

Alternativas para la localización de estaciones de clasificación de RSU en la Provincia de Misiones: clusterización por k-means, aplicación de factores ponderados y jerarquización analítica para la toma de decisiones

Niezwida, Sonia Romina

rominaniezwida@gmail.com

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (Argentina).

Michalus, Juan Carlos

michalus@fio.unam.edu.ar

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (Argentina).

Gavazzo, Graciela Beatriz

ggavazzo@gmail.com

c IMAM - Universidad Nacional de Misiones (Argentina).

Fecha de recepción RIII: 03/07/2023

Fecha de aprobación RIII: 19/07/2023

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar las alternativas para la localización de estaciones de clasificación de residuos sólidos urbanos (RSU) en la provincia de Misiones. Para ello, primeramente, se determina la cantidad de alternativas a evaluar, mediante el método de clusterización "k-means. Luego, para poder priorizar las alternativas dadas por k-means y determinar las mejores localizaciones se aplican los métodos de factores ponderados y jerarquización analítica, éste último también conocido como AHP (Analytic Hierarchy Process). Las variables evaluadas en la priorización de alternativas comprenden a la densidad poblacional por cada departamento de la provincia, facilidad de instalación de la estación, cantidad de residuos producida y ubicación geográfica (cercanía a la ruta provincial y alejado de la ciudad).

Palabras Claves: RSU, localización, estaciones de clasificación, clusterización, alternativas

Alternatives for the location of USW sorting stations in the Province of Misiones: clusterization by k-means, application of weighted factors and analytical hierarchy for decision-making

ABSTRACT

The objective of this work is to evaluate the alternatives for the location of urban solid waste (USW) classification stations in the province of Misiones. To do this, firstly, the number of alternatives to be evaluated is determined by means of the “k-means” clustering method. Then, in order to prioritize the alternatives given by k-means and determine the best locations, the methods of weighted factors and analytical hierarchy are applied, the latter also known as AHP (Analytic Hierarchy Process). The variables evaluated in the prioritization of alternatives include the population density for each department of the province, ease of installation of the station, amount of waste produced and geographic location (proximity to the provincial route and far from the city).

Keywords: USW, localization, classification stations, clustering, alternatives..

Alternativas para localização de estações de tratamento de RSU na Província de Misiones: clusterização por k-means, aplicação de fatores de ponderação e hierarquia analítica para tomada de decisões

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar as alternativas para a localização de estações de classificação de resíduos sólidos urbanos (RSU) no estado de Misiones. Para isso, primeiramente, determina-se o número de alternativas a serem avaliadas, utilizando o método de agrupamento “k-means”. Em seguida, para priorizar as alternativas dadas pelo k-means e determinar as melhores localizações, são aplicados os métodos dos fatores ponderados e o método da hierarquia analítica, este último também conhecido por AHP (Analytic Hierarchy Process). As variáveis avaliadas na priorização das alternativas incluem a densidade populacional de cada departamento da província, facilidade de instalação da estação, quantidade de resíduos produzidos e localização geográfica (proximidade da estrada provincial e distância da cidade).

Palavras chave: RSU, localização, estações de triagem, agrupamento, alternativas

1. INTRODUCCIÓN

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) son “aquellos elementos, objetos o sustancias generados como consecuencia del consumo o el desarrollo de actividades humanas cuyo destino sea el desecho o el abandono; sea su origen residual, urbano, comercial, asistencial, sanitario, industrial o institucional” (N°25.916/2004, s.f.) y (4274), s.f.).

La realidad actual de la problemática, indica que a medida que los países tienden a desarrollarse, también aumenta la producción de residuos por habitante (Rollandi, 2013) y (Berent, 2004), constituyendo de esta manera al tema de la basura en una situación compleja, que involucra a los diversos actores de la sociedad: universidad, empresas, gobierno. Es por ello, que la gestión de residuos está siendo estudiada en varias partes del mundo, ya que se pretenden desarrollar modelos de gestión para contribuir a mejorar la situación actual (El Fadel, 2001), (Viena, s.f.), (Shidong, 2017) y (Tchobanoglous & Kreith, 2002).

No obstante, afirman que en Argentina entre los mayores problemas ambientales que se presentan en los municipios se encuentra la deficiente gestión de los residuos urbanos, en la mayoría de los casos dada por la disposición de residuos en vertederos a cielo abierto (Plaza & Zapata, 2011), que lo realiza el municipio, quien es encargado de gestionar la basura que se genera en su territorio. Desde ingeniería Industrial se encuentran herramientas que pueden contribuir a realizar aportes a la temática en cuestión, tal como, evaluación de métodos para la localización de estaciones de clasificación, como punto de partida a reducir el volumen que se deposita en los rellenos sanitarios o bien, una modelización para la gestión que incluya a más de un municipio.

Es importante destacar que la localización de instalaciones refiere al proceso de elegir un espacio geográfico donde emplazar una planta industrial (Ballou, 2004) y (Martínez Rodríguez, 2007), tal como menciona Vásquez (1988) quien cita a uno de los pioneros en localización Industrial Weber (1909) y afirma que el emplazamiento de una planta es afectado por factores varios, como recursos (cercanía de MP), economías de aglomeración y costos (Vásquez, 1988).

El presente trabajo tiene como objetivo determinar y evaluar puntos para la localización de estaciones de clasificación de residuos sólidos urbanos en la provincia de Misiones. De esta manera, se pretende contribuir a determinar las mejores alternativas de ubicación en función a variables que se adoptan para el presente caso de estudio.

Con las estaciones de clasificación funcionando efectivamente, se podría disminuir el volumen de residuos que se depositan actualmente en los rellenos sanitarios.

2. DESARROLLO

En los últimos años, se nota el interés creciente en cuanto al fortalecimiento de la conciencia ambiental de la sociedad, mediante la búsqueda permanente de mecanismos, estrategias y tecnologías capaces de mitigar la pérdida acelerada de los recursos naturales del planeta (Berent, M; D. Vedoya, D., 2005).

La generación de residuos origina varios problemas, siendo el tema más preocupante el daño ambiental que ocasiona deterioro en los ecosistemas, contaminando el agua, la tierra y el aire.

La situación ideal es aquella donde los residuos se gestionen desde la generación hasta la disposición final (Carabajal Romero, 2022), incluyendo aquí a la clasificación. Esto puede llevarse a cabo, mediante

la instalación de estaciones de clasificación en puntos estratégicos, donde además de separar y vender los reciclables, se disminuirá el volumen a trasladar hacia el relleno sanitario.

La provincia de Misiones, región que se adopta para el caso de estudio; está dividida en 17 departamentos como indica la Figura 1, donde habitan más de un millón de personas (IPEC, 2022).



Figura1: División política por departamentos de la provincia de Misiones. Fuente: Argentina.gob.ar/IPEC.

Los departamentos más poblados son Capital, Oberá, Iguazú y Eldorado, 4 departamentos donde habitan el más del 54 % de la población de la provincia, tal como indica la Figura 2.



Figura 2: Población por departamentos de la provincia de Misiones. Fuente: Elaboración propia mediante datos del IPEC.

3. METODOLOGÍA

Para determinar el número de estaciones de clasificación de residuos se utilizó el “método k means”, que agrupa objetos en k grupos según su característica o variable. Para este caso, la variable ha sido la población y se ha utilizado un algoritmo en lenguaje R, disponible en Rpubs (Diaz, 2019). Una vez cargados los datos de población por departamento, mediante el programa R se ha compilado el algoritmo K-means de Rpubs, que plantea que el mejor modelo o clúster es aquel que ofrece la menor suma de los cuadrados de las distancias de los puntos de cada grupo con respecto a su centro (withinss). En el algoritmo se probaron con hasta 10 k posibles, resultando el k óptimo de 4. Este resultado se puede observar en la Figura 3, donde se visualiza que para un k = 4, se empieza a estabilizar la gráfica.

A continuación, se tomaron estos cuatro puntos que representan a los departamentos con mayor densidad poblacional de la provincia y mediante el método de localización de factores ponderados y AHP se procede a priorizar a las alternativas.

Para aplicar los métodos de factores ponderados y AHP se han establecido criterios, cualitativos y cuantitativos.

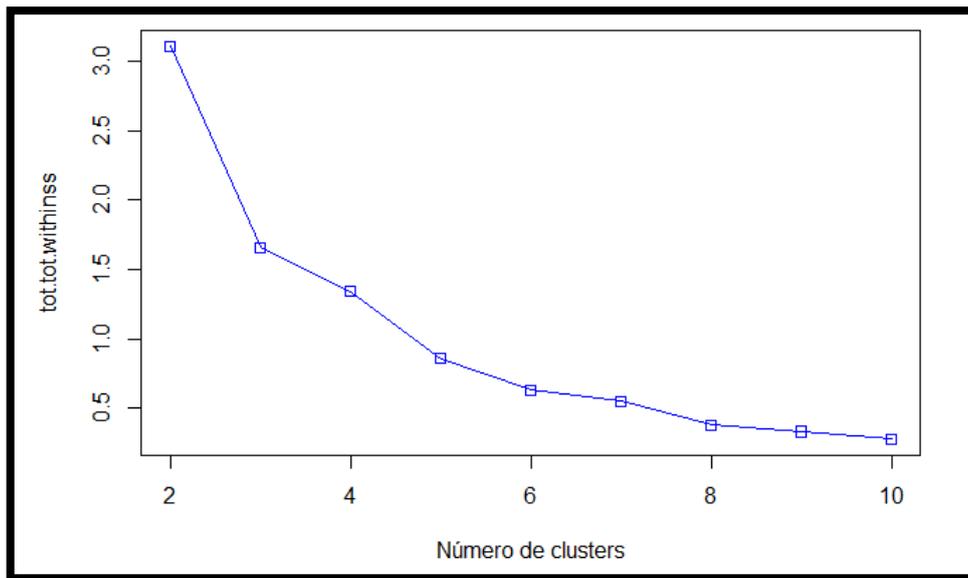


Figura3: Número de clústeres que arroja k-means. Fuente: Compilado en R Studio mediante algoritmo de Rpubs.

Según (Salas Bacalla & Leyva Caballero, 2014), los criterios utilizados condicionan la selección de la mejor alternativa, donde la elección y evaluación de los factores cuantitativos y cualitativos dependen de la apreciación del analista, manteniendo un tinte de subjetividad, lo que hace que no para todos sea óptimo. Es por ello, que algunos autores (Carro Paz & González Gómez, 2012), sugieren utilizar la consulta a expertos para definir los criterios, antes de aplicar los métodos de factores ponderados y AHP. En este caso estos criterios, han sido formulados por el equipo de investigación y son los que se detallan a continuación:

- C1: población de alrededores, superficie y densidad poblacional del departamento
- C2: facilidad de instalación de la estación, en cuanto a posibilidad de financiación y la cercanía al relleno sanitario
- C3: cantidad de residuos producida
- C3: Ubicación geográfica (cercanía a la ruta principal y alejado de la ciudad)

Alternativas (departamentos):

- A1 - Oberá
- A2- Iguazú
- A3- Eldorado
- A4 - Capital

El método de los factores ponderados reúne las condiciones que permite una adecuada integración de factores, tal como lo plantea (Baruzzi, 2022).

A los fines de definir cuál de las localizaciones tiene mejores prestaciones se utilizó el método de los factores ponderados, propuesto por Ballou (Ballou, 2004), que consiste en otorgar pesos relativos a los factores que influyen en la decisión y calificar el grado alcanzado por cada alternativa de localización en cada factor, utilizando la Ecuación (1), donde P_i : puntaje de la alternativa i , W_k : ponderación del factor k y S_{ki} : calificación otorgada al factor k en la alternativa i .

$$P_i = \sum W_k S_{ki} \tag{1}$$

Los factores k, son los criterios ya mencionados (C1, C2, C3, C4). Para la ponderación W_k y para la calificación S_{ki} , se han tomado valores que van de 1 a 5, siendo 5 el mejor puntaje posible. La aplicación de método y resultados se pueden visualizar a continuación:

Tabla 1: Aplicación del método de los factores ponderados.

Factores	Wk	Localizaciones - Ski			
		Iguazú	Oberá	Eldorado	Capital
C1	2	2	4	3	5
C2	1	1	5	1	5
C3	5	2	5	2	5
C4	4	3	3	3	4
Total $P_i = \sum W_k S_{ki}$	-	20	37	29	56

El método de jerarquización o AHP optimiza la localización (Baruzzi, 2022) y permite de esta manera tomar decisiones de forma sencilla a partir de criterios múltiples (Martínez Rodríguez, 2007). El método se basa en la separación del problema complejo en una estructura jerárquica multinivel de objetivos o metas, criterios, subcriterios y alternativas (Xu, 2014). En un ambiente de certidumbre, esta metodología permite incluir datos cuantitativos referidos a las alternativas de decisión, además admite la incorporación de aspectos cualitativos que suelen quedarse fuera del análisis debido a su complejidad para ser medidos, pero que pueden ser relevantes en algunos casos. El resultado del AHP muestra la prioridad total de las alternativas de decisión respecto a la meta.

Para el desarrollo del método (los comandos en R se encuentran en un repositorio de Github (Niezwida, 2022) se implementaron los pasos de, (Saaty, 2008) tal como se detalla a continuación:

Primeramente, se ha confeccionado una matriz de comparación pareada de criterios [M], que se formula bajo la importancia de un criterio frente a otro, Matriz (1), según la escala de Saaty (del 1 al 9),

M11: C1-C1=1 igual de importante, M21:C1-C2=donde C1 es 2 veces más importante que C2, por lo tanto, M12: C2 es ½ más importante que C2 (es el recíproco):

$$M = \begin{bmatrix} & C1 & C2 & C3 & C4 \\ C1 & M11=1 & M12=1/2 & 1/5 & 3 \\ C2 & M21=2 & 1 & 1/3 & 5 \\ C3 & 5 & 3 & 1 & 7 \\ C4 & 1/3 & 1/5 & 1/7 & 1 \end{bmatrix} \tag{1}$$

Seguidamente se han confeccionado matrices de comparación de alternativas por cada criterio (cantidad de matrices igual a cantidad de criterios), se han ingresado a Rstudio y se ha compilado mediante comandos que arrojan la consistencia o no de las matrices. Este proceso de consistencia refleja la formulación acertada o no de unos criterios frente a otros. Según el comando utilizado, es correcta la puntuación dada si el índice de consistencia (consistencyRatio) de cada matriz arroja un valor menor a 0.1. Se muestra el proceso para una de las cuatro matrices [Mc1], donde se procede a ponderar de igual manera que lo ya explicado para [M], en la Matriz (2):

Matriz de comparación pareada de alternativas respecto a C1:

$$Mc1 = \begin{bmatrix} & A1 & A2 & A3 & A4 \\ A1 & 1 & 5 & 7 & 1/2 \\ A2 & 1/5 & 1 & 2 & 1/7 \\ A3 & 1/7 & 1/2 & 1 & 1/9 \\ A4 & 2 & 7 & 9 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Se ha realizado la medición de la consistencia en R Studio para cada matriz Mc1, Mc2, Mc3, Mc4, que ha permitido continuar con el proceso de decisión (Kamal & Al-Harbi, 2001).

Finalmente, luego de probar la consistencia de todas las matrices, se ha obtenido como resultado la jerarquización u ordenamiento de las cuatro alternativas consideradas para este problema de localización.

4. RESULTADOS

Como se puede observar en la Tabla 1, las mejores alternativas resultaron los departamentos de Oberá y Capital, definitivamente por el peso que tiene el factor población (C1).

En AHP, la alternativa con mayor peso es A4 - Capital con 46,01 %, seguida por A1- Oberá con 40,64 %, en tercer lugar, A2- Iguazú con 7,59 %, y finalmente el A3- Eldorado con 5,74 %. Con estos resultados, según el método AHP los puntos en nivel de jerarquía son:

Capital, seguida por Oberá, Iguazú y por último Eldorado.

Las mejores alternativas dadas por el método de factores ponderados y AHP han sido los departamentos óptimos donde se podría instalar las estaciones de clasificación de RSU en la provincia de Misiones, estos lugares, cabe destacar, también clasificarán los RSU de las ciudades cercanas, en la Figura 4, se propone una ubicación para cada micro región.

En cuanto a resultados, se concluye que el mayor peso en los métodos lo lleva la variable densidad poblacional, ya que la producción per cápita de RSU es directamente proporcional a la cantidad de habitantes. Los métodos de localización por factores ponderados y AHP arrojan resultados similares.

Los métodos de factores ponderados y jerarquización analítica resultan métodos útiles para evaluar localizaciones, bajo alternativas y criterios adecuadamente analizados.

El método de jerarquización o AHP, posee la ventaja que analiza la consistencia y con ello garantiza la correcta calificación de los criterios frente a las alternativas.

La jerarquización de las alternativas para estaciones de clasificación de residuos, son una propuesta de aporte al estudio de localización para estaciones de clasificación en la provincia de Misiones y con ello a la gestión de los RSU.

Como línea futura, se propone aplicar otras funciones en lenguaje R como ser LeafLet (Díaz, 2019), para lograr encontrar geolocalizaciones exactas en el mapa, dando como resultado los mejores puntos en una determinada región donde ubicar las estaciones de clasificación de residuos.



Figura4: Micro-regiones y su respectiva estación de clasificación. Fuente: Elaboración propia a partir del mapa: hacienda/dinrep/Informes/archivos/misiones.

5. CONCLUSIONES

Los métodos de factores ponderados y jerarquización analítica resultan métodos útiles para evaluar localizaciones, bajo alternativas y criterios adecuadamente analizados.

El método de jerarquización o AHP, posee la ventaja que analiza la consistencia y con ello garantiza la correcta calificación de los criterios frente a las alternativas.

La jerarquización de las alternativas para estaciones de clasificación de residuos, son una propuesta de aporte al estudio de localización para estaciones de clasificación en la provincia de Misiones y con ello a la gestión de los RSU.

Como línea futura, se propone aplicar otras funciones en lenguaje R como ser Leaflet, para lograr encontrar geolocalizaciones exactas en el mapa, dando como resultado los mejores puntos en una determinada región donde ubicar las estaciones de clasificación de residuos.

6. REFERENCIAS

Ballou, R. (2004). Logística, Administración De La Cadena De Suministro. México: Quinta Edición, Pearson Educación. ISBN: 970-26-0540-7

Baruzzi, A. y. (10 de 07 de 2022). Obtenido de Análisis de criterios de localización de estaciones de transferencia. Disponible en: https://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019v1.1%20simpo/Modelos%20e%20Tecnicas%20de%20Planejamento%20de%20Transportes/Transporte%20Publico%20II/6_678_AC.pdf.

Berent, M. (2004). "Mejoramiento en la gestión de residuos sólidos urbanos en pequeñas ciudades del NEA. El caso de Leandro N. Alem, Misiones". Cuaderno Urbano, Disponible en: <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/crn/article/view/1758>.

Berent, M; D. Vedoya, D. (2005). "Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos en Ciudades Intermedias del NEA Sistema de Gestión y Elementos funcionales. Comunicaciones científicas y tecnológicas 2005. Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Chaco, Argentina.

Carabajal Romero, H. y. (2022). "Análisis de la gestión de los residuos sólidos urbanos en Europa". Universidad y Sociedad - VOL. 14 NÚM. 1

Carro Paz, R., & González Gómez, D. (2012). Localización de Instalaciones. Universidad de Mar del Plata. Disponible en: http://nulan.mdp.edu.ar/1619/1/14_localizacion_instalaciones.pdf

Diaz, D. (2019). Clustering Geográfico. Algoritmo k-means. Disponible en: https://rpubs.com/diegotriana11/clustering_geografico

El Fadel, M. (2001). Strategies for vehicle waste-oil management: A case study. Resources, Conservation and Recycling. Elsevier, 75-91 .

IPEC. (10 de julio de 2022). ipecmisiones.org. Disponible en: <https://ipecmisiones.org/>

Kamal, M., & Al-Harbi, A.-S. (2001). Application of the AHP in project management, International Journal of Project Management. SSN 0263-7863, Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(99\)00038-](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(99)00038-)

Ley 4274. Disponible en: <http://www.digestomisiones.gob.ar/uploads/documentos/leyes/LEY%20XVI%20-%20N%2089.pdf>

Ley N°25.916/2004. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-25916-98327#:~:text=Resumen%3A,AUTORIDADES%20COMPETENTES>.

Martínez Rodríguez, E. (. (2007). Aplicación del proceso jerárquico de análisis en la selección de la localización de una pyme. Anuario Jurídico y Económico Escurialense (págs. 523 - 542). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2267954>.

Niezwida, R. (10 de 07 de 2022). GITHUB. Disponible en: <https://github.com/rominaniezwida/Grupo3-FACILITY-LOCATION>

Plaza, G., & Zapata, O. (2011). Residuos y salud: Tartagal, Provincia de Salta. Revista Ciencia Tecnología, 35-43.

Rollandi, R. (2013). "Problemática de la gestión de residuos sólidos en las megaciudades. Vial, Disponible en: <https://revistavial.com/la-problematica-de-la-gestion-de-residuos-solidos-urbanos-en-las-megaciudades/>.

Saaty, T. (2008). Toma de decisiones con el proceso de jerarquía analítica. . Revista Internacional de Ciencias de Servicios, 83-89.

Salas Bacalla, J., & Leyva Caballero, C. F. (2014). . Modelo del proceso jerárquico analítico para optimizar la localización de una planta industrial Industrial . redalyc. Modelo del proceso jerárquico analítico para optimizar la localización de una planta industrial Industrial: Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81640856014>

Shidong, S. (2017). "Organic carbon storage change in China's urban landfills from 1978–2014". Disponible en: https://scholar.google.com.ar/scholar?q=%22Organic+carbon+storage+change+in+China%E2%80%99s+urban+landfills+from+1978%E2%80%99s+2014%22.&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart

Tchobanoglous, G., & Kreith, F. (2002). Handbook of solid waste management. En Handbook of solid waste management (págs. 500-563). Nueva York: McGraw - Segunda edición.

Vásquez, A. (1988). "Las iniciativas locales y los sistemas de localización industrial". Revista estudios regionales, n°22,, 69-82.

Viena, I. -I. (s.f.). " Internacional Solid Waste Association Key Issue Paper on Waste Prevention, Waste Minimization and Resource Managemen. Disponible en: https://scholar.google.com.ar/scholar?q=IS4WA,+Internacional+Solid+Waste+Association+Key+Issue+Paper+on+Waste+Prevention,+Waste+Minimization+and+Resource+Management&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart

Xu, Z. y. (2014). Proceso de jerarquía analítica difusa intuicionista. IEEE Transactions on Fuzzy Systems. doi:10.1109/TFUZZ.2013.2272585.