana sobre SIG. Memorias. Mérida. Venezuela.
- Cerrano, M. L., Gomes, L. F. A. M. y Corres, G. A. (2005). Apoyo multicriterio a la toma de decisiones en una cooperativa eléctrica de Argentina. [Archivo PDF]. *Revista de Administração Pública*, 39(4), pp. 875-894. Recuperado de <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rap/article/view/6791>
- Cittadino, A., Zamorano, J., Igarzabal de Nistal, M., Majul, M., Ocello, N., Ajhuacho, R. y D'hers, V. (2012). *Atlas de la basura*. Florida: Wolkowicz Editores.
- Economía Circular. (s.f.). Economía Circular. [En línea]. Madrid: Fundación para la Economía Circular. Recuperado de <https://economiecircular.org/economia-circular/>
- Funtowicz, S., Martinez-Aler, J., Munda, G. y Ravetz, J. R. (1999). Information tools for environmental policy under conditions of complexity. [Archivo PDF]. *Environmental Issues Series*, (9). Recuperado de <http://isecoeco.org/pdf/pstnormsc.pdf>
- Gutiérrez Angonese, J., Gómez Delgado, M. y Bosque Sendra, J. (2010). Simulación de crecimiento urbano mediante evaluación multicriterio y TIG en el Gran San Miguel de Tucumán (Argentina) [pp. 873-888]. [Archivo PDF]. En J. Ojeda, M. F. Pita e I. Vallejo (Eds.). *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Sevilla: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Recuperado de <https://idus.us.es/handle/11441/66645>
- Jorques Jiménez, D. (1997). *Interpelación y espacios comunicativos*. Valencia: Nau Llibres.
- Köbrich, C., Maino, M. y Aguilar, F. (2009). Modelo analítico jerárquico para la priorización de humedales según riesgo de ingreso de influenza aviar. *Economía Agraria*, 13, pp. 33-44.
- Matteucci, S. D., Herrera, P., Miñarro, F., Adámoli, J., Torrella S. y Ginzburg, R. (2007). Herramientas de toma de decisiones en la zonificación para el uso sustentable de humedales del sudeste de la región chaqueña. CONICET-Grupo de Ecología del Paisaje y Medio Ambiente. Buenos Aires: FADU-UBA.
- Naciones Unidas. (2016). *The World's Cities in 2016*. [Archivo PDF]. Nueva York: Naciones Unidas. Recuperado https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/urbanization/the_worlds_cities_in_2016_data_booklet.pdf
- Riascos, E. (2010). *El análisis multicriterio en la gestión de la Biodiversidad*. [Tesis de Magister]. Bogotá: Universidad nacional de Colombia.
- Saaty, T. (1988). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- Schejtman, L. e Irurita, N. (2012). Diagnóstico sobre la gestión de los residuos sólidos urbanos en municipios de la Argentina. Documento de Trabajo N°103. Buenos Aires: CIPPEC.
- Soltani, A., Hewage, K., Reza, B. y Sadiq, R. (2015). Multiple stakeholders in multi-criteria decision-making in the context of Municipal Solid Waste Management: A review. [Archivo PDF]. *Waste Management*, 35, pp. 318-328. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.010>
- Tchobanglous, G., Thiesen, H. y Vigil, S. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos. Volumen 1*. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España.
- Ucha, F. (2011, diciembre). Definición de Gobernanza. [En línea]. *DefiniciónABC*. Recuperado de <https://www.definicionabc.com/politica/gobernanza.php>
- United Nations Environment Programme-UNEP. (2012). *UNEP Book Year. Emerging issues in our global environment*. [Archivo PDF]. Nairobi: UNEP. Recuperado de <https://www.unep.org/resources/report/unep-year-book-2012-emerging-issues-our-global-environment>
- Valente, R. de O. A. y Vettorazzi, C. A. (2008). Definition of priority areas for forest conservation through the Ordered Weighted Averaging method. [Archivo PDF]. *Forest Ecology and Management*, 256(6), pp. 1408-1417. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.07.006>