

Aplicación del Proceso Analítico Jerárquico para la Localización de una Instalación de Disposición Final para Residuos Sólidos Urbanos en el Área Metropolitana de Mendoza. Argentina

Susana Llamas^a, Irma Mercante^b

^a Master en Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ingeniería, Instituto de Medio Ambiente, Centro de Estudios de Ingeniería de Residuos Sólidos (CEIRS). Mendoza.

Argentina. sllamas@uncu.edu.ar

^b Doctora en Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ingeniería, Instituto de Medio Ambiente, Centro de Estudios de Ingeniería de Residuos Sólidos (CEIRS). Mendoza. Argentina.

mercantei@yahoo.com

Resumen. En el año 2004 se realizaron los primeros estudios técnicos para la comparación de dos sitios propuestos para la disposición final de los residuos sólidos urbanos (RSU) del Área Metropolitana de Mendoza (AMM). En este trabajo se presenta una aplicación del proceso analítico jerárquico para el análisis de las dos alternativas consideradas para la localización del mejor sitio para la disposición final de los RSU del AMM. Se construyeron las matrices de comparación por pares a partir de las cuales se obtuvieron los autovalores y autovectores principales que expresan los pesos relativos de los criterios y subcriterios considerados. Para la matriz de comparación se obtuvo el autovalor máximo ($\lambda_{\text{máx}}$), se calculó el índice de consistencia (C.I.) y se obtuvo la relación de consistencia (C.R.), asegurando que esta última estuviera siempre por debajo del 10%. En la siguiente etapa se construyó la matriz de decisión empleando los vectores de prioridad como entradas. El resultado de la aplicación del proceso analítico jerárquico para el análisis de las dos alternativas consideradas expresó los siguientes valores para las prioridades finales: El Borbollón 2,45 y Agrelo 0,55.

Palabras Clave: *Proceso Analítico Jerárquico, Disposición final de RSU.*

Keywords: *Analytic Hierarchy Process, MSW disposal.*

Introducción

El Área Metropolitana de Mendoza (AMM), situada en el oasis Norte de la provincia de Mendoza, en la República Argentina, está compuesta por las ciudades cabecera de los municipios de Capital, Guaymallén, Godoy Cruz, Las Heras, Luján de Cuyo y Maipú. La población total según los datos definitivos del último Censo Nacional de Población y Vivienda fue de 1.086.633 habitantes (INDEC, 2010) y la proyección para el año 2013 resultó de 1.120.214 habitantes.

Según datos oficiales de la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno de Mendoza, (2013) la disposición final de los residuos sólidos urbanos (RSU) se distribuye de la siguiente forma: 15%

controlada (202 t/día); 48% semicontrolada (643 t/día); 37% sin control (488 t/día). Con respecto a la composición de los RSU generados en el AMM, la misma fuente indica que 805 t/día (60 %) corresponden a residuos domésticos, 198 t/día (15%) a residuos de poda y jardinería y 333 t/día (25 %) a la categoría otros residuos.

El único estudio técnico realizado para identificar la existencia de sitios adecuados para la disposición final de los RSU y seleccionar la alternativa más conveniente, utilizó un método *ad hoc* que consistió en un polinomio de calificación comparativa por grupos de factores a los que se les asignaron pesos relativos (40% hidrogeológicos, 30% socioculturales, 10% relativos al uso del suelo/ordenamiento territorial, 10% económicos y 10% vinculados al transporte). Ese mismo polinomio fue utilizado para establecer una calificación técnica excluyendo el factor sociocultural y por medio de la asignación de pesos a cada una de las alternativas se determinó la selección de El Borbollón como sitio para la disposición final de los RSU del AMM (FUTN, 2004).

En el presente trabajo, se desarrolla el análisis realizado sobre el conjunto de criterios y subcriterios empleando el Proceso Analítico Jerárquico (AHP: *Analytic Hierarchy Process*) (Saaty, 1987), (Saaty, 1990) para la selección de la mejor alternativa para la disposición final de los RSU en el AMM.

Metodología

En el proceso de selección de la mejor alternativa es frecuente que los criterios bajo análisis se expresen en diferentes unidades. Para tratar este tipo de problemas, en el presente documento se empleó el AHP como herramienta de apoyo a la decisión utilizando una estructura jerárquica conformada por un objetivo, criterios, subcriterios y alternativas (Kemal Korucu, 2012), (Orlov, 2014). En la estructura jerárquica del problema de decisión, representada en la Figura 1, se indica el objetivo o foco del problema, se incluye el conjunto de criterios y subcriterios, así como las dos alternativas de localización consideradas (El Borbollón y Agrelo).

La aplicación del AHP se inició con la formulación del problema de seleccionar la mejor alternativa para la disposición final de los RSU en el AMM. Se definieron los criterios y subcriterios de decisión que luego fueron ponderados empleando la escala fundamental propuesta por (Saaty, *op. cit.*, 1987). A continuación se realizó la valoración de cada alternativa considerando el grado de satisfacción para cada criterio. La solución analítica se implementó por medio de la construcción de matrices para la comparación por pares, obteniendo los autovalores y autovectores principales de cada matriz, con los que se obtuvo la organización jerárquica de los criterios y subcriterios (Triantaphyllou, 1995), (Saaty, 2003), (Saaty, 2008). Estas comparaciones se utilizaron para obtener los pesos de importancia relativa de los criterios de decisión (Bruggemann, 2012), (Barma, 2014).

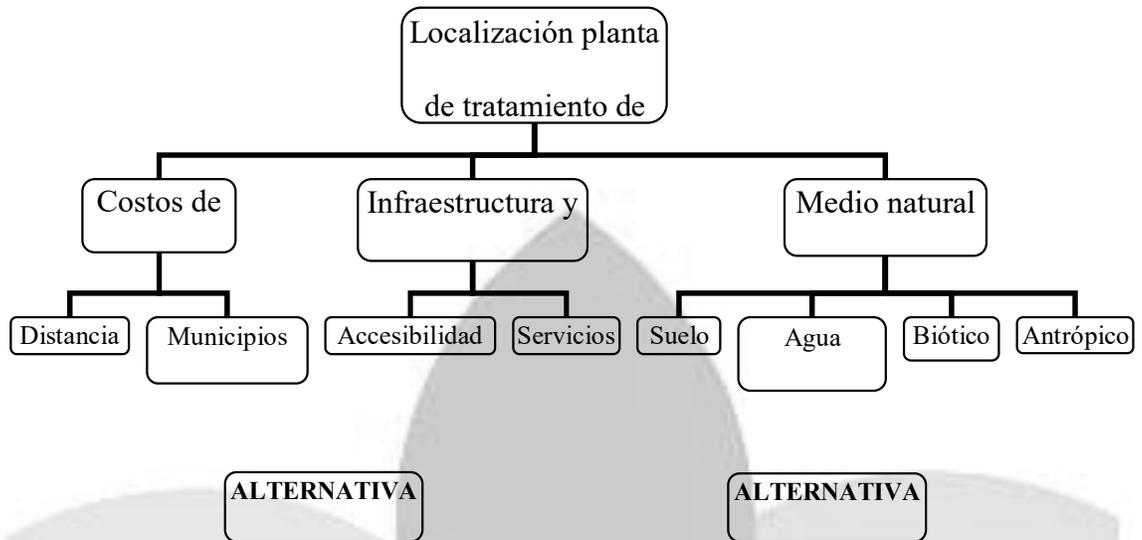


Figura 1. Esquema de niveles de análisis y alternativas consideradas

Formulación del problema y definición del objetivo

El problema de decisión considerado en este estudio consiste elegir la mejor de dos alternativas posibles para la implementación de un nuevo sitio para la disposición final de los RSU en el AMM. Los criterios de primer y segundo nivel representados en la Figura 1, fueron obtenidos de estudios previos (FUTN, 2004), (DAMI, 2013).

Ponderación de las variables explicativas primarias

Se planteó una matriz de orden 3, Cuadro 1, a partir de la cual se realizaron las comparaciones pareadas y se obtuvo la jerarquización de los criterios. Se utilizó la escala de importancia relativa propuesta por (Saaty, 1987, *op. cit.*), cuyos valores son miembros del conjunto $\{9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9\}$. Se calculó el autovalor máximo ($\lambda_{\text{máx}}$), el Índice de Consistencia (C.I.) y la Relación de consistencia (C.R.), teniendo especial cuidado en que este último valor se ubicada por debajo del 10%.

Al finalizar la ponderación de los criterios del primer nivel de análisis, se procedió a ponderar los subcriterios correspondientes al segundo nivel. Esta tarea se realizó construyendo las matrices necesarias para realizar las comparaciones por pares. Al finalizar el procedimiento se obtuvo la importancia relativa de cada uno de los subcriterios, formando de esa manera el vector de prioridades de los subcriterios.

Para la ponderación de las dos alternativas consideradas en función de cada uno de los subcriterios, se construyeron matrices de comparaciones pareadas. Con los vectores propios obtenidos de las matrices de comparación pareadas de las dos alternativas para cada uno de las ocho subcriterios, se construyó una matriz 2x8. Finalmente con la realización del producto de esta última matriz por el

vector columna 8x1 de los subcriterios, se obtuvo un vector columna de 2x1, que representa la jerarquización de las alternativas estudiadas.

Resultados y Discusión

El núcleo del problema de decisión se representó construyendo la matriz del Cuadro 1, que expresa los pesos relativos de cada criterio considerado.

Cuadro 1. Matriz de valoración para la comparación de las importancias de los tres criterios

CRITERIOS	Costos explotación	Infraestructura y equipamiento	Medio natural y antrópico	Vector prioridad
Costos explotación	1	3	5	0,6333
Infraestructura y equipamiento	1/3	1	3	0,2605
Medio natural y antrópico	1/5	1/3	1	0,1062

$$\lambda_{\text{máx}} = 3,04; \text{C.I.} = 0,02; \text{C.R.} = 0,04$$

Se construyeron las tres matrices necesarias para la obtención de los pesos relativos de los subcriterios, con los resultados que se indican a continuación:

Distancia, Municipios colindantes: (0,7500; 0,2500). $\lambda_{\text{máx}} = 2,00$; C.I. = 0,00; C.R.: 0,00.

Accesibilidad; Servicios: (0,8750; 0,1250). $\lambda_{\text{máx}} = 2,00$; C.I. = 0,00; C.R.: 0,00.

Suelo; Agua subterránea; Medio Biótico; Medio Antrópico: (0,2649; 0,5405; 0,0973; 0,0973). $\lambda_{\text{máx}} = 4,22$; C.I. = 0,07; C.R.: 0,08.

Para cada alternativa considerada se realizó la comparación frente a cada uno de los ocho subcriterios incluidos en el presente estudio (Distancia, Municipios colindantes, Accesibilidad, Servicios, Suelo, Agua subterránea, Medio Biótico y Medio Antrópico). El resultado de dicha comparación fue el vector de pesos relativos con el que se construyó la matriz de comparación de alternativas presentada en el Cuadro 2. Se procedió a realizar el producto de dicha matriz (2x8) por el vector de los pesos relativos de los subcriterios, previamente obtenido (8x1) y se obtuvo el vector producto (2x1).

Cuadro 2. Matriz de comparación de alternativas en función de las variables secundarias

Matriz de alternativas en función de las variables secundarias									Vector variables secundarias	Vector producto
Alternativa 1	0,75	0,83	0,88	0,25	0,88	0,90	0,83	0,90	0,75	2,45
Alternativa 2	0,25	0,17	0,13	0,75	0,13	0,10	0,17	0,10	0,25	0,55
									0,88	
									0,13	
									0,26	

0,54	
0,10	
0,10	

La jerarquía obtenida para los principales criterios de decisión, corresponde a: Costos de explotación, Infraestructura y equipamiento y Medio natural y antrópico. Con relación a los subcriterios el orden jerárquico obtenido fue: Infraestructura y equipamiento; Distancia; Agua subterránea; Suelo; Municipios colindantes; Accesibilidad y con idéntico valor cierran la lista Medio biótico y Medio antrópico.

La construcción de la matriz de decisión para las dos alternativas estudiadas permitió ubicar en primer lugar a la Alternativa 1 (El Borbollón) con una valoración relativa de 2,45, seguida de la Alternativa 2 (Agrelo) con una valoración relativa de 0,55, por lo que la recomendación para la localización de la instalación para la disposición final de los RSU generados en el AMM sugiere que se adopte la Alternativa 1 (El Borbollón).

Conclusiones

La aplicación del proceso analítico jerárquico para la identificación de la mejor alternativa, se realizó a partir de la incorporación de un mayor número de variables con respecto a las utilizadas en el método *ad hoc* compuesto por un polinomio de calificación comparativa por grupos de factores con una participación porcentual arbitraria.

Si bien ambos métodos sugieren la selección de la misma alternativa, el empleo del proceso analítico jerárquico permite la incorporación de un mayor número de criterios y subcriterios. La adopción de una alternativa para la localización de un sitio para la disposición final de los RSU, se puede mejorar incorporando más elementos de decisión y realizando comparaciones por pares.

Referencias y bibliografía

- Barma, M., Wajiga, G. M., Okolo, A. Mu'azu, H. G. (2014). *Multiobjective Mathematical Programming Approach to Minimize Volume of Solid Waste at Waste Collection Centers in Municipalities*. International Journal of Waste Management and Technology. Vol. 2, No. 3, 1 - 22, ISSN: 2327 – 8757.
- Bruggemann, R., Carlsen, L. (2012). *Technical Note. Multi-criteria decision analyses. Viewing MCDA in terms of both process and aggregation methods: Some thoughts, motivated by the paper of Huang, Keisler and Linkov*. Science of the Total Environment 425. 293-295.
- (DAMI) Programa de Desarrollo de Áreas Metropolitanas del Interior. PEM (Plan de Ejecución Metropolitano). (2013). Banco Interamericano de Desarrollo (BID-AR-L1101). Proyecto de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos para la Zona Metropolitana de la Provincia de Mendoza.

FUTN (Fundación Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza). 2004. Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. Área Metropolitana Mendoza. Capítulo 5: Evaluación de la Factibilidad de Implementación de un Centro de Tratamiento y Disposición Final para la Unidad de Estudio. Pág. 160.

INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina). 2010. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010.

Kemal Korucu M., Erdagi, B. (2012). *A criticism of applications with multi-criteria decision analysis that are used for the site selection for the disposal of municipal solid wastes*. Waste Management 32. 2315-2323.

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Gobierno de Mendoza. 2013. Proyecto de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. Manifestación General de Impacto Ambiental, Centro Ambiental El Borbollón, Departamento de Las Heras. Pág. 426.

Orlov, M., Mirkin, B. (2014). *A concept of multicriteria stratification: a definition and solution*. Procedia Computer Science 31. 273-280.

Saaty, R. W. (1987). *The Analytic Hierarchy Process-What it is and how it to used*. Mathl Modelling, Vol. 9, No. 3-5, 161-176.

Saaty, T. L. (1990). *How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process*. European Journal of Operational Research 48. 9-26.

Saaty, T. L. (2003). *Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary*. European Journal of Operational Research 145. 85-91.

Saaty, T. L. (2008). *Decision making with the analytic hierarchy process*. Int. J. Services Sciences, Vol. 1, No. 1, 83-98.

Triantaphyllou, E., Mann, S. H. (1995). *Using the analytic hierarchy process for decision making in engineering applications: some challenges*. Inter'l Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice, Vol. 2, No. 1, 35-44.