



SELECCIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS RESIDENCIALES A TRAVÉS DE TÉCNICAS MULTICRITERIO

Diana Carolina Urbano Guevara

Juan Carlos Osorio Gómez

Pablo César Manyoma Velásquez

Universidad del Valle

Santiago de Cali, Colombia

Septiembre 5 de 2013



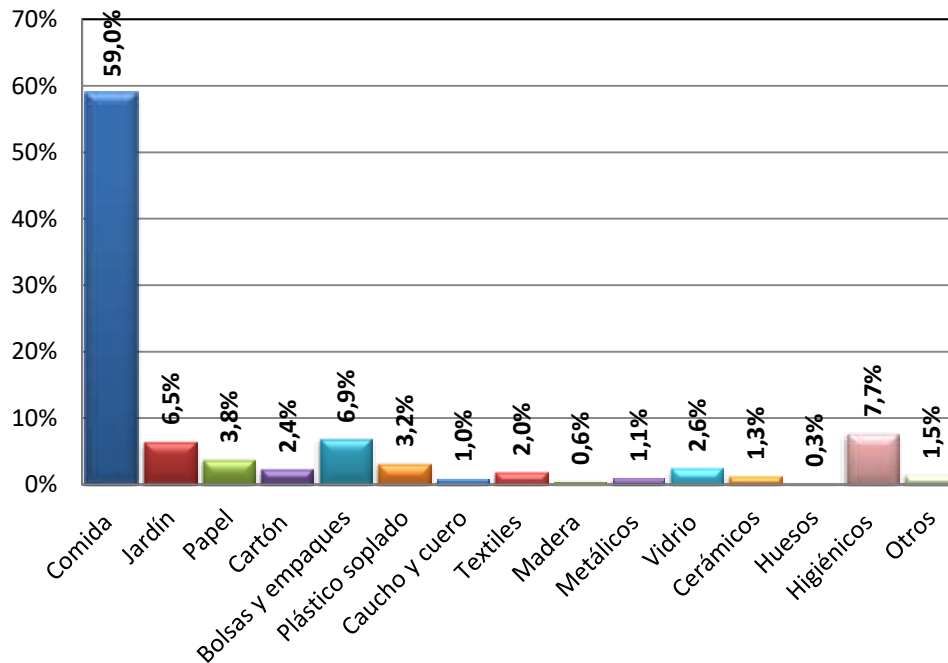


Agenda

1. Resíduos Sólidos Residenciais
2. Sistemas de tratamentos de RSR
3. Análisis de Decisión Multicriterio
4. Caso de estudio

Residuos Sólidos Residenciales - RSR

Son aquellos residuos que son generados por las personas en su propio hogar, ya sean viviendas unifamiliares, edificios de apartamentos u otras opciones residenciales; representando el mayor porcentaje de los residuos sólidos urbanos en general.



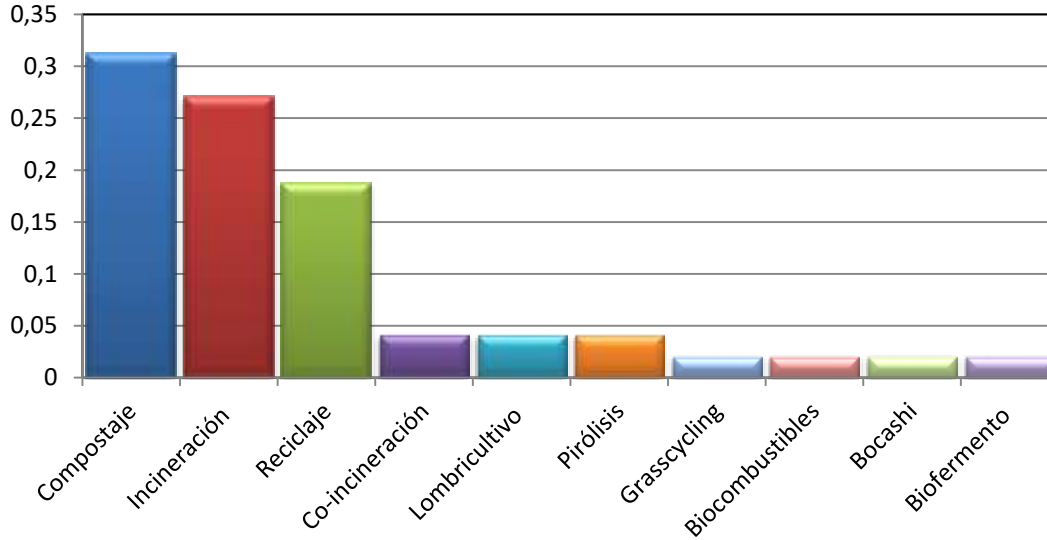
Caracterización de los residuos sólidos residenciales en Santiago de Cali.

Fuente: (Marmolejo et al., 2006)

Sistemas de tratamientos para los RSR

Un **tratamiento** es (Decreto-1713, 2002):

- Un conjunto de operaciones, procesos o técnicas...
- mediante los cuales se **modifican las características** de los residuos sólidos...
- **incrementando sus posibilidades** de reutilización y para minimizar los impactos ambientales y los riesgos para la salud humana.



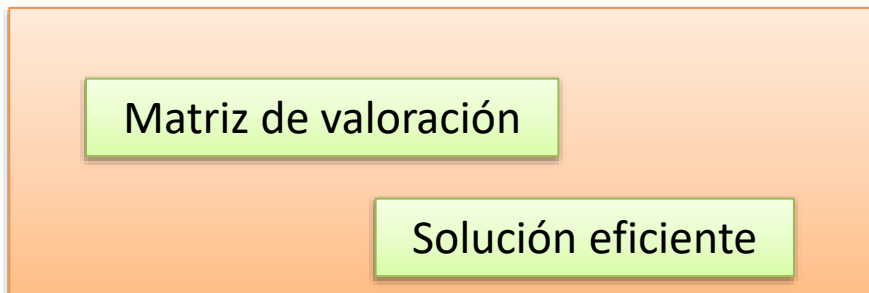
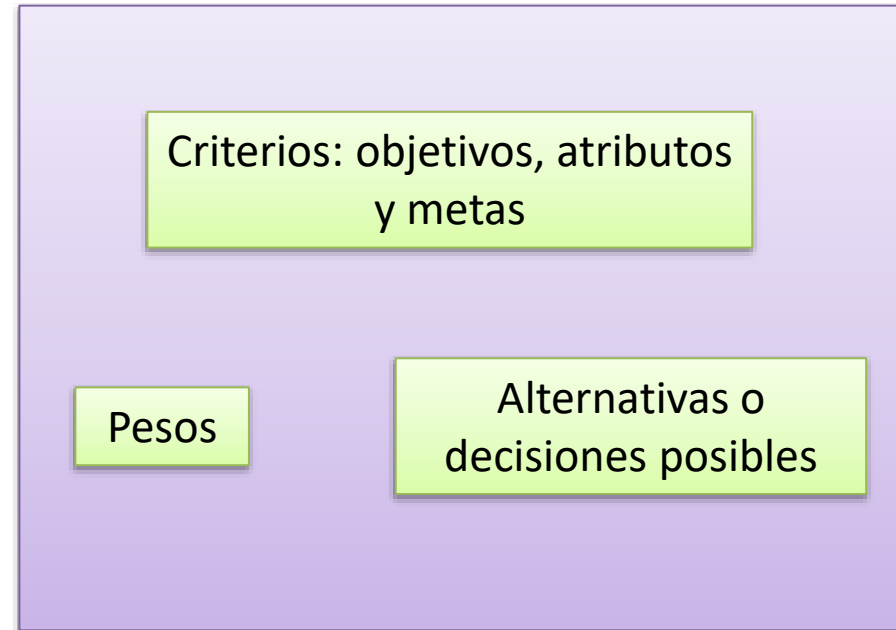
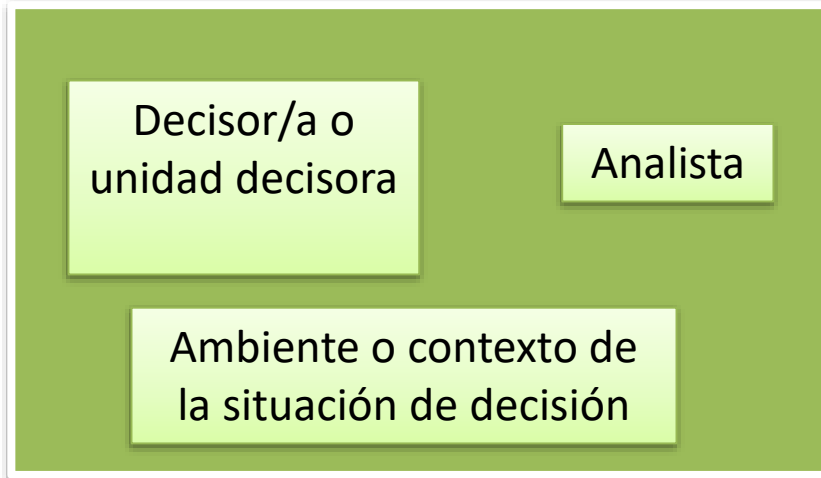
Tratamientos para residuos sólidos
utilizados según la literatura.

Fuente: La Investigación

Cómo hacer una selección?

Análisis de Decisión Multicriterio - MCDA

El objetivo es ayudar a escoger y ordenar por importancia, diferentes alternativas de un conjunto finito de acuerdo con dos o más criterios que tienen injerencia en la decisión final, reduciendo la posibilidad de arrepentimiento post – decisión (Barfod , 2012).



Principales métodos

MAUT
Teoría de la Utilidad
Multi-atributo

PROMETHEE II, III, IV, V
(Preference Ranking Organization
method of Enrichment
Evaluations)

SMART
(Simple Multi-Attribute
Rating Technique)

MACBETH
(Measuring by a Categorical
Based Evaluation Technique)

AHP
(Analytic Hierarchy
Process)

ANP
(Analytic Network Process)

ELECTRE I, II, III, IV, IS, TRI
(ELimination Et Choix Traduisant la
REalité)

ZAPROS
abreviación de las palabras Rusas:
Closed Procedures near Reference Situations

VIKOR
(Vlsekriterijumska optimizacija i KOmpromisno
Resenje)

TOPSIS
(Technique for Order Preference by Similarity
to Ideal Solution)

Métodos utilizados

AHP

- Método propuesto por Thomas Saaty en 1980.
- la complejidad inherente a un problema de toma de decisión se puede resolver mediante **la jerarquización** de los problemas.
- El fundamento del proceso: **valores numéricos a los juicios** dados por las personas.

TOPSIS

- Método planteado por Hwang y Yoon en 1981.
- Compara un conjunto de alternativas a través de:
 - la identificación de pesos para cada dimensión,
 - la normalización de las puntuaciones de cada dimensión y
 - el cálculo de la distancia entre cada alternativa versus la alternativa ideal positiva y la alternativa ideal negativa.



CASO DE ESTUDIO

Generalidades

- Población: 2.319.684 habitantes
- Generación de residuos: 1.394 toneladas diarias
- Instalaciones GRS: un relleno sanitario – una estación de transferencia



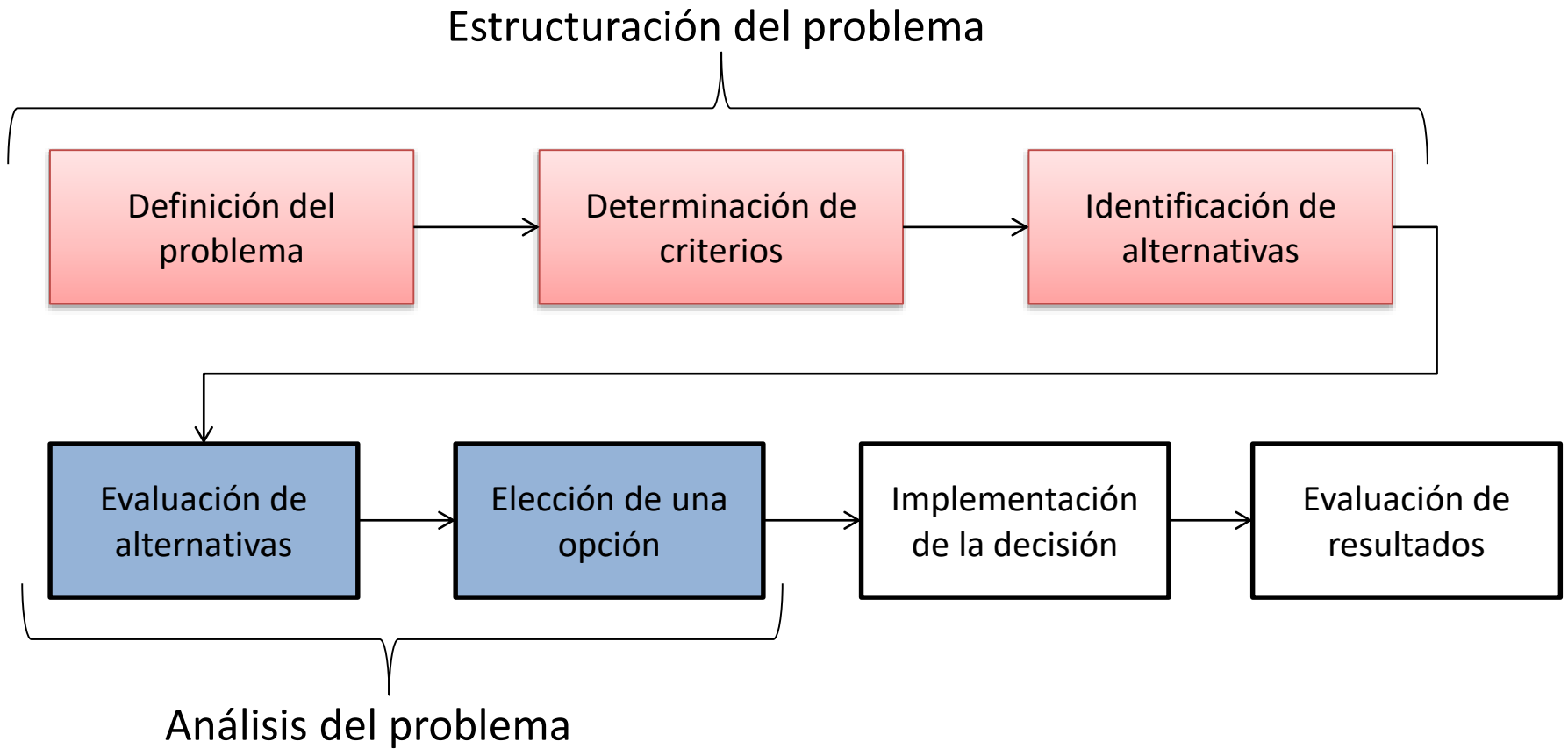
Supuestos:

- Planta de Compostaje
- Planta de Incineración
- Planta de Reciclaje

Localización de la ciudad de Santiago de Cali.

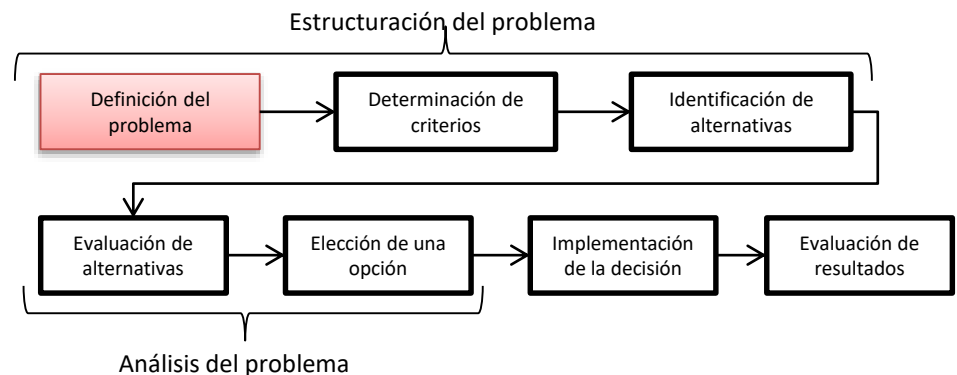
Fuente: (Marmolejo et al., 2006)

Metodología



Definición del problema

Buscar el ranking de los sistemas de tratamiento seleccionados para los Residuos Sólidos Residenciales de la ciudad de Santiago de Cali.



Determinación de criterios

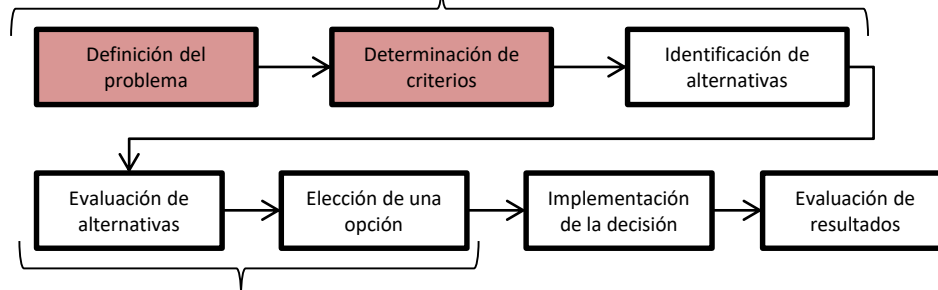
CRITERIO	SUBCRITERIOS	Unidades
Medioambiental	Emisiones	Kg/día
	Ubicación geográfica	Relativo
	Consumo de recursos	M3/día
	Efectos a la salud de la población	Relativo

CRITERIO	SUBCRITERIOS	Unidades
Económico	Costo de operación	\$
	Ingresos	\$
	Costo inicial	\$/kg

CRITERIO	SUBCRITERIOS	Unidades
Socio-político	Número de empleados	Personas
	Aceptación social	Relativo
	Apoyo político	Relativo

CRITERIO	SUBCRITERIOS	Unidades
Técnico	Confiability técnica	Años
	Madurez de la tecnología	Relativo
	Equipo necesario	Relativo

Estructuración del problema



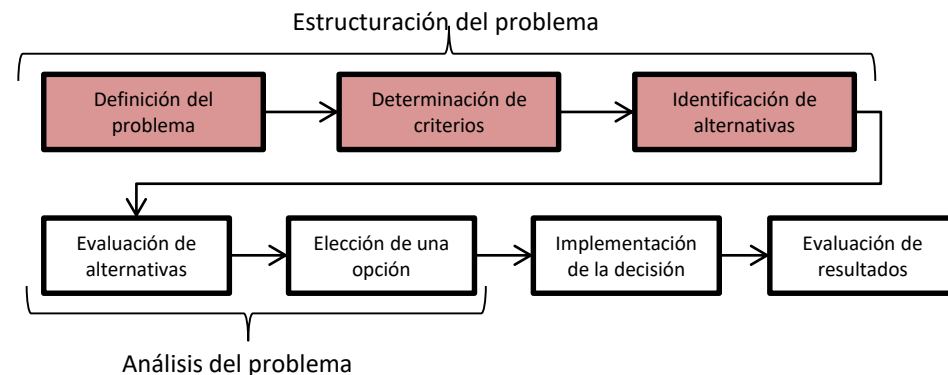
Análisis del problema

Identificación de alternativas

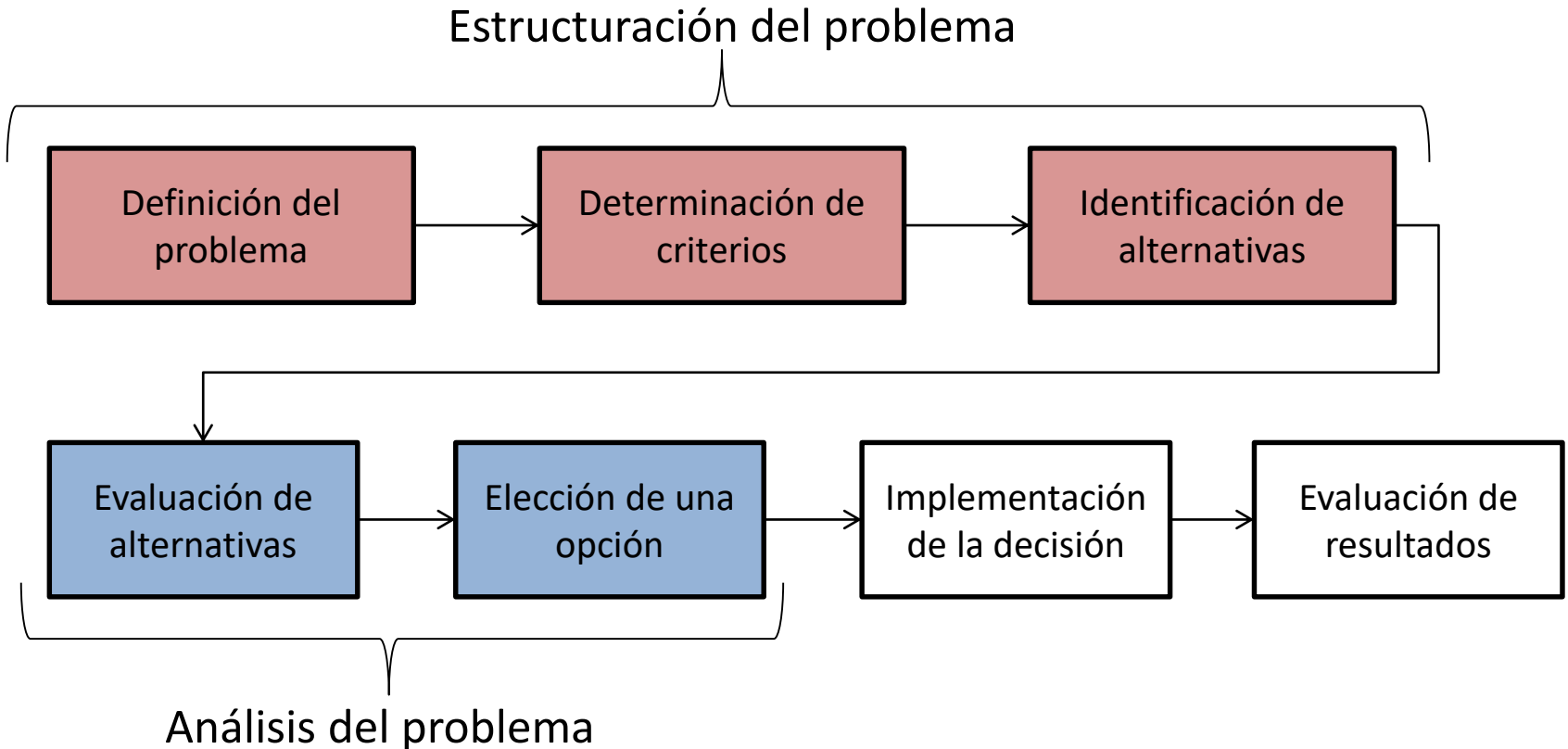
Alternativa 1:
Compostaje

Alternativa 2:
Incineración

Alternativa 3:
Reciclaje



Análisis del problema



Evaluación de alternativas y elección de una opción

PASO 1: Formación de un grupo evaluador

PASO 2: Valoración de los criterios y subcriterios.

Experto 2

Medioambiental	Emisiones	Ubicación geográfica	Consumo de recursos	Efectos a la salud de la población
Emisiones	1	4	1	1/8
Ubicación geográfica	1/4	1	1/4	1/9
Consumo de recursos	1	4	1	1
Efectos a la salud de la población	8	9	1	1

Experto 3

Medioambiental	Emisiones	Ubicación geográfica	Consumo de recursos	Efectos a la salud de la población
Emisiones	1	3	7	1/7
Ubicación geográfica	1/3	1	3	1/9
Consumo de recursos	1/7	1/3	1	1/9
Efectos a la salud de la población	7	9	9	1

$$k_{jn} = (k_{jn}^1 \otimes k_{jn}^2 \otimes k_{jn}^n)^{\left(\frac{1}{n}\right)}$$

Media geométrica

* Utilización del AHP y el TOPSIS

Evaluación de alternativas y elección de una opción

PASO 2: Valoración de los criterios y subcriterios.

CRITERIOS	SUBCRITERIOS		W_i	W_i Ponderados
Medioambiental			32,8%	
	Emisiones	S11	25,8%	8,5%
	Ubicación geográfica	S21	16,5%	5,4%
	Consumo de recursos	S31	16,2%	5,3%
	Efectos a la salud de la población	S41	41,5%	13,6%
Económico			21,1%	
	Costo de operación	S12	59,3%	12,5%
	Ingresos	S22	19,5%	4,1%
	Costo inicial	S32	21,2%	4,5%
Socio-político			23,4%	
	Número de empleados	S13	12,6%	3,0%
	Aceptación social	S23	51,5%	12,1%
	Apoyo político	S33	35,9%	8,4%
Técnico			22,7%	
	Confiablez técnica	S14	35,4%	8,0%
	Madurez de la tecnología	S24	33,9%	7,7%
	Equipo necesario	S34	30,7%	7,0%

Evaluación de alternativas y elección de una opción

PASO 3: Construcción de la matriz de decisión

MATRIZ DE DECISIÓN													
	C1				C2			C3			C4		
	S11	S21	S31	S41	S12	S22	S32	S13	S23	S33	S14	S24	S34
W_i	8%	5%	5%	14%	12%	4%	4%	3%	12%	8%	8%	8%	7%
Compostaje	3,00	5,00	3,00	4,00	4,00	4,00	3,00	2,00	5,00	6,00	3,00	6,00	9,00
Incineración	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	3,00	3,00	2,00	1,00	2,00	3,00	4,00
Reciclaje	5,00	7,00	4,00	6,00	3,00	3,00	3,00	4,00	8,00	8,00	4,00	7,00	7,00

PASO 4: Normalización de la matriz de decisión

MATRIZ NORMALIZADA													
	S11	S21	S31	S41	S12	S22	S32	S13	S23	S33	S14	S24	S34
W_i	8%	5%	5%	14%	12%	4%	4%	3%	12%	8%	8%	8%	7%
Compostaje	0,51	0,57	0,56	0,55	0,78	0,74	0,58	0,37	0,52	0,60	0,56	0,62	0,74
Incineración	0,17	0,23	0,37	0,14	0,20	0,37	0,58	0,56	0,21	0,10	0,37	0,31	0,33
Reciclaje	0,85	0,79	0,74	0,82	0,59	0,56	0,58	0,74	0,83	0,80	0,74	0,72	0,58

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij})^2}}, \quad \begin{matrix} i = 1, \dots, m, \\ j = 1, \dots, n; \end{matrix}$$

Evaluación de alternativas y elección de una opción

PASO 5: Construcción de la matriz decisión normalizada ponderada

MATRIZ NORMALIZADA PONDERADA													
	S11	S21	S31	S41	S12	S22	S32	S13	S23	S33	S14	S24	S34
Compostaje	0,04	0,03	0,03	0,07	0,10	0,03	0,03	0,01	0,06	0,05	0,04	0,05	0,05
Incineración	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,03	0,02	0,02
Reciclaje	0,07	0,04	0,04	0,11	0,07	0,02	0,03	0,02	0,10	0,07	0,06	0,06	0,04

PASO 6: Determinación de la Solución Ideal Positiva (SIP) A⁺ y la Solución Ideal Negativa (SIN) A⁻

DETERMINACIÓN DE LA SIP Y LA SIN													
	S11	S21	S31	S41	S12	S22	S32	S13	S23	S33	S14	S24	S34
A ⁺	0,07	0,04	0,04	0,11	0,10	0,03	0,03	0,02	0,10	0,07	0,06	0,06	0,05
A ⁻	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,02	0,02

$$A^+ = \{v_1^+, \dots, v_n^+\} = \left\{ \left(\max_i v_{ij}, j \in J \right), \left(\min_i v_{ij}, j \in J' \right) \right\}$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} = \left\{ \left(\min_i v_{ij}, j \in J \right), \left(\max_i v_{ij}, j \in J' \right) \right\}$$

Evaluación de alternativas y elección de una opción

PASO 7: Cálculo de las medidas de distancia de cada alternativa a la Solución Ideal Positiva y la Solución Ideal Negativa.

di+		di-	
Compostaje	0,067551	Compostaje	0,121735
Incineración	0,175557	Incineración	0,005483
Reciclaje	0,028131	Reciclaje	0,164933

$$d_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, i = 1, \dots, m \quad d_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, i = 1, \dots, m$$

PASO 8: Cálculo de proximidad relativa a la solución ideal y ordenación de preferencias

CÁLCULO DE LA PROXIMIDAD RELATIVA		
Alternativa	RSi	Ranking
Compostaje	0,643127	2,00
Incineración	0,030287	3,00
Reciclaje	0,854291	1,00

$$R_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, i = 1, \dots, m$$

Conclusiones

- Se puede observar la necesidad de enfocar el problema desde la óptica del **análisis multicriterio**.
- Iniciar la evaluación, **comparando los criterios y subcriterios**, independientemente de las alternativas a tener en cuenta, hacen más objetivo el proceso de selección final.
- Para el grupo evaluador los tres grandes aspectos a tener en cuenta son: **Efectos en la salud de la población, Costo de operación y Aceptación social**.

Recomendaciones

- Las ventajas de la reunión con los expertos de manera individual.
- La necesidad un grupo de expertos multidisciplinario.
- El uso de la lógica difusa para reducir la vaguedad o incertidumbre de los juicios.

Algunas Referencias

- Aguilar Virgen, Q., Armijo de Vega, C., Taboada González, P., & Aguilar, X. M. (2010). Potencial de recuperación de residuos sólidos domésticos dispuestos en un relleno sanitario. *Revista de Ingeniería*(32), 16-27.
- Arvanitoyannis, I. S., Kassaveti, A., Ladas, D., Ioannis, S. A., Dr, & Ph.D.A2 - Ioannis S. Arvanitoyannis, D. P. D. (2008). 6 - Food Waste Treatment Methodologies. In *Waste Management for the Food Industries* (pp. 345-410). Amsterdam: Academic Press.
- Assamoi, B., & Lawryshyn, Y. (2012). The environmental comparison of landfilling vs. incineration of MSW accounting for waste diversion. *Waste Management*, 32(5), 1019-1030. Retrieved May, from Article database.
- Buckley, J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets Syst.* 17(1), 233–247.
- Barfod, M.B. An MCDA approach for the selection of bike projects based on structuring and appraising activities. *European Journal of Operational Research*, 2012, vol. 218, no. 3, p. 810-818.
- Chang, N.-B., Parvathinathan, G., & Breeden, J. B. (2008). Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. *Journal of Environmental Management*, 87(1), 139-153.
- Comisión-Europea. (2000). *La UE apuesta por la gestión de residuos*, Luxemburgo, Alemania.
- Contreras, F., Hanaki, K., Aramaki, T., & Connors, S. (2008). Application of analytical hierarchy process to analyze stakeholders preferences for municipal solid waste management plans, Boston, USA. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(7), 979-991.
- Correal, M. C. (2008). Plantas de Aprovechamiento de residuos sólidos "Mitos y Realidades". Bogota, Colombia.
- Daskalopoulos, E., Badr, O., & Probert, S. D. (1997). Economic and Environmental Evaluations of Waste Treatment and Disposal Technologies for Municipal Solid Waste. *Applied Energy*, 58(4), 209-255.
- Decreto-1713. (2002). Marco de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Ordinarios. Vol. 44893. Bogotá, Colombia:(Ministerio de Desarrollo Económico).

Algunas Referencias

- Ekmekcioglu, M., Kaya, T., & Kahraman, C. (2010). Fuzzy multicriteria disposal method and site selection for municipal solid waste. *Waste Management*, 30(8-9), 1729-1736. Retrieved Aug-Sep, from Article database.
- El Hanandeh, A., & El-Zein, A. (2010). The development and application of multi-criteria decision-making tool with consideration of uncertainty: The selection of a management strategy for the bio-degradable fraction in the municipal solid waste. *Bioresource Technology*, 101(2), 555-561.
- Erkut, E., Karagiannidis, A., Perkoulidis, G., & Tjandra, S. A. (2008). A multicriteria facility location model for municipal solid waste management in North Greece. *European Journal of Operational Research*, 187(3), 1402-1421.
- Fiorucci, P., Minciardi, R., Robba, M., & Sacile, R. (2003). Solid waste management in urban areas: Development and application of a decision support system. *Resources, Conservation and Recycling*, 37(4), 301-328.
- Franchetti, M., & Kilaru, P. (2012). Modeling the impact of municipal solid waste recycling on greenhouse gas emissions in Ohio, USA. *Resources, Conservation and Recycling*, 58(0), 107-113.
- Gomes, C. F. S., Nunes, K. R. A., Helena Xavier, L., Cardoso, R., & Valle, R. (2008). Multicriteria decision making applied to waste recycling in Brazil. *Omega*, 36(3), 395-404.
- Herva, M., & Roca, E. (2013). Ranking municipal solid waste treatment alternatives based on ecological footprint and multi-criteria analysis. *Ecological Indicators*, 25(0), 77-84.
- Hokkanen, J., & Salminen, P. (1997). Choosing a solid waste management system using multicriteria decision analysis. *European Journal of Operational Research*, 98(1), 19-36.
- Huang, I. B., Keisler, J., & Linkov, I. (2011). Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. *Science of The Total Environment*, 409(19), 3578-3594.
- Hung, M.-L., Ma, H.-w., & Yang, W.-F. (2007). A novel sustainable decision making model for municipal solid waste management. *Waste Management*, 27(2), 209-219.
- Jaramillo, G., & Zapata, L. M. (2008). *APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN COLOMBIA*. Unpublished Posgrado, Universidad de Antioquia, Antioquia, Colombia.

Algunas Referencias

- Khan, S., & Faisal, M. N. (2008). An analytic network process model for municipal solid waste disposal options. *Waste Management*, 28(9), 1500-1508.
- Liao, C.-H., & Chiu, A. S. F. (2011). Evaluate municipal solid waste management problems using hierarchical framework. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 25(0), 353-362.
- Liao, C.-N., & Kao, H.-P. (2011). An integrated fuzzy TOPSIS and MCGP approach to supplier selection in supply chain management. *Expert Systems with Applications*, 38(9), 10803-10811. Retrieved 9//, from
- Marmolejo, L. F., Klinger, R., Olaya, J., Barrientos, A. F., & Mosquera, J. (2006). Caracterización de los residuos sólidos residenciales generados en el municipio de Santiago de Cali - 2006. Santiago de Cali, Colombia:(Departamento Administrativo de Planeación Municipal).
- Martowibowo, S. Y., & Riyanto, H. (2011). SUITABLE MULTI CRITERIA DECISION ANALYSIS TOOL FOR SELECTING MUNICIPAL SOLID WASTE TREATMENT IN THE CITY OF BANDUNG. *KONES*, 18(4), 273-280.
- Mellinas Fernandez, M. J. (2012). *Análisis Comparativo de Técnicas de Generación Eléctrica; AHP y Topsis Fuzzificado*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA, Cartagena, España.
- Merrild, H., Larsen, A. W., & Christensen, T. H. (2012). Assessing recycling versus incineration of key materials in municipal waste: The importance of efficient energy recovery and transport distances. *Waste Management*, 32(5), 1009-1018. Retrieved May, from Article database.
- Narayana, T. (2009). Municipal solid waste management in India: From waste disposal to recovery of resources? *Waste Management*, 29(3), 1163-1166.
- Pires, A., Chang, N.-B., & Martinho, G. (2011). An AHP-based fuzzy interval TOPSIS assessment for sustainable expansion of the solid waste management system in Setúbal Peninsula, Portugal. *Resources, Conservation and Recycling*, 56(1), 7-21. Retrieved 11//, from
- PR. (2011a). COMPOSTAJE: Autoridad de Desperdicios Sólidos, Gobierno de Puerto Rico. Retrieved Noviembre 13, 2012, from <http://www.ads.gobierno.pr/reciclaje/>
- PR (2011b). *Reciclaje*. Autoridad de Desperdicios Sólidos, Gobierno de Puerto Rico. Retrieved Noviembre 13, 2012, from <http://www.ads.gobierno.pr/reciclaje/>

COMENTARIOS

diana.urbano.guevara@correounivalle.edu.co

juan.osorio@correounivalle.edu.co

pablo.manyoma@correounivalle.edu.co

