



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Alternativas para optimizar el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos en la Mancomunidad de Montejurra (Navarra)

Trabajo realizado por:
Esther Lizasoain Arteaga

Dirigido:
Amaya Lobo García de Cortázar
Daniel Jato Espino

Titulación:
**Máster Universitario en
Ingeniería de Caminos, Canales y
Puertos**

Santander, Junio de 2015

TRABAJO FINAL DE MASTER

RESUMEN

Título: Alternativas para optimizar el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos en la Mancomunidad de Montejurra (Navarra)
Alternatives to optimize the utilization of municipal solid waste in the Commonwealth of Montejurra (Navarre)

Autor: Esther Lizasoain Arteaga

Directores: Amaya Lobo García de Cortázar
Daniel Jato Espino

Convocatoria: Junio de 2015

Palabras clave: Gestión de residuos sólidos municipales; Análisis multi-criterio; AHP; TOPSIS; Consenso entre expertos

Planteamiento del problema y desarrollo de la solución adoptada

La Mancomunidad de Montejurra, situada en Navarra, dispone de un sistema de recogida de Residuos Sólidos Urbanos en cuatro fracciones con recogida selectiva de materia orgánica que es único en toda la Comunidad Foral. Desde el Gobierno de Navarra se está intentando que se modifique este sistema con el fin de adaptarlo al del resto de la Comunidad Autónoma. Los argumentos proporcionados por la Mancomunidad para mantenerlo son su simplicidad, la alta participación ciudadana y el problema que supone para la población adaptarse a un cambio de este tipo.

Este trabajo realiza un diagnóstico del sistema actual de gestión de residuos en dicha Mancomunidad determinando la cantidad y la composición de cada una de las fracciones de residuos recogidas y las características de las rutas mediante las que se realiza el transporte hasta las plantas de tratamiento, pasando previamente, en los casos necesarios, por una planta de transferencia situada en el municipio de Estella. Además, se determina el diagrama de flujo de residuos dentro de cada una de las plantas de tratamiento y se comprueba el cumplimiento de los objetivos marcados en el Plan Integrado de Gestión de Residuos de Navarra (2010-2020). En base a este estudio inicial, se establecen una serie de alternativas en las que se modifica el sistema de recogida y/o tratamiento actual, con el fin de mejorar el sistema de gestión de residuos vigente. Posteriormente, se procede a la aplicación de una metodología de análisis multi-criterio con el que se compara la conveniencia de diferentes alternativas propuestas de acuerdo a criterios económicos, ambientales y sociales. Dicha metodología se basa en la combinación de varias herramientas analíticas como las técnicas AHP (Analytic Hierarchy Process), Agregación Basada en la Distancia Euclídea y TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution). Este análisis permite el estudio de diferentes escenarios en los que se modifican los pesos de cada uno de los criterios considerados, así como la obtención de resultados parciales para esos criterios principales. Obtenido el ranking de las propuestas para cada uno de los escenarios se discuten los resultados y se obtienen conclusiones.

Conclusiones

Dentro de las conclusiones más relevantes está el hecho de que el sistema de gestión actual no obtiene buena valoración para ninguno de los tres criterios, ni siquiera en los aspectos sociales, que es principal argumento de la Mancomunidad para mantener su sistema de gestión, siendo además la peor alternativa desde el punto de vista ambiental y una de las peor valoradas desde un punto de vista económico. También es destacable la mejora ambiental que conlleva la instalación de una planta incineradora, reduciéndose la cantidad de residuos destinados a vertedero y, por tanto, disminuyendo el impacto atmosférico en términos de gases de efecto invernadero. Además, se concluye que la mejor alternativa conlleva un cambio del sistema de recogida pasando de cuatro a cinco contenedores e incorporando un proceso de biometanización de la materia orgánica, con lo que, además de digestato se produce biogás, permitiendo el autoabastecimiento de la Planta de Tratamiento. Por último, y aunque las alternativas propuestas suponen una mejora clara respecto al sistema de gestión actual, se hace notar que todavía existe margen de progreso para conseguir una adecuada armonización de los tres pilares del desarrollo sostenible: económico, ambiental y social.

Bibliografía

1. *Análisis de ciclo de vida del proceso de gestión de los residuos urbanos en la Mancomunidad de Montejurra (Navarra)*. Arrizabalaga Larumbre, M. y Alcalde Montes, C. 97, s.l. : Residuos: Revista técnica, 2007, Vol. 17.
2. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gestión de Residuos Domésticos - Sistema de recogida. [En línea] <http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-recogida/Default.aspx>.
3. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gestión de Residuos Domésticos - Sistemas de tratamiento. [En línea] <http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/Default.aspx>.
4. Mancomunidad de Montejurra. [En línea] <http://www.montejurra.com/portal/default.aspx>.
5. Vidrala. [En línea] <http://www.vidrala.com/es/home>.
6. Coordinadora de plataformas contra la incineración de Gipuzkoa. [En línea] http://www.errausketarikez.org/index_esp.htm.
7. Ecoembes. [En línea] <https://www.ecoembes.com/es>.
8. Agència de Residus de Catalunya. Balanç de les dades estadístiques de residus del' any 2013
9. ESRI. *ArcGIS Desktop: Release 10.2*. Redlands, California (U.S.) : Environmental Systems Research Institute, 2014.
10. Departamento de Desarrollo Rural y Medio Ambiente. *Plan Integrado de Gestión de Residuos de Navarra*. s.l. : Gobierno de Navarra, 2013.

11. Mancomunidad de R.S.U. Ribera alta de Navarra. [En línea] <http://mrsuran.es/empresa-tratamientoenvases.php>.
12. CEDEX. *Escorias y cenizas de incineradoras de residuos sólidos urbanos (RSU)*. s.l. : Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 2007.
13. Hogg, D. *Costs for Municipal Waste Management in the EU: Full report*. s.l. : Directorate General Environment, European Commission.
14. Hogg, D. *Costs for Municipal Waste Management in the EU: Annexes*. s.l. : Directorate General Environment, European Commission.
15. Smith, A., y otros. *Waste Management Options and Climate Change: Final Report*. s.l. : Directorate General Environment, European Commission, 2011.
16. *Análisis multicriterio integral para optimizar la gestión de residuos sólidos municipales*. Jato-Espino, D., y otros. Metepec (México) : 7º Encuentro de Expertos en Residuos Sólidos y 3er Foro Nacional de Ingeniería y Medio Ambiente, 2014. 2395-8170.
17. Saaty, T. L. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. s.l. : McGraw-Hill, 1980.
18. Institute for Transport Sciences (KTI); Universidad de Cantabria (UC). *Deliverable 2.3: Proposal of construction, maintenance and rehabilitation procedures more affordable, resilient and sustainable for the management of road asset*. s.l. : DURABROADS: Cost-effective durable roads by green optimized construction and maintenance, 2015.
19. *Procedures for synthesizing ratio judgements*. Aczél, J. y Saaty, T.L. 1, s.l. : Journal of Mathematical Psychology, 1987, Vol. 27.
20. *Synthesizing judgements: a functional equations approach*. Aczél, J. y Alsina, C. 3-5, s.l. : Mathematical Modelling, 1987, Vol. 9.
21. Gobierno de Navarra. El Gobierno de Navarra y la empresa Ecoembes impulsan una campaña de sensibilización social sobre la recogida selectiva de envases en la Comunidad Foral. *navarra.es*. 2013.
22. Gobierno de Navarra. La consejera Salanueva presenta la ampliación del sistema de recogida de residuos de la Mancomunidad de la Zona 10 (Aoiz-Urroz). *navarra.es*. 2010.
23. Database of Waste Management Technologies - Cost of Waste Treatment Technologies. [En línea] <http://www.epem.gr/waste-c-control/database/html/costdata-00.htm>.
24. Gobierno de Navarra. Meteorología y climatología de Navarra. [En línea] <http://meteo.navarra.es/climatologia/>.
25. Friends of the Earth. *More jobs, less waste: Growing the Recycling Economy in the U.S.* s.l. : Tellus Institute with Sound Resource Management, 2010.
26. Hwang, C.L. y Yoon, K. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. New York (U.S.) : Springer, 1981.

27. European Comission. Comprender los gases de efecto invernadero. [En línea]
http://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/pdf/gases_es.pdf.

ABSTRACT

Title: Alternativas para optimizar el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos en la Mancomunidad de Montejurra (Navarra)
Alternatives to optimize the utilization of municipal solid waste in the Commonwealth of Montejurra (Navarre)

Author: Esther Lizasoain Arteaga

Supervisors: Amaya Lobo García de Cortázar
Daniel Jato Espino

Summons: June of 2015

Keywords: Municipal solid waste management; Multi-criteria analysis; AHP; TOPSIS; Expert elicitation

Statement of the problem and development of the solution

The Commonwealth of Montejurra, located in Navarre (Spain) has a collection system based on four containers with separate collection of biowastes. This model of collection is the only one in the area. This is the reason why the Government of Navarre is attempting to modify it. The arguments provided by the Commonwealth to maintain their system is the simplicity, the high civil participation level and the adaptation effort for the citizens to get used to the new collection system.

This document contains a diagnostic of the current situation to determine the amount and composition of each collection containers and the characteristics of the routes by which the transport of the wastes are carried out. Moreover, in order to characterize the treatment a flow chart of each waste treatment building has been made and also, the achievement of the objectives set in the Integrated Waste Management Plan of Navarre (2010-2020) has been checked. Based on this results this study proposes a number of alternatives in which the collection system and/or the treatment has been changed. After that a multi-criteria analysis has been performed in order to study the convenience of every alternative considering economic, environmental and social criteria. Such methodology is based on the combination of several analytic tolos such as AHP (Analytic Hierarchy Process), Distance-Based Aggregation and TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution). This type of analysis allows to study different scenes in which the weights of each criteria can be changed, as well as to obtain partial results. After obtaining the ranking of the proposals for each scene, results are discussed.

Conclusions

The most relevant conclusions are that the current management system does not get a good value for any of the three criteria, even in the social, which is the main argument of the Commonwealth to maintain its system. This alternative is also the worst from an environmental point of view and one of the worst in terms of economics. It is also noteworthy the environmental improvement involved by the installation of an incineration plant, which leads to

reduce the amount of waste disposed in landfill and, therefore, to decrease the atmospheric impact in terms of greenhouse gases. Furthermore, it is concluded that the best alternative involves a change of the collection system adding a fifth container and incorporates a process of anaerobic digestion of biowastes. This alternative would produce digestate as well as biogas, which would contribute for the self-sufficiency of the treatment plant. Finally, despite the alternatives proposed are a clear improvement with respect to the current waste management system, there is still room for improvement to achieve a proper harmonization of the three pillars of sustainable development: economy, environment and society.

Bibliography

1. *Análisis de ciclo de vida del proceso de gestión de los residuos urbanos en la Mancomunidad de Montejurra (Navarra)*. Arrizabalaga Larumbre, M. y Alcalde Montes, C. 97, s.l. : Residuos: Revista técnica, 2007, Vol. 17.
2. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gestión de Residuos Domésticos - Sistema de recogida. [En línea] <http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-recogida/Default.aspx>.
3. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gestión de Residuos Domésticos - Sistemas de tratamiento. [En línea] <http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/Default.aspx>.
4. Mancomunidad de Montejurra. [En línea] <http://www.montejurra.com/portal/default.aspx>.
5. Vidrala. [En línea] <http://www.vidrala.com/es/home>.
6. Coordinadora de plataformas contra la incineración de Gipuzkoa. [En línea] http://www.errausketarikez.org/index_esp.htm.
7. Ecoembes. [En línea] <https://www.ecoembes.com/es>.
8. Agència de Residus de Catalunya. Balanç de les dades estadístiques de residus del' any 2013
9. ESRI. *ArcGIS Desktop: Release 10.2*. Redlands, California (U.S.) : Environmental Systems Research Institute, 2014.
10. Departamento de Desarrollo Rural y Medio Ambiente. *Plan Integrado de Gestión de Residuos de Navarra*. s.l. : Gobierno de Navarra, 2013.
11. Mancomunidad de R.S.U. Ribera alta de Navarra. [En línea] <http://mrsuran.es/empresa-tratamientoenvases.php>.
12. CEDEX. *Escorias y cenizas de incineradoras de residuos sólidos urbanos (RSU)*. s.l. : Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 2007.
13. Hogg, D. *Costs for Municipal Waste Management in the EU: Full report*. s.l. : Directorate General Environment, European Commission.

14. Hogg, D. *Costs for Municipal Waste Management in the EU: Annexes*. s.l. : Directorate General Environment, European Commission.
15. Smith, A., y otros. *Waste Management Options and Climate Change: Final Report*. s.l. : Directorate General Environment, European Commission, 2011.
16. *Análisis multicriterio integral para optimizar la gestión de residuos sólidos municipales*. Jato-Espino, D., y otros. Metepec (México) : 7º Encuentro de Expertos en Residuos Sólidos y 3er Foro Nacional de Ingeniería y Medio Ambiente, 2014. 2395-8170.
17. Saaty, T. L. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. s.l. : McGraw-Hill, 1980.
18. Institute for Transport Sciences (KIT); Universidad de Cantabria (UC). *Deliverable 2.3: Proposal of construction, maintenance and rehabilitation procedures more affordable, resilient and sustainable for the management of road asset*. s.l. : DURABROADS: Cost-effective durable roads by green optimized construction and maintenance, 2015.
19. *Procedures for synthesizing ratio judgements*. Aczél, J. y Saaty, T.L. 1, s.l. : Journal of Mathematical Psychology, 1987, Vol. 27.
20. *Synthesizing judgements: a functional equations approach*. Aczél, J. y Alsina, C. 3-5, s.l. : Mathematical Modelling, 1987, Vol. 9.
21. Gobierno de Navarra. El Gobierno de Navarra y la empresa Ecoembes impulsan una campaña de sensibilización social sobre la recogida selectiva de envases en la Comunidad Foral. *navarra.es*. 2013.
22. Gobierno de Navarra. La consejera Salanueva presenta la ampliación del sistema de recogida de residuos de la Mancomunidad de la Zona 10 (Aoiz-Urroz). *navarra.es*. 2010.
23. Database of Waste Management Technologies - Cost of Waste Treatment Technologies. [En línea] <http://www.epem.gr/waste-c-control/database/html/costdata-00.htm>.
24. Gobierno de Navarra. Meteorología y climatología de Navarra. [En línea] <http://meteo.navarra.es/climatologia/>.
25. Friends of the Earth. *More jobs, less waste: Growing the Recycling Economy in the U.S.* s.l. : Tellus Institute with Sound Resource Management, 2010.
26. Hwang, C.L. y Yoon, K. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. New York (U.S.) : Springer, 1981.
27. European Comission. Comprender los gases de efecto invernadero. [En línea] http://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/pdf/gases_es.pdf.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	16
1.1.	ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	17
1.2.	CONCEPTOS PREVIOS	18
2.	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	20
2.1.	SISTEMA DE RECOGIDA	21
2.2.	RECOGIDA Y TRANSPORTE	24
2.3.	TRATAMIENTO.....	27
2.3.1.	Planta de selección de envases.....	27
2.3.2.	Planta de compostaje.....	29
2.3.3.	Zona de bioestabilización.....	31
2.3.4.	Vertedero	31
2.4.	CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS	32
3.	PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS	34
3.1.	ALTERNATIVA Nº1	36
3.2.	ALTERNATIVA Nº2	37
3.3.	ALTERNATIVA Nº3	38
3.4.	ALTERNATIVA Nº4	39
3.5.	ALTERNATIVA Nº5	40
3.6.	ALTERNATIVA Nº6	41
3.7.	ALTERNATIVA Nº7	44
3.8.	ALTERNATIVA Nº8	45
4.	ANÁLISIS MULTI-CRITERIO.....	48
4.1.	DESCRIPCIÓN DEL CONJUNTO DE CRITERIOS SELECCIONADOS.....	49
4.2.	PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS Y SUBCRITERIOS	50
4.2.1.	Criterios	50
4.2.2.	Subcriterios	50
4.3.	RANKING DE LAS ALTERNATIVAS	53
4.3.1.	Cálculo de los criterios	53
4.3.2.	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)	56
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
5.1.	PROCESAMIENTO DE CUESTIONARIOS	59
5.2.	RANKING DE ALTERNATIVAS	61
5.2.1.	ESCENARIO 1 – EQUILIBRADO	61

5.2.2	ESCENARIO 2 – PREPONDERANCIA ECONÓMICA.....	63
5.2.3	ESCENARIO 3 – PREPONDERANCIA AMBIENTAL.....	65
5.2.4	ESCENARIO 4 – PREPONDERANCIA SOCIAL.....	67
5.2.5	Resultados parciales.....	69
6.	CONCLUSIONES	72
	REFERENCIAS.....	74
	ANEXO I. Información de partida para la caracterización de la situación actual.....	78
	SISTEMA DE RECOGIDA	79
	RECOGIDA Y TRANSPORTE	82
	TRATAMIENTO.....	86
	ANEXO II. Encuestas	92
	ENCUESTAS SOBRE LA ACEPTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RECOGIDA	93
	ENCUESTAS SOBRE LA ACEPTACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	95
	ENCUESTAS PARA LA PONDERACIÓN DE LOS SUBCRITERIOS SOCIALES.....	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cantidades de los contenedores en la situación actual	21
Tabla 2. Composición de los contenedores	23
Tabla 3. Purezas y eficiencias en la recogida de cada una de las corrientes	23
Tabla 4. Características de las rutas de recogida de RSU	26
Tabla 5. Ejemplo de obtención de la distancia de recorrido	26
Tabla 6. Pureza y eficiencia de las fracciones recuperadas	29
Tabla 7. Cumplimiento de los objetivos exigidos en el Plan en el año 2013	32
Tabla 8. Eficiencia y pureza de la recogida (Alternativa 1)	36
Tabla 9. Resumen del tratamiento de la Alternativa 1	36
Tabla 10. Eficiencia y pureza de lo recuperado (Alternativa 1).....	36
Tabla 11. Cantidades recogidas en los contenedores (Alternativa 2).....	37
Tabla 12. Composición de los contenedores (Alternativa 2)	37
Tabla 13. Eficiencia y pureza de la recogida (Alternativa 2)	37
Tabla 14. Resumen del tratamiento de la Alternativa 2	38
Tabla 15. Resumen del tratamiento de la Alternativa 3	39
Tabla 16. Eficiencias y purezas de las fracciones recuperadas (Alternativa 3)	39
Tabla 17. Resumen del tratamiento de la Alternativa 4	40
Tabla 18. Eficiencias y purezas de las fracciones recuperadas (Alternativa 5)	40
Tabla 19. Resumen del tratamiento de la Alternativa 5	41
Tabla 20. Eficiencias y purezas en la recogida en la Mancomunidad de San Marcos.....	41
Tabla 21. Cantidades recogidas en los contenedores (Alternativa 6).....	42
Tabla 22. Composición de los contenedores (Alternativa 6)	42
Tabla 23. Eficiencia y pureza de la recogida (Alternativa 6)	42
Tabla 24. Frecuencia de recogida con 5 contenedores (días/semana).....	43
Tabla 25. Resumen del tratamiento de la Alternativa 6	43
Tabla 26. Eficiencia y pureza de lo recuperado (Alternativa 6).....	44
Tabla 27. Resumen del tratamiento de la Alternativa 7	44
Tabla 28. Cantidades recogidas en los contenedores (Alternativa 8).....	45
Tabla 29. Composición de los contenedores (Alternativa 8)	45
Tabla 30. Resumen del tratamiento de la Alternativa 8	46
Tabla 31. Criterios y subcriterios considerados	49
Tabla 32. Ponderación de los criterios según los distintos escenarios	50
Tabla 33. Escala de comparación por pares.....	51
Tabla 34. Índice de consistencia aleatoria	52
Tabla 35. Coste campaña de información.....	53

Tabla 36. Costes de inversión.....	53
Tabla 37. Coste de recogida	54
Tabla 38. Coste de transporte.....	54
Tabla 39. Coste del tratamiento y recuperación.....	54
Tabla 40. Emisiones durante el transporte y tratamiento	55
Tabla 41. Trabajos generados según los sistemas de recogida y tratamiento.....	56
Tabla 42. Matriz de comparación consensuada de los subcriterios sociales.....	59
Tabla 43. Matriz de comparación consensuada de los tipos de recogida	59
Tabla 44. Matriz de comparación consensuada de los tipos de tratamiento.....	59
Tabla 45. Ponderación de los subcriterios ambientales y sociales	60
Tabla 46. Ponderación de los sistemas de recogida y tratamiento	60
Tabla 47. Matriz de toma de decisiones	61
Tabla 48. Matriz normalizada de toma de decisiones (Escenario 1).....	61
Tabla 49. Matriz normalizada de decisiones ponderada, PIS y NIS (Escenario 1).....	62
Tabla 50. Distancia de cada alternativa al PIS (Escenario 1)	62
Tabla 51. Distancia de cada alternativa al NIS (Escenario 1).....	62
Tabla 52. Matriz normalizada de toma de decisiones (Escenario 2).....	63
Tabla 53. Matriz normalizada de decisiones ponderada, PIS y NIS (Escenario 2).....	64
Tabla 54. Distancia de cada alternativa al PIS (Escenario 2)	64
Tabla 55. Distancia de cada alternativa al NIS (Escenario 2).....	64
Tabla 56. Matriz normalizada de toma de decisiones (Escenario 3).....	65
Tabla 57. Matriz normalizada de decisiones ponderada, PIS y NIS (Escenario 3).....	65
Tabla 58. Distancia de cada alternativa al PIS (Escenario 3)	66
Tabla 59. Distancia de cada alternativa al NIS (Escenario 3).....	66
Tabla 60. Matriz normalizada de toma de decisiones (Escenario 4).....	67
Tabla 61. Matriz normalizada de decisiones ponderada, PIS y NIS (Escenario 4).....	67
Tabla 62. Distancia de cada alternativa al PIS (Escenario 4)	68
Tabla 63. Distancia de cada alternativa al NIS (Escenario 4).....	68
Tabla 64. Residuos entrantes y salientes de la Planta de Carcar	79
Tabla 65. Caracterización de entrada a la planta en el año 2013	80
Tabla 66. Caracterización de entrada a la planta en el año 2014	81
Tabla 67. Cálculo de la longitud de recorrido de las rutas.....	82
Tabla 68. Pureza de los materiales recuperados	86
Tabla 69. Encuestas sobre la aceptación social de los sistemas de recogida.....	93
Tabla 70. Encuestas sobre la aceptación social de los tratamientos	95
Tabla 71. Encuestas para la ponderación de los subcriterios sociales.....	101

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Situación de la Mancomunidad de Montejurra (Navarra)	17
Ilustración 2. Composición de los RSU generados en el año 2000	22
Ilustración 3. Vehículos de recogida utilizados en la Mancomunidad	24
Ilustración 4. Trailer empleado en la Mancomunidad	25
Ilustración 5. Municipios que forman cada una de las rutas	25
Ilustración 6. Diagrama de flujo de la planta de envases.....	28
Ilustración 7. Diagrama de Flujo de la planta de compostaje	30
Ilustración 8. Diagrama de Flujo de la Zona de Bioestabilización	31
Ilustración 9. Fracciones destinadas a vertedero.....	31
Ilustración 10. Valoración global de acuerdo al Escenario 1.....	63
Ilustración 11. Valoración global de acuerdo al Escenario 2.....	65
Ilustración 12. Valoración global de acuerdo al Escenario 3.....	67
Ilustración 13. Valoración global de acuerdo al Escenario 4.....	69
Ilustración 14. Valores parciales de los criterios para cada propuesta.....	69

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

La gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) es un problema del que cada vez más la sociedad es consciente. En una sociedad en la que la cantidad de residuos crece año a año, una buena gestión disminuiría los efectos adversos que éstos producen sobre la salud humana y sobre el medio ambiente, así como mejoraría la eficiencia en el uso de recursos.

En el caso de Navarra, la gestión de los residuos urbanos se encuentra distribuida por mancomunidades. En concreto, actualmente son 17 las Mancomunidades existentes, siendo la de Montejurra una de las tres más importantes por su dimensión y cobertura (1). Dicha Mancomunidad está localizada al oeste de la Comunidad Foral de Navarra (ver [Ilustración 1](#)) y está formada por 121 municipios con un total de 54.282 habitantes.

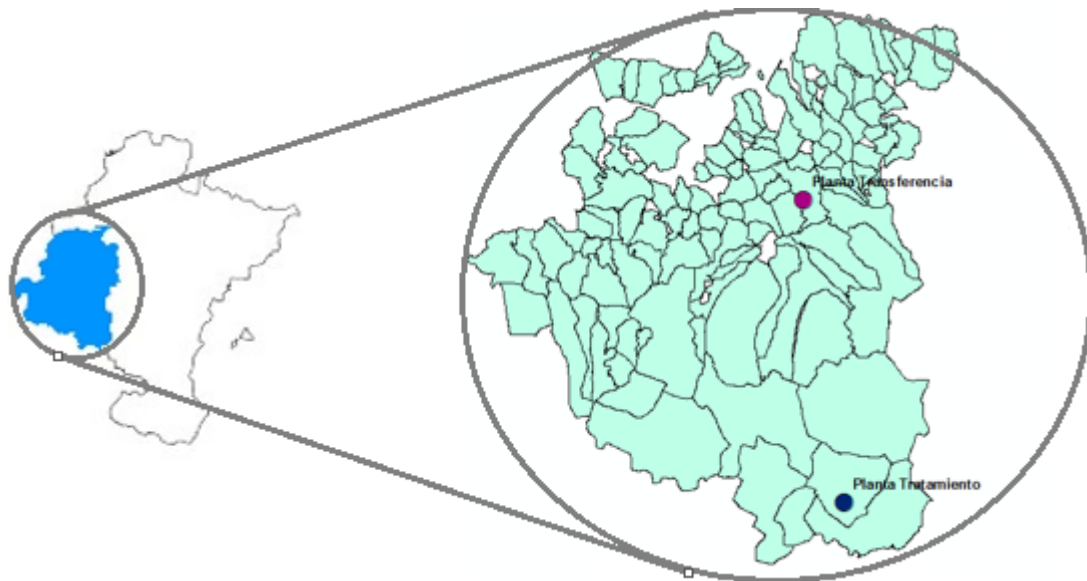


Ilustración 1. Situación de la Mancomunidad de Montejurra (Navarra)

La Mancomunidad se encarga de la gestión del abastecimiento y saneamiento así como de la recogida, transporte y tratamiento de residuos, siendo estas últimas tareas las que ocupan el presente trabajo.

Actualmente, el sistema de recogida de residuos sólidos urbanos se basa en separar 4 fracciones desde el origen:

- Fracción orgánica
- Fracción de inertes
- Papel y cartón
- Vidrio

Una vez realizada la recogida de la fracción orgánica y de inertes, éstas se transportan a la Planta de Tratamiento de Residuos, localizada en el término municipal de Carcar, al sur de la Mancomunidad y junto a la cual se encuentra también el vertedero de residuos no peligrosos. Además, en todo el territorio existe un total de 9 puntos limpios, incluido el de Estella, donde

también se encuentra una Planta de Transferencia, destinada a facilitar el transporte de los residuos de la mitad norte hasta Carcar.

Este sistema de 4 contenedores con recogida selectiva de materia orgánica es único en toda la Comunidad, y desde el Gobierno de Navarra se está intentando que se modifique con el fin de adaptarlo al sistema del resto de Navarra. Por ello, el presente trabajo tiene por objeto evaluar la conveniencia de diferentes alternativas de gestión de residuos sólidos urbanos considerando criterios ambientales, económicos y sociales simultáneamente. Para llevar a cabo este propósito, inicialmente se realiza un diagnóstico de la situación actual, posteriormente se plantean las posibles alternativas (analizándose sus implicaciones), y finalmente se aplica un análisis multi-criterio para valorar la idoneidad del conjunto de propuestas de mejoras planteadas. El interés de la aplicación de este tipo de evaluaciones en temas de gestión de residuos reside en que suelen ser temas controvertidos en los que interfieren diferentes intereses (políticos, de grupos ecologistas, de ciudadanos...) y con este análisis se consigue conciliar distintos criterios a la hora de tomar una decisión, pudiendo plantear distintos escenarios según los intereses mediante la variación de las ponderaciones de los criterios.

1.2. CONCEPTOS PREVIOS

A lo largo del documento se va a utilizar terminología específica del ámbito de la gestión de residuos, cuyas definiciones se incluyen a continuación para facilitar la comprensión del trabajo (2) (3):

- **Recogida mediante cuatro contenedores:** separación de cuatro de las cinco fracciones de residuo en contenedores situados en la vía pública. Habitualmente, se cuenta con 4 contenedores para depositar separadamente papel y cartón, envases ligeros, vidrio y resto (incluyendo materia orgánica); no obstante, en ciertas comunidades es la materia orgánica la que se recoge separadamente y los envases los que se depositan junto al resto de residuos inertes.
- **Recogida mediante cinco contenedores:** separación de las cinco fracciones de residuos sólidos urbanos mediante su depósito en otros tantos contenedores ubicados en la vía pública. Respecto a la situación de 4 contenedores, el nuevo contenedor recoge de forma independiente la fracción que se depositaba en el contenedor de resto.
- **Biometanización:** proceso biológico que, en ausencia de oxígeno y a lo largo de varias etapas en las que intervienen una población heterogénea de microorganismos, permite transformar la fracción más degradable de la materia orgánica en biogás y digestato, obteniendo además energía.
- **Compostaje:** proceso biológico aerobio (con presencia de oxígeno) que, bajo condiciones de ventilación, humedad y temperatura controladas, transforma los residuos orgánicos degradables en un material estable e higienizado llamado compost, que se puede utilizar como enmienda orgánica.

- **Incineración:** proceso de tratamiento térmico destinado a la reducción en volumen de los residuos mediante la aplicación de energía calorífica en hornos apropiados con aprovechamiento de la energía producida.
- **Reciclaje:** combinación de procesos de separación mecánicos o automatizados y procesos manuales con el fin de recuperar las fracciones valorizables y prepararlas para su posterior comercialización.
- **Vertedero:** instalación de eliminación de residuos mediante su depósito subterráneo o en superficie, por períodos de tiempo superiores a los considerados para el almacenamiento temporal.

2. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Un buen conocimiento de la situación actual en términos de recogida, transporte y tratamiento de los residuos es clave para posteriormente poder plantear distintas alternativas de gestión, que tengan su base en ésta y sirvan para la elección de la mejor opción. La calidad de ese diagnóstico está íntimamente ligada con la cantidad y la calidad de los datos disponibles.

En el caso específico de la Mancomunidad de Montejurra, no existe información online disponible al respecto, estando únicamente explicado de forma descriptiva el proceso de tratamiento, pero sin haber sido actualizado a lo largo de los años (4). Por tanto, se acudió a la propia empresa encargada de su gestión: Servicios de Montejurra S.M.S.A. De esta forma, el responsable técnico de residuos de la entidad, los encargados de la Planta de Tratamiento y el encargado de recogida proporcionaron diferentes datos a partir de los cuales poder caracterizar y analizar la situación actual.

2.1. SISTEMA DE RECOGIDA

El sistema de recogida de la Mancomunidad, como ya se ha comentado, está basado en la recogida mediante 4 contenedores de las siguientes fracciones:

- Materia orgánica
- Inertes
- Papel y cartón
- Vidrio

En la [Tabla 1](#) se muestran las cantidades recogidas de cada fracción, a excepción del vidrio, de cuya gestión se encarga la empresa Vidrala (5). Para mayor detalle sobre los datos proporcionados por la Mancomunidad de Montejurra, puede consultarse el [ANEXO I. Información de partida para la caracterización de la situación actual](#). Tales datos están referidos al año 2013, por ser el más reciente con información suficiente para caracterizar el sistema de gestión vigente en la Mancomunidad.

Tabla 1. Cantidades de los contenedores en la situación actual

Contenedores	
MO	11.390tn
Envases	6.313tn
Seleccionado	5.032 tn
Deficiente	1.281 tn
Papel y Cartón	1.252tn
Vidrio	1.531tn
Total	20.485tn
Población	54.282
Generación. Específica	0,38tn/hab

En cuanto a la composición de los residuos generados, se partió de los datos obtenidos de la Coordinadora de plataformas contra la incineración de Gipuzkoa (6), donde aparece la composición de la Mancomunidad en el año 2000 (ver [Ilustración 2](#)). Dado que la composición de los RSU varía en el tiempo según cambian los hábitos de la población, para obtener la composición real de los mismos en el año 2013, se ajustaron estos datos con las cantidades recogidas en dicho año, de forma que todos los residuos generados acaben en alguno de los contenedores.

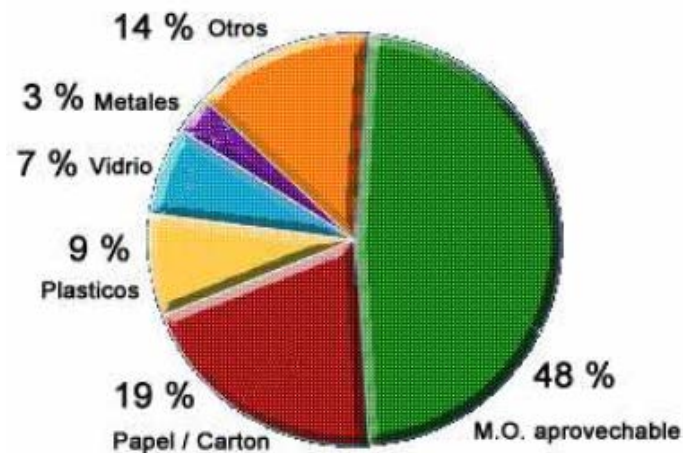


Ilustración 2. Composición de los RSU generados en el año 2000

A la hora de determinar la composición de cada uno de los contenedores, hay que destacar que dentro de cada una de las corrientes de recogida existe una serie de impropios, que debido a una mala separación en origen no terminan en el contenedor que les corresponde. En el caso del contenedor de residuos inertes, su composición varía según la procedencia, existiendo determinados municipios en los que a pesar de disponer de recogida selectiva, la separación es muy deficiente. En estos municipios, la composición de los residuos inertes recogidos se supone igual a la de los residuos generados. Por otro lado, para el resto de los inertes se dispone de caracterizaciones puntuales realizadas por Ecoembes (7), por lo que para que sean datos representativos se toman los datos de 2013 y 2014 de las [Tabla 65](#) y [Tabla 66](#).

En el caso del contenedor de orgánicos, los datos proporcionados por el responsable técnico de residuos fueron:

- 70% pureza
- 10% de envases

Las cantidades de brik, plástico y metales contenidos en ese 10% se determinaron de acuerdo a las proporciones de los envases generados. De la misma forma se procedió con el resto de las impurezas de este contenedor y con los contenedores de papel y cartón y vidrio, de 96 y 98% de pureza respectivamente (8).

En la [Tabla 2](#) se muestran los resultados de la distribución de cada fracción de residuos generada dentro de los distintos contenedores, y, por lo tanto, la composición de cada contenedor.

Tabla 2. Composición de los contenedores

	Generacion		Envases+ resto			Orgánico		Papel y Carton		Vidrio	
	%	tn	Selecc.(%)	Defic(%)	Total(tn)	%	tn	%	Tn	%	tn
PyC	12,00	2.458,22	6,70	12,00	490,85	6,00	683,41	96,00	1.201,56	0,27	4,17
Vidrio	12,00	2.458,22	4,57	12,00	383,67	6,00	683,41	0,55	6,83	98,00	1.499,99
MO	45,20	9.259,30	6,10	45,20	885,95	70,00	7.973,15	2,05	25,72	1,03	15,72
Brik	1,50	307,28	3,24	1,50	182,24	1,01	115,44	0,07	0,85	0,03	0,52
Plástico	10,30	2.109,97	26,10	10,30	1.445,22	6,96	792,70	0,47	5,86	0,23	3,58
Metales	3,00	614,56	7,48	3,00	414,80	2,03	230,88	0,14	1,71	0,07	1,04
Otros	16,00	3.277,63	45,81	16,00	2.510,00	8,00	911,22	0,73	9,10	0,36	5,57
	100,00		100,00		6.312,73	100,00	11.390,22	100,00	1.251,63	100,00	1.530,60

Con los datos de la [Tabla 1](#) y la [Tabla 2](#) se pueden obtener las purezas y eficiencias de cada uno de los contenedores (ver [Tabla 3](#)). La pureza del contenedor “x” se define como la relación entre la cantidad de residuo “x” que hay en el contenedor “x” y el total de dicho contenedor. Por su parte, la eficiencia del contenedor “x” relaciona la cantidad de residuo “x” que hay en el contenedor “x” con la producción de ese residuo.

Tabla 3. Purezas y eficiencias en la recogida de cada una de las corrientes

	Pureza (%)	Eficiencia (%)
Envases	32	67
Envases+resto	72	72
Orgánicos	70	86
Papel y cartón	96	61
Vidrio	98	49

La pureza y la eficiencia del contenedor de inertes se han dividido en dos partes, de acuerdo a su contenido:

- Por un lado se han tenido en cuenta sólo los envases existentes dentro del contenedor de inertes, que es el dato utilizado por Ecoembes y el exigido en la legislación.
- Por otro lado, se han tenido en cuenta los envases y restos que existen en el contenedor de inertes, ya que así se puede conocer la participación ciudadana asociada a ese sistema de recogida.

2.2. RECOGIDA Y TRANSPORTE

La recogida y el transporte de las fracciones de materia orgánica e inertes la realiza la propia Mancomunidad, que transporta estos residuos hasta la Planta de Tratamiento de Carcar directamente o a través de la Planta de Transferencia de Estella.

En el caso del contenedor de papel y cartón, la Mancomunidad tiene un contrato con los Traperos de Emaús para que se encarguen de su recogida. Sin embargo, los camiones de los Traperos no están preparados para realizar la recogida en aquellos municipios que cuentan con contenedores soterrados o de recogida automática (6 de los 121 que forman la Mancomunidad), recayendo en tales casos la tarea en la propia Mancomunidad. Todo el papel y cartón, tanto el recogido como el recuperado en Carcar, es llevado a un Gestor localizado en Estella que se encarga de su posterior procesamiento.

La recogida del contenedor de vidrio la realiza la empresa Vidrala (5), empresa española dedicada a la venta y fabricación de envases de vidrio, no teniendo la Mancomunidad ningún papel en el proceso.

La Mancomunidad también tiene un convenio con los Traperos de Emaús, para la recogida puerta a puerta de los residuos voluminosos, reparando y aprovechando muebles y electrodomésticos que ponen posteriormente a la venta en sus instalaciones.

Los camiones con los que se realiza la recogida son de tres tipos (ver [Ilustración 3](#)):

- Vehículo simple
- Vehículo de doble compartimento
- Vehículo automático



a) Simple

b) Doble

c) Automático

Ilustración 3. Vehículos de recogida utilizados en la Mancomunidad

Una vez que se ha realizado la recogida, los residuos son transportados hasta la Planta de Tratamiento de Carcar. Para ello, los residuos procedentes de la zona norte son llevados previamente a la Planta de Transferencia situada en Estella, desde donde se trasladan mediante tráiler hasta Carcar (ver [Ilustración 4](#)).



Ilustración 4. Trailer empleado en la Mancomunidad

Existen 11 rutas a través de las cuales se realiza la recogida de los residuos, perteneciendo cada municipio a más de una, en función del día de la semana y del contenedor que se vaya a recoger. Para realizar los cálculos posteriores relacionados con la recogida y el transporte, se han simplificado las rutas reales condensándolas en 9 (ver [Ilustración 5](#)) cuyas características se reúnen en la [Tabla 4](#).

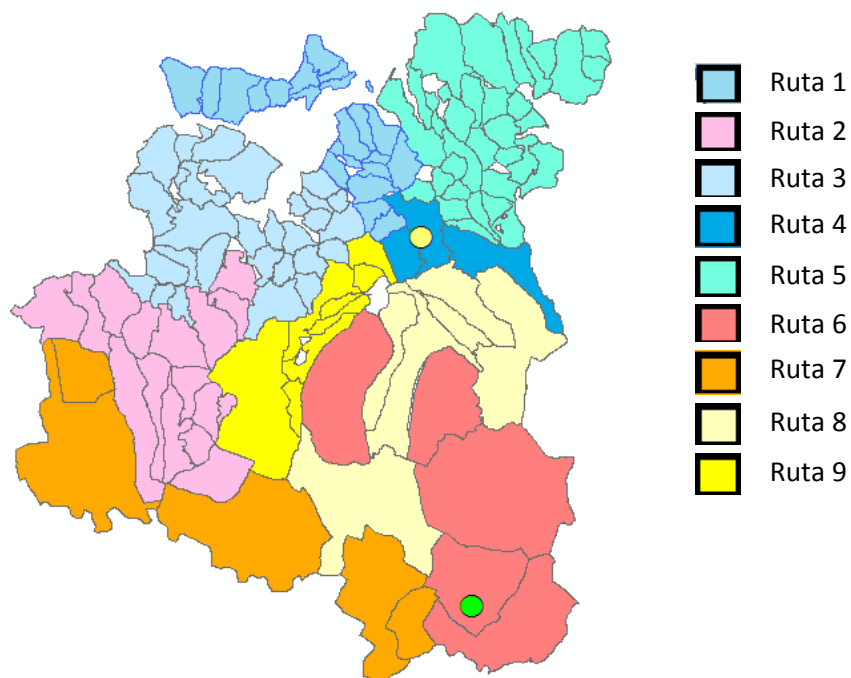


Ilustración 5. Municipios que forman cada una de las rutas

Tabla 4. Características de las rutas de recogida de RSU

Ruta	Longitud recorrido(Km)	Frecuencia orgánico- inerte (días/sem)	Frecuencia papel (días/sem)	Transferencia	Distancia transporte(Km)
1	97,2	2	0	Sí	35,8
2	115,6	2	0	No	0
3	135,0	2	0	Sí	35,8
4	15,8	4	3	Sí	35,8
5	139,2	2	0	Sí	35,8
6	53,9	3	0	No	0
7	101,3	4	2	No	0
8	57,6	3	0	No	0
9	55,2	2	0	No	0

El cálculo de la longitud de recorrido, que se utilizará posteriormente para la obtención de costes y emisiones, puede verse en el [ANEXO I. Información de partida para la caracterización de la situación actual](#). Para el cálculo de dicha longitud se agrupan los municipios según la ruta a la que pertenecen y, dentro de cada ruta, se organizan por el orden en que se realiza la recogida. Las distancias por carretera desde cada uno de los municipios a las Plantas de Tratamiento y Transferencia, así como a los demás municipios de su propia ruta, se calcularon utilizando el software ArcGIS (versión 10.2) (9). Suponiendo que en todos los casos las rutas comienzan desde Estella (población donde se localiza la Planta de Transferencia), puede calcularse una distancia acumulada a partir de la integración de las separaciones entre municipios. Por último, es necesario sumar al último municipio la distancia hasta el emplazamiento final, ya sea la Planta de Transferencia o la de Tratamiento.

A modo de ejemplo se muestra el cálculo de la longitud de recorrido para la ruta 6 (ver [Tabla 5](#)).

Tabla 5. Ejemplo de obtención de la distancia de recorrido

	Pueblo	Habitantes	Dist_Carcar	Dist_Estella	D_Acumulada ruta
Ruta 6	Arróniz	1.084	30,0	15,7	15,7
	Allo	1.029	20,0	14,5	24,1
	Lerín	1.756	13,7	23,2	35,1
	Andosilla	2.883	5,3	33,8	49,3
	Cárcar	1.097	4,8	29,7	53,9

2.3. TRATAMIENTO

Una vez los residuos llegan a la Planta de Carcar, estos son sometidos a distintos tipos de tratamiento según su naturaleza:

- Planta de selección de envases
- Planta de compostaje
- Zona de bioestabilización
- Vertedero

2.3.1. Planta de selección de envases

La [Ilustración 6](#) muestra el diagrama de flujo de la planta de envases. A esta planta llegan los residuos no recuperados de los puntos limpios, voluminosos, camiones procedentes de zonas de recogida no selectiva (campings, polígonos industriales...) y film agrícola. Todo esto, salvo la parte del film agrícola que esté en buenas condiciones y se pueda recuperar, se prensa directamente para llevarlo a vertedero. Ocurre lo mismo con ciertos camiones procedentes de zonas de recogida selectiva cuya separación es muy deficiente.

El resto de los camiones con residuos de buena calidad, tras una recuperación manual de los voluminosos que pueda contener, entran a pretratamiento. Lo mismo ocurre con los envases separados mediante un separador balístico en la planta de compostaje.

El recorrido de los residuos en el pretratamiento comienza en una máquina abre Bolsas y posteriormente entran a un trómel.

El trómel tiene 2 mallas. La primera es de tamaño 50mmx70mm y lo que pasa por ella se considera material fino con gran cantidad de orgánicos y por lo tanto se lleva a bioestabilización. La segunda malla es de 50mmx250mm y lo que pasa por ella se consideran envases ligeros. Los envases pasan por un separador férrico, donde se recupera dicha fracción, la cual se prensa en la “prensa de metales”. Los envases no férricos se introducen en una cabina en la cual hay una aspiración de film y un separador óptico. En el óptico se recupera polietileno tereftalato (PET) y polietileno de alta densidad (PEAD). Estos materiales caen a unos contenedores que se encuentran debajo de dicha cabina. La parte rechazada por el trómel (que no ha pasado por ninguna de las dos mallas) pasa a una cinta paralela a la de envases y entra en la cabina ya mencionada. Ahí se encuentra otra aspiración de film y un operario que separa manualmente el papel y cartón y los plásticos.

Los envases, después del óptico pasan por un separador de corrientes de Foucault, que separa los briks y el aluminio. Después de pasar por una criba manda los briks a los contenedores que se encuentran debajo de la cabina y los envases de aluminio son conducidos a la “prensa de metales”. El resto de los envases pasan por una separación manual en la que se retira el plástico mezclado (plástico “mix”) que se junta con lo proveniente de la cinta de rechazo para acabar prensándose y yendo a vertedero.

Los materiales almacenados en los contenedores se prensan y se guardan para su posterior venta.

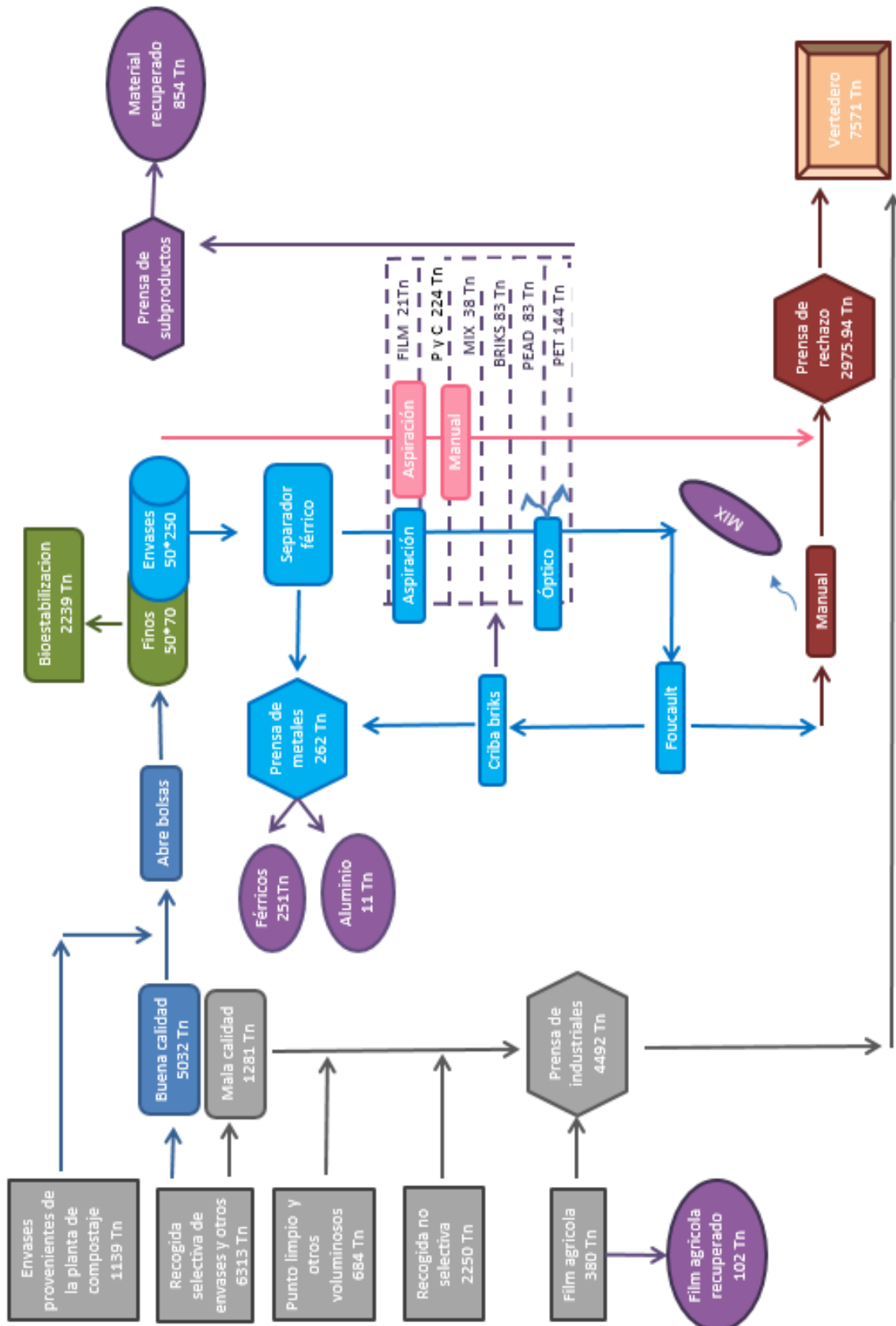


Ilustración 6. Diagrama de flujo de la planta de envases

Para obtener el rendimiento de separación de la planta en cada una de las fracciones así como el rendimiento total, se han comparado las entradas y salidas a la planta (ver [Tabla 6](#)). Los datos sobre la pureza de las fracciones recuperadas se han obtenido de las caracterizaciones ya comentadas que realiza Ecoembes. En las caracterizaciones se estudia por separado cada tipo de material (aluminio, férricos, PET, PEAD...), pero en este estudio han sido englobadas las distintas clases en Papel y Cartón, brik, plástico y metales, debido a que en el Plan Integrado de Gestión de Residuos de Navarra (2010-2020) (10) se clasifican de esta manera a la hora de establecer los objetivos de recuperación. Por ello, para la obtención de la pureza de cada una de estas fracciones, se ha calculado una media ponderada con las cantidades y purezas de los residuos que las conforman.

Tabla 6. Pureza y eficiencia de las fracciones recuperadas

	Entrada contenedor envases (tn)	Entrada desde P.Compostaje (tn)	Recuperado (tn)	Pureza (%)	Eficiencia (%)	Eficiencia total (%)
PyC	337	-	224	98	66	26
Brik	163	115	83	99	30	
Plastico	1.313	793	285	96	14	
Metales	376	231	262	95	43	

2.3.2. Planta de compostaje

A la planta de compostaje (ver [Ilustración 7](#)) llegan los residuos del contenedor de orgánicos, que una vez que se han eliminado los voluminosos de forma manual entran a la máquina abre Bolsas y posteriormente a un trómel cuya malla es de 70mmx70mm. La fracción que cae por el hueco del trómel es lo que lleva a compostar. Después del trómel, el residuo pasa a un separador balístico donde el material que cae por él, se junta con el que cae del trómel. El material que cae rodando en el balístico se considera envases y se lleva a la planta de envases y los planares, materiales que suben, se prensan y se llevan a vertedero.

Tanto el material que cae por el trómel como el que cae en el balístico se lleva mediante cintas transportadoras a los túneles de compostaje, los cuales tienen un toldo que permite mejorar el control de la temperatura y la humedad. En los túneles se inyecta aire y de forma esporádica agua durante 4 semanas. Una vez pasado este tiempo se saca de los túneles y se forman las pilas para que se produzca la maduración. En esta fase la aireación se realiza mediante volteo mecánico y tiene una duración de 2 semanas.

Posteriormente el compost se lleva a la línea de afino. Inicialmente, el compost pasa por un trómel con doble malla. La primera tiene un diámetro de 11 mm y lo que se cuela por ella es conducido a una mesa densimétrica en la cual se separa el compost de 2ª y el compost afinado. Las partículas de compost que se lleva la corriente de aire ascendente son filtradas mediante un filtro de mangas y devueltas a la cinta de compost afinado. Lo que pasa por la segunda malla (de 18 mm) se considera materia orgánica de lenta degradación y por eso es recirculado e introducido de nuevo en los túneles de compostaje, siendo utilizado además de material estructurante. Por último, el rechazo del trómel se lleva a bioestabilización.

El compost una vez afinado se vuelve a apilar para que acabe de madurar. Posteriormente, es vendido (en este caso a un único cliente). Sin embargo, el compost de 2ª no se vende, sino que se utiliza en la propia planta en taludes, zonas vistas y reposición de áreas de extracción de tierras para el vertedero.

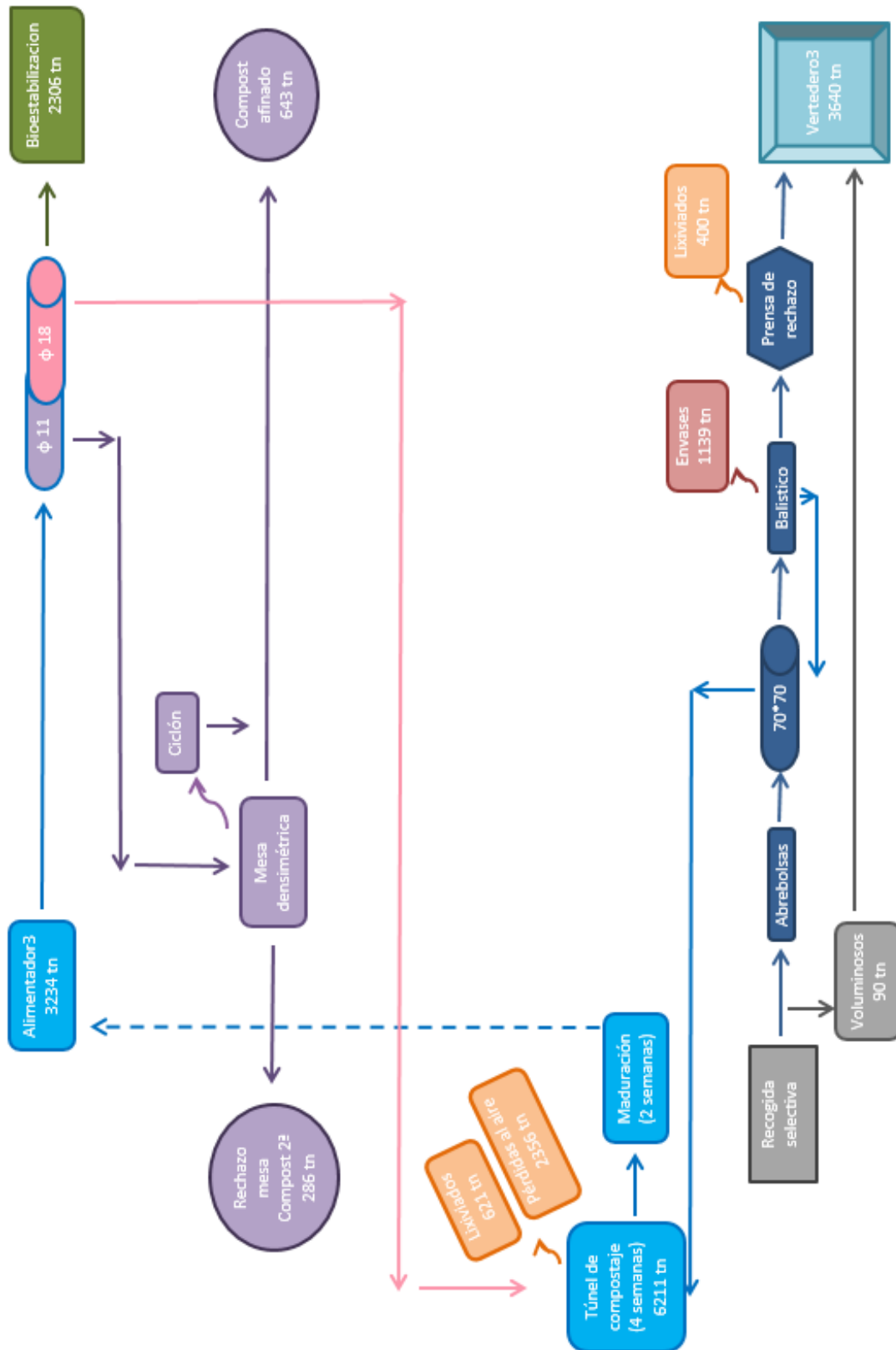


Ilustración 7. Diagrama de Flujo de la planta de compostaje

2.3.3. Zona de bioestabilización

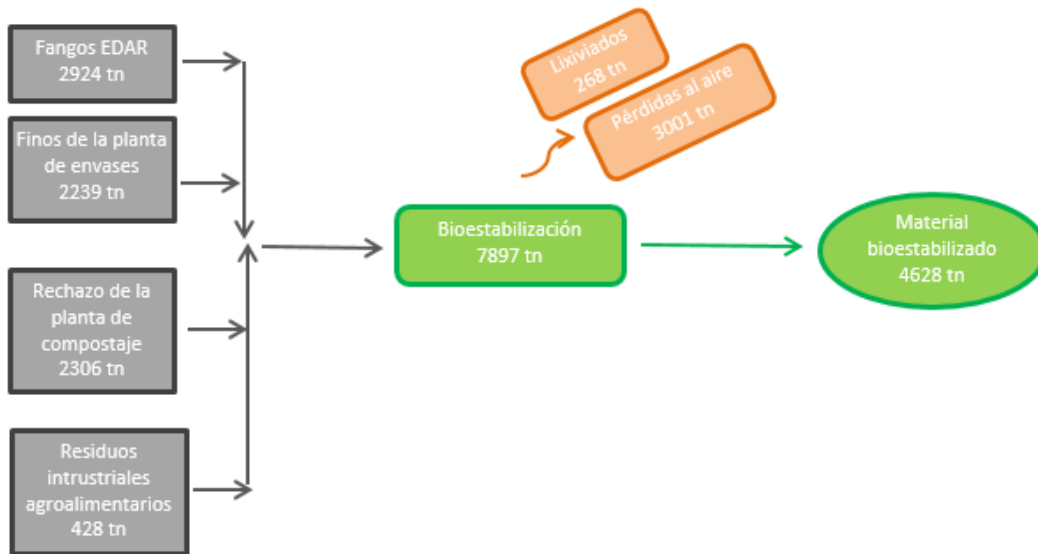


Ilustración 8. Diagrama de Flujo de la Zona de Bioestabilización

El tratamiento de bioestabilización (ver [Ilustración 8](#)) es aplicado a los fangos provenientes de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR), finos procedentes de la planta de envases, rechazo del afino de la planta de compostaje y el residuo industrial agroalimentario. Este proceso se lleva a cabo en unas eras en las cuales se forman las pilas que sufren aireación por medios mecánicos. Una vez bioestabilizado, el material es utilizado como material de cobertura en el vertedero.

2.3.4. Vertedero

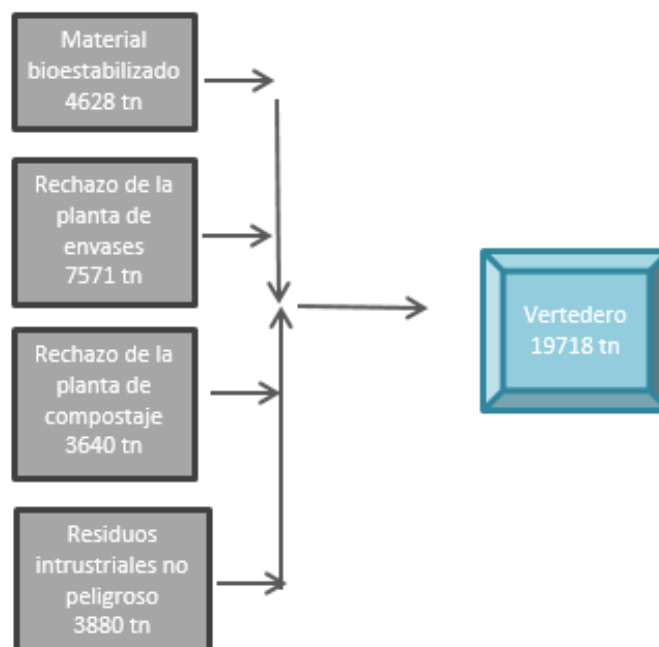


Ilustración 9. Fracciones destinadas a vertedero

Como se muestra en la [Ilustración 9](#), se llevan a vertedero los rechazos de la planta de envases y de compostaje, así como los residuos industriales no peligrosos y el material bioestabilizado, que, aunque se vaya a utilizar como material de cobertura, también acaba en el vertedero.

2.4. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

Los objetivos a cumplir en lo referente a recogida de residuos así como el rendimiento del tratamiento vienen definidos en el Plan Integrado de Gestión de Residuos de Navarra (2010-2020) (10). En este caso, se toman únicamente aquellos objetivos que afectan a la gestión de residuos de la Mancomunidad de Montejurra, no considerándose, por ejemplo, el porcentaje de recuperación de vidrio que gestiona Ecoembes de forma independiente. La [Tabla 7](#) muestra dichos objetivos, así como los porcentajes alcanzados en la actualidad por la Mancomunidad y el grado de cumplimiento que esos porcentajes suponen sobre la meta marcada.

De éste análisis se concluye que únicamente se cumplen los objetivos de recogida de las fracciones de plástico, brik y metales, siendo la recuperación de plástico el valor que menos se acerca al objetivo marcado.

Tabla 7. Cumplimiento de los objetivos exigidos en el Plan en el año 2013

		Objetivo (%)	Alcanzado (%)	Cumplimiento (%)
PyC	Recogida	80	49	61
	Recuperado	70	66	95
Plástico	Recogida	50	67	100
	Recuperado	35	14	39
Brik	Recogida	50	67	100
	Recuperado	35	30	85
Metales	Recogida	50	67	100
	Recuperado	85	43	51
Vidrio	Recogida	65	61	94
M.O	Recuperación con destino compostaje/biometanización	90	78	87

3. PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS

En vista de los resultados obtenidos en la sección 2, queda claro que la gestión de residuos de la Mancomunidad de Montejurra es susceptible de ser mejorada mediante actuaciones que consigan una mayor separación en origen o un mejor rendimiento de las plantas de tratamiento, con lo que se aumentará el cumplimiento de objetivos fijados en el Plan de Residuos.

Con este objetivo se han diseñado varias alternativas que consideran dos escenarios clave. En el primero de ellos se mantiene el sistema actual de recogida de cuatro contenedores y se busca mejorar sus resultados mediante cambios en las plantas o realizando campañas de educación y concienciación de la población. En el segundo se introduce un quinto contenedor, además de realizar otros cambios en el tratamiento.

Los párrafos siguientes resumen las propuestas diseñadas.

- **Propuesta 1:** Dejar la gestión de residuos de la Mancomunidad en la situación actual, sin realizar ningún cambio. Con esta propuesta no se realiza ninguna mejora pero permite tenerla en cuenta en las comparaciones para la toma de decisiones.
- **Propuesta 2:** Dejar el sistema de recogida y el tratamiento igual que en la actualidad, realizando campañas de educación sobre la importancia de realizar una buena separación en origen a la población de aquellas zonas en las que, como ya se ha comentado, a pesar de disponer de recogida selectiva, la separación es muy deficiente.
- **Propuesta 3:** En esta alternativa también se mantiene el sistema de recogida de cuatro contenedores pero se realizan cambios en la planta de envases, de forma que se cumplan los objetivos de recuperación marcados en el Plan.
- **Propuesta 4:** Se mantiene el sistema de recogida y la planta de envases igual que en la actualidad, realizándose cambios en la planta de compostaje para convertirla en una planta de biometanización. De esta forma, en el proceso de estabilización de la materia orgánica se obtiene biogás, que puede ser utilizado para el autoabastecimiento de la Planta de Tratamiento.
- **Propuesta 5:** Se combinan las propuestas anteriores. Se realizan campañas educativas a la población que actualmente no está realizando bien la separación de residuos, se incrementa el rendimiento de la planta de envases para que cumpla los objetivos del Plan y se sustituye el compostaje por biometanización, con el fin de obtener energía.
- **Propuesta 6:** Esta alternativa es la primera en la que se realiza el cambio del sistema de recogida introduciendo un quinto contenedor para la fracción resto, manteniéndose el tratamiento. La planta de reciclaje recibe los residuos del contenedor de envases, la de compostaje los del contenedor de orgánicos y el contenedor de resto es enviado a vertedero, siendo prensado previamente.
- **Propuesta 7:** Esta propuesta es similar a la anterior, ya que el único cambio que se realiza con respecto a ésta es la sustitución del proceso de compostaje por uno de biometanización.
- **Propuesta 8:** Debido a la mención que se realiza en el Plan Integrado de Gestión de Residuos de Navarra de la posibilidad de construir una planta de incineración para toda la Comunidad Foral, en esta alternativa se ha considerado la posibilidad de valorizar energéticamente los residuos recogidos en el contenedor de restos, así como los rechazos de las plantas ya existentes.

A continuación, se caracterizan en detalle las particularidades de cada una de las alternativas propuestas.

3.1. ALTERNATIVA N^o1

Esta primera alternativa implica mantener el sistema descrito la sección 2. A modo de resumen se introducen la [Tabla 8](#), que muestra la eficiencia y pureza de la recogida, la [Tabla 9](#), que recoge de forma sintetizada los distintos balances de masas y la [Tabla 10](#), con la eficiencia y pureza de lo recuperado.

Tabla 8. Eficiencia y pureza de la recogida (Alternativa 1)

	Envases + resto	Envases	Orgánico	PyC	Vidrio
Pureza recogida (%)	72	32	70	96	98
Eficiencia recogida (%)	72	67	86	49	61

Tabla 9. Resumen del tratamiento de la Alternativa 1

	Generación. (tn)	Entrada planta (tn)	Recuperación (tn)	A Compostar (tn)	Comp. Afinado (tn)	Comp. 2ª (tn)	A bioestabilizar. (tn)	Bioestabilizado. (tn)	Vertedero (tn)
PyC	2.458	337	224	6.211	643	286	7.897	4.628	1.9719
Brik	307	278	83						
Plástico	2.110	2.106	285						
Metales	615	607	262						
Vidrio	2.458	230	0						
MO	9.259	307	0						
Otros	3.278	2.305	0						
Film agrícola	380	0	102						
P.limp/ P.industr.	6.814	0	0						

Tabla 10. Eficiencia y pureza de lo recuperado (Alternativa 1)

	Pureza (%)	Eficiencia (%)	Eficiencia total (%)
PyC	98	66	26
Brik	99	30	
Plastico	96	14	
Metales	95	43	

3.2. ALTERNATIVA Nº2

Esta alternativa se basa en realizar campañas de educación y concienciación sobre la importancia de la separación en origen en aquellas zonas en las que a pesar de tener implantada la recogida selectiva, la separación es deficiente. Esto produce una modificación de las cantidades recogidas en cada contenedor, así como de sus eficiencias y purezas.

Para calcular las nuevas cantidades recogidas en cada contenedor se parte de que se conocen los residuos mal seleccionados (tanto su cuantía como composición, la cual se ha supuesto igual que las proporciones de generación). Estos residuos se reparten entre los contenedores existentes, donde la composición final se mantiene constante. Sumando este reparto de la cantidad que estaba mal seleccionada a las cantidades de los contenedores en la situación actual se obtiene las de los contenedores de esta alternativa (ver [Tabla 11](#)). Una vez hallados estos datos, se puede determinar cómo resulta la composición final (ver [Tabla 12](#)) así como las eficiencias y purezas (ver [Tabla 13](#))

Tabla 11. Cantidades recogidas en los contenedores (Alternativa 2)

Contenedores	
MO	12.187,77 tn
Envases	5.333,32 tn
PyC	1.340,64 tn
Vidrio	1.624,11 tn
Total	20.485,83 tn

Tabla 12. Composición de los contenedores (Alternativa2)

	Generacion		Envases+ resto		Orgánico		Papel y Carton		Vidrio	
	%	tn	%	tn	%	tn	%	tn	%	tn
PyC	12,00	2.458,22	6,70	357,33	6,00	731,27	96,00	1.287,01	0,27	4,43
Vidrio	12,00	2.458,22	4,57	243,73	6,00	731,27	0,55	7,31	98,00	1.591,63
MO	45,20	9.259,30	6,10	325,33	70,00	8.531,44	2,05	27,54	1,03	16,68
Brik	1,50	307,28	3,24	172,80	1,01	123,52	0,07	0,91	0,03	0,55
Plastico	10,30	2.109,97	26,10	1.392,00	6,96	848,20	0,47	6,28	0,23	3,80
Metales	3,00	614,56	7,48	398,93	2,03	247,05	0,14	1,83	0,07	1,11
Otros	16,00	3.277,63	45,81	2.443,19	8,00	975,02	0,73	9,75	0,36	5,91
	100,00	20.485,18	100,00	5.333,32	100,00	12.187,77	100,00	1.340,64	100,00	1.624,11

Tabla 13. Eficiencia y pureza de la recogida (Alternativa 2)

	Envases + resto	Envases	Orgánico	PyC	Vidrio
Pureza recogida (%)	83	37	70	96	98
Eficiencia recogida (%)	70	65	92	52	65

Al cambiar las cantidades de los contenedores también se va a ver afectado el tratamiento en las plantas, modificándose las cantidades que entran y salen de las mismas. Aun así, los rendimientos de la planta de envases se mantienen iguales que los obtenidos para la situación actual. Para completar el balance de masas de cada una de las plantas, se ha considerado que se mantienen las mismas relaciones internas que en la actualidad, obteniéndose como resultado la [Tabla 14](#).

Tabla 14. Resumen del tratamiento de la Alternativa 2

	Generación. (tn)	Entrada planta (tn)	Recuperación (tn)	A Compostar (tn)	Comp. Afinado (tn)	Comp. 2ª (tn)	A bioestabilizar. (tn)	Bioestabilizado. (tn)	Vertedero (tn)
PyC	2.458	357	238	6.650	688	306	8.198	4.804	19.055
Brik	307	296	88						
Plastico	2.110	2.240	303						
Metales	615	646	278						
Vidrio	2.458	244	0						
MO	9.259	325	0						
Otros	3.278	2.443	0						
Film agrícola	380	0	102						
P.limp/ P.industr.	6.814	0	0						

3.3. ALTERNATIVA Nº3

En la alternativa 3 se mantiene una situación similar a la actual, realizándose cambios únicamente dentro de la planta de envases para que se cumplan los objetivos en cuanto a las cantidades recuperadas (ver [Tabla 7](#)). Dentro de estos cambios se contempla la introducción de un separador balístico, colocado antes del separador óptico existente, para de esta manera asegurar que los residuos que entrar al óptico y posteriormente al separador de corrientes de Foucault sean exclusivamente envases, aumentando por lo tanto su rendimiento. Se contempla además la colocación de otro separador óptico, de forma que se puedan recuperar más tipos de plástico.

Para caracterizar la recogida se pueden usar los mismos datos que los obtenidos en el apartado [2.2](#). Sin embargo, el diagrama de flujo dentro de la planta varía, pudiéndose ver el resumen del tratamiento en la [Tabla 15](#) y las nuevas eficiencias obtenidas en la planta de envases en la [Tabla 16](#).

Tabla 15. Resumen del tratamiento de la Alternativa 3

	Generación. (tn)	Entrada planta (tn)	Recuperación (tn)	A Compostar (tn)	Comp. Afinado (tn)	Comp. 2ª (tn)	A bioestabilizar. (tn)	Bioestabilizado. (tn)	Vertedero (tn)
PyC	2.458	337	236	6.211	643	286	7.897	4.628	19.012
Brik	307	278	97						
Plástico	2.110	2.106	711						
Metales	615	607	516						
Vidrio	2.458	230	0						
MO	9.259	307	0						
Otros	3.278	2.305	0						
Film agrícola	380	0	102						
P.limp/ P.industr.	6.814	0	0						

Tabla 16. Eficiencias y perezas de las fracciones recuperadas (Alternativa 3)

	Entrada contenedor envases (tn)	Entrada desde P.Compostaje (tn)	Recuperado (tn)	Pureza (%)	Eficiencia (%)	Eficiencia total (%)
PyC	337	-	236	98	70	47
Brik	163	115	97	99	35	
Plastico	1313	793	711	96	35	
Metales	376	231	516	95	85	

3.4. ALTERNATIVA Nº4

En este caso, se trata de mantener el sistema de recogida mediante cuatro contenedores cambiando el tratamiento que se le da a la materia orgánica, pasando de un compostaje a una biometanización. De esta manera, además de digestato, se obtiene biogás que puede utilizarse para autoabastecer energicamente a la Planta de Tratamiento.

Para maximizar la producción de energía se somete a este tratamiento no sólo a la materia orgánica recogida en dicho contenedor, sino también a todos los materiales que actualmente se llevan a bioestabilización como son el rechazo de la planta de envases, los lodos de la EDAR o los residuos agroalimentarios. Los residuos del contenedor de orgánicos, al igual que en la actualidad, pasan a través de un trómel y un separador balístico para que se minimicen las cantidades de impropios que pasan a la fase de biometanización. Una vez realizada esta criba es cuando se añaden los otros residuos ya comentados, que debido a su composición y/o tratamiento previo se considera innecesario su pretratamiento. El resumen de éste tratamiento puede verse en la [Tabla 17](#).

Tabla 17. Resumen del tratamiento de la Alternativa 4

	Generación. (tn)	Entrada planta (tn)	Recuperación (tn)	A biometanizar (tn)	Comp. Afinado (tn)	Comp. 2ª (tn)	Vertedero (tn)
PyC	2.458	337	224	11.802	2.080	924	18.224
Brik	307	278	83				
Plastico	2.110	2.106	285				
Metales	615	607	262				
Vidrio	2.458	230	0				
MO	9.259	307	0				
Otros	3.278	2.305	0				
Film agrícola	380	0	102				
P.limp/ P.industr.	6.814	0	0				

3.5. ALTERNATIVA Nº5

Esta alternativa reúne todas las mejoras realizadas en las alternativas anteriores, de forma que se mejoren los siguientes aspectos de la gestión: recogida de residuos sólidos y tratamiento tanto de la fracción de inertes como de orgánicos.

Se realiza una campaña de información en los lugares donde hoy en día se produce una separación de residuos deficiente consiguiéndose una composición de los contenedores y unas eficiencias y purezas de las recogidas iguales que las obtenidas para la [ALTERNATIVA Nº2](#) (ver [Tabla 11](#), [Tabla 12](#) y [Tabla 13](#)).

La planta de envases se modifica para que al igual que en la [ALTERNATIVA Nº3](#) se alcancen los objetivos marcados en el Plan de Gestión de Residuos en cuanto a los porcentajes de residuos recuperados. Debido a la variación de las cantidades de los contenedores, las entradas y salidas de la planta no van a ser coincidentes con esta alternativa mencionada y por lo tanto, tampoco su rendimiento total (ver [Tabla 18](#)).

Tabla 18. Eficiencias y purezas de las fracciones recuperadas (Alternativa 5)

	Entrada contenedor envases (tn)	Entrada desde P.Compostaje (tn)	Recuperado (tn)	Pureza (%)	Eficiencia (%)	Eficiencia total (%)
PyC	357	-	250	98	70	48
Brik	173	124	104	99	35	
Plastico	1392	848	784	96	35	
Metales	399	247	549	95	85	

La última medida considerada es la sustitución del compostaje de la materia orgánica por un proceso de biometanización, en el que se aplican los mismos criterios que los comentados en la [ALTERNATIVA N°4](#).

Aplicando lo anteriormente expuesto, se obtiene unos resultados que se reúnen en la [Tabla 19](#).

Tabla 19. Resumen del tratamiento de la Alternativa 5

	Generación. (tn)	Entrada planta (tn)	Recuperación(tn)	A biometanizar (tn)	Comp. Afinado (tn)	Comp. 2ª (tn)	Vertedero (tn)
PyC	2.458	357	250	12.379	2.139	951	16.817
Brik	307	296	104				
Plastico	2.110	2.240	784				
Metales	615	646	549				
Vidrio	2.458	244	0				
MO	9.259	325	0				
Otros	3.278	2.443	0				
Film agrícola	380	0	102				
P.limp/ P.industr.	6.814	0	0				

3.6. ALTERNATIVA N°6

En este caso se modifica el sistema de recogida pasando de uno basado en cuatro contenedores (orgánicos, inertes, vidrio y papel y cartón) a otro en el que en el que se recogen selectivamente 5 fracciones (orgánicos, envases, resto, vidrio y papel y cartón).

Para calcular las cantidades recogidas en cada uno de los contenedores (ver [Tabla 21](#)) así como su composición, se ha partido de los datos de eficiencia y pureza de los municipios de la Mancomunidad de San Marcos (Gipuzkoa) que ya disponen de este sistema de recogida (ver [Tabla 20](#)). El motivo de utilizar estos datos es que en Navarra se está empezando ahora a implantar este quinto contenedor y todavía no se dispone de información suficiente.

Tabla 20. Eficiencias y purezas en la recogida en la Mancomunidad de San Marcos

	Envases	Orgánico	PyC	Vidrio
Pureza recogida (%)	87	86	97	98
Eficiencia recogida (%)	40	20	62	70

Tabla 21. Cantidades recogidas en los contenedores (Alternativa 6)

Contenedores	
MO	11390,22 tn
Envases	1381,70 tn
Resto	4387,56 tn
PyC	1578,35 tn
Vidrio	1747,34 tn
Total	20485,18 tn

En la Mancomunidad de San Marcos el quinto contenedor supuso el inicio de la recogida selectiva de materia orgánica, siendo anteriormente recogida junto a la fracción resto, y por lo tanto, obteniéndose un valor de eficiencia bajo. Sin embargo, en la Mancomunidad de Montejurra ya se dispone de este contenedor, por lo que el quinto está destinado a separar los envases de la fracción resto, pudiéndose suponer que se mantiene la eficiencia y pureza del contenedor de orgánicos actual.

Para la obtención de la composición del contenedor de envases, se ha supuesto que los impropios están en las mismas proporciones que los residuos generados.

En la [Tabla 22](#) puede verse cómo queda la nueva composición de cada uno de los contenedores y en la [Tabla 23](#) las eficiencias y purezas consideradas.

Tabla 22. Composición de los contenedores (Alternativa 6)

	Generacion		Envases		Resto		Orgánico		Papel y Carton		Vidrio	
	%	tn	%	tn	%	tn	%	tn	%	tn	%	tn
PyC	12,00	2.458,22	1,80	24,91	4,70	206,22	6,00	683,41	97,31	1.535,90	0,27	4,77
Vidrio	12,00	2.458,22	1,80	24,91	0,70	30,71	6,00	683,41	0,37	5,79	98,00	1.712,40
MO	45,20	9.259,30	6,79	93,83	26,25	1.151,74	70,00	7.973,15	1,38	21,81	1,03	17,95
Brik	1,50	307,28	7,67	105,98	2,00	87,75	1,01	115,44	0,05	0,72	0,03	0,60
Plastico	10,30	2.109,97	61,83	854,03	10,40	456,31	6,96	792,70	0,31	4,97	0,23	4,09
Metales	3,00	614,56	17,70	244,56	3,10	136,01	2,03	230,88	0,09	1,45	0,07	1,19
Otros	16,00	3.277,63	2,40	33,21	52,85	2.318,83	8,00	911,22	0,49	7,72	0,36	6,35
	100,00	20.485,18	100,00	1.381,42	100,00	4.387,56	100,00	11.390,22	100,00	1.578,35	100,00	1.747,34

Tabla 23. Eficiencia y pureza de la recogida (Alternativa 6)

	Envases	Orgánico	PyC	Vidrio
Pureza recogida (%)	87	70	97	98
Eficiencia recogida (%)	40	86	62	70

El cambio de cuatro a cinco contenedores trae consigo un cambio de las frecuencias de recogida, manteniéndose igual que en la actualidad la del contenedor de orgánico pero reduciéndose al mínimo (2 veces semanales por razones de olores y otras molestias) en el caso de inertes y resto (ver [Tabla 24](#)).

Tabla 24. Frecuencia de recogida con 5 contenedores (días/semana)

Ruta	Frecuencia orgánico	Frecuencia inerte	Frecuencia resto	Frecuencia papel
1	2	2	2	0
2	2	2	2	0
3	2	2	2	0
4	4	2	2	3
5	2	2	2	0
6	3	2	2	0
7	4	2	2	2
8	3	2	2	0
9	2	2	2	0

En lo referente al tratamiento (cuyo balance de masas puede verse en la [Tabla 25](#)) no se modifica ninguna de las dos plantas. El contenedor de envases entra en la planta de reciclaje, el de orgánicos en la de compostaje y el contenedor de resto se prensa y se envía a vertedero.

En la planta de reciclaje no sólo se ven afectadas las entradas y salidas provocadas por el cambio de la cantidad de los contenedores, sino que al cambiar su composición y reducirse los impropios el rendimiento de la planta aumenta. Para considerar el nuevo rendimiento global que tendría la Planta se ha tomado el rendimiento de la Planta de Tratamiento de envases de la Ribera Alta de Navarra (11). El motivo de utilizar estos datos es la proximidad y similitud de las características de los municipios (y por lo tanto de sus residuos) que la forman con respecto a los municipios de la Mancomunidad de Montejurra. En cuanto a los rendimientos parciales para cada uno de los materiales recuperados se ha mantenido las mismas proporciones que guardan en la actualidad (ver [Tabla 26](#)).

Tabla 25. Resumen del tratamiento de la Alternativa 6

	Generación. (tn)	Entrada planta (tn)	Recuperación (tn)	A Compostar (tn)	Comp. Afinad (tn)	Comp. 2ª (tn)	A bioestabilizar. (tn)	Bioestabilizado. (tn)	Vertedero (tn)
PyC	2458	25	22	6211	643	286	5734	3360	19289
Brik	307	221	157						
Plastico	2110	1647	1037						
Metales	615	475	418						
Vidrio	2458	25	0						
MO	9259	94	0						
Otros	3278	33	0						
Film agrícola	380	0	102						
P.limp/ P.industr.	6814	0	0						

Tabla 26. Eficiencia y pureza de lo recuperado (Alternativa 6)

	Entrada contenedor envases (tn)	Entrada desde P.Compostaje (tn)	Recuperado (tn)	Pureza (%)	Eficiencia (%)	Eficiencia total (%)
PyC	25	-	22	98	89	69
Brik	106	115	157	99	71	
Plastico	854	793	1037	96	63	
Metales	245	231	418	95	88	

3.7. ALTERNATIVA Nº7

Esta alternativa es similar a la [ALTERNATIVA Nº6](#). El único cambio que se realiza es la sustitución del proceso de compostaje por uno de biometanización. Por ello, las cantidades recogidas (ver [Tabla 21](#)), la composición de los contenedores (ver [Tabla 22](#)) y el rendimiento de la planta de envases (ver [Tabla 23](#)) son iguales que en dicha alternativa.

En cuanto a las consideraciones en el proceso de biometanización son las mismas que en la [ALTERNATIVA Nº4](#): los residuos del contenedor de orgánicos, al igual que en la actualidad, pasan a través de un trómel y un separador balístico para minimizar las cantidades de impropios que pasan a la fase de biometanización. Una vez realizada esta criba se añaden los materiales que actualmente se bioestabilizan (rechazo de la planta de envases, lodos de la EDAR y los residuos agroalimentarios), que debido a su composición y/o tratamiento previo no requieren pretratamiento. El resumen de la distribución de residuos en los tratamientos considerados en esta alternativa se muestra en la [Tabla 27](#).

Tabla 27. Resumen del tratamiento de la Alternativa 7

	Generación. (tn)	Entrada planta (tn)	Recuperación (tn)	A biometanizac. (tn)	Comp. Afinado (tn)	Comp. 2ª (tn)	Vertedero (tn)
PyC	2.458	25	22	9639	1850	825	18260
Brik	307	221	157				
Plastico	2.110	1.647	1037				
Metales	615	475	418				
Vidrio	2.458	25	0				
MO	9.259	94	0				
Otros	3.278	33	0				
Film agrícola	380	0	102				
P.limp/ P.industr.	6.814	0	0				

3.8. ALTERNATIVA Nº8

En el Plan Integrado de Gestión de Residuos de Navarra (2010-2020) (10) se contempla la posibilidad de construir una planta de incineración para toda la Comunidad Foral en la que se valoricen energéticamente los residuos del contenedor de restos así como los rechazos de las plantas existentes.

A la hora de plantear esta alternativa se ha considerado que mediante la recogida con cinco contenedores se llegan a cumplir todos los objetivos referentes a la eficiencia de la recogida (ver Tabla 7). Sin embargo, al no especificarse nada en el Plan, se mantienen las mismas purezas que en la ALTERNATIVA Nº6 (ver Tabla 23). Como resultado se obtienen las cantidades recogidas en los contenedores que se muestran en la Tabla 28 y su composición (ver Tabla 29).

Tabla 28. Cantidades recogidas en los contenedores (Alternativa 8)

Contenedores	
MO	11390,22 tn
Envases	1738,42 tn
Resto	3588,25 tn
PyC	2020,94 tn
Vidrio	1747,34 tn
Total	20485,18 tn

Tabla 29. Composición de los contenedores (Alternativa 8)

	Generacion		Envases		Resto		Orgánico		Papel y Carton	
	%	tn	%	tn	%	tn	%	tn	%	tn
PyC	12,00	2.458,22	1,80	31,34	0,00	0,00	6,00	683,41	97,31	1.966,58
Vidrio	12,00	2.458,22	1,80	31,34	0,70	25,12	6,00	683,41	0,37	7,41
MO	45,20	9.259,30	6,79	118,05	25,00	897,06	70,00	7.973,15	1,38	27,92
Brik	1,50	307,28	7,67	133,34	1,50	53,82	1,01	115,44	0,05	0,93
Plastico	10,30	2.109,97	61,81	1.074,52	5,00	179,41	6,96	792,70	0,31	6,36
Metales	3,00	614,56	17,70	307,70	2,00	71,77	2,03	230,88	0,09	1,85
Otros	16,00	3.277,63	2,40	41,79	65,80	2.361,07	8,00	911,22	0,49	9,88
	100,00	20.485,18	99,98	1.738,07	100,00	3.588,25	100,00	11.390,22	100,00	2.020,94

El transporte también se va a ver modificado ya que el contenedor de resto será llevado directamente a la planta de incineración, la cual se ha supuesto localizada en Pamplona. Además, los rechazos de las plantas que puedan ser valorizados también serán transportados hasta dicho lugar.

En lo referente al tratamiento, a la planta de envases siguen llegando los residuos no recuperados de los puntos limpios, voluminosos y residuos procedentes de zonas sin recogida selectiva, que son prensados y enviados a vertedero. Los residuos que llegan en el contenedor de envases entran a la planta, la cual no es necesario modificar, ya que al introducir el quinto contenedor y modificarse la composición del de envases se alcanzan los objetivos marcados en

el Plan en cuanto a recuperación, por lo que el rendimiento de la planta en esta alternativa es igual que en la **ALTERNATIVA N°6** (ver **Tabla 23**).

A la fracción orgánica se le somete a un proceso de biometanización similar al descrito en la **ALTERNATIVA N°4**. En este proceso se generan dos tipos de rechazo, el primero se produce en el pretratamiento del residuo recogido en el contenedor de orgánicos, y éste se lleva a incinerar. El segundo se genera al realizar el afino del compost y por sus características no se le considera interesante desde el punto de vista de la incineración, por lo que se lleva a vertedero.

Los residuos del contenedor de restos, previo tratamiento mecánico para la eliminación de residuos problemáticos para la incineración o que no interesa incinerarlos (que serán llevados a vertedero), entran en la incineradora, donde también van los rechazos ya comentados. En el proceso de incineración se produce una disminución del 70% del peso de residuo entrante, y del material generado el 90% se consideran escorias y el 10% ceniza (12). Las escorias se suponen un residuo no peligroso que pueden acabar en vertedero, sin embargo, las cenizas deben ser estabilizadas por un gestor especializado.

El balance de masas se recoge en la **Tabla 30**.

Tabla 30. Resumen del tratamiento de la Alternativa 8

	Generación (tn)	Entrada a planta (tn)	Recuperación. (tn)	A biometanizar. (tn)	Comp. Afinado (tn)	Comp. 2ª (tn)	TM (tn)	Incineración. (tn)	Escorias (tn)	Cenizas (tn)	Vertedero (tn)
Brik	307	273	177	9.659	1.852	826	3.588	7.886	4.968	552	14.668
Plastico	2.110	2.061	1.176								
Metales	615	594	474								
PyC	2.458	37	28								
Vidrio	2.458	37	0								
MO	9.259	139	0								
Otros	3.278	49	0								
Film agrícola	380	0	102								
P.limp/ P.indust.	6.814	0	0								

4. ANÁLISIS MULTI-CRITERIO

Una vez caracterizadas todas las alternativas, se expone a continuación la metodología de análisis multi-criterio propuesta para su evaluación. Dicha metodología, basada en la combinación de las técnicas AHP (Analytic Hierarchy Process) y TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), se desarrolla de acuerdo a la siguiente secuencia de operaciones:

- (1) Descripción del conjunto de criterios que influyen en el proceso de toma de decisiones;
- (2) Determinación de la importancia relativa (ponderación) entre tales criterios mediante la aplicación del método AHP;
- (3) Ranking de las alternativas propuestas de acuerdo al conjunto de criterios definido previamente

4.1. DESCRIPCIÓN DEL CONJUNTO DE CRITERIOS SELECCIONADOS

La correcta ejecución de esta fase es un aspecto crucial dentro de cualquier metodología multi-criterio. Una pobre selección de criterios conducirá con toda seguridad a un mal reflejo de la perspectiva real que se tiene sobre el problema. Para evitar incurrir en tal error, la elección de criterios se apoyó en diversas referencias bibliográficas (13) (14) (15) (16). Como resultado, el problema se ha estructurado como se muestra en la [Tabla 31](#).

Tabla 31. Criterios y subcriterios considerados

CRITERIO	SC	SUBCRITERIO	UNIDADES
ECONÓMICO	SC.1.1	Coste de la inversión	€/año
	SC.1.2	Coste de recogida	€/año
	SC.1.3	Coste de transporte	€/año
	SC.1.4	Coste de tratamiento	€/año
	SC.1.5	Recuperación en tratamiento	€/año
AMBIENTAL	SC.2.1	Emisiones durante transporte	kg CO2 eq/año
	SC.2.2	Emisiones durante tratamiento	kg CO2 eq/año
	SC.2.3	Contaminación de aguas	l/año
SOCIAL	SC.3.1	Generación de empleo	empleados
	SC.3.2	Cumplimiento de objetivos	puntuación
	SC.3.3	Grado de aceptación social	puntuación
	SC.3.4	Adaptabilidad	puntuación

El criterio económico está formado por cinco subcriterios con los se analiza el balance económico anual de cada una de las alternativas. Se parte de la hipótesis de que los costes de inversión se amortizan en un periodo de 10 años. Los costes de la recogida comprenden todas las operaciones necesarias para la recolección de los residuos. A estos valores hay que sumar el coste del transporte de un pueblo a otro de la ruta y en los casos que proceda, el transporte desde la Planta de Transferencia (donde hay que pagar por el procesamiento de los residuos) a la Planta de Tratamiento. Por último se considera el coste del tratamiento de los residuos así como la posible recuperación económica que se produce con su venta.

En cuanto al criterio ambiental, los dos primeros subcriterios miden en una misma unidad (kg CO₂ eq/año) las emisiones a la atmósfera de gases efecto invernadero (CO₂, CH₄ y N₂O) producido durante el transporte y el tratamiento. Esas emisiones pueden resultar negativas, ya se comparan con las que se producirían si en vez de reciclar los materiales se fabricasen. Y por lo tanto, una correcta gestión de residuos puede suponer un ahorro respecto al ciclo natural de contaminación atmosférica. En cuanto a la contaminación de las aguas se consideran los lixiviados que genera la fracción destinada a vertedero.

Por último, el criterio social se compone de cuatro subcriterios específicos. El primero mide el ratio de generación de empleo que produce cada una de las alternativas sometidas a estudio por cada 1000 toneladas de residuos. Por otra parte se contempla el cumplimiento de los objetivos marcado por el Plan de Residuos de Navarra (2010-2016) (10). Por último, se consideran dos subcriterios de carácter ciudadano como el grado de aceptación social de cada tipo de recogida y tratamiento y la adaptabilidad, con lo que se tiene en cuenta el proceso de adaptación a un nuevo sistema de recogida.

4.2. PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS Y SUBCRITERIOS

4.2.1. Criterios

Análisis de sensibilidad

En el contexto de este estudio, el análisis de sensibilidad se aplica para cuantificar las variaciones que se producen en el ranking final de alternativas si se introducen modificaciones en la ponderación de los criterios. Su objetivo, por tanto, es evitar darse por satisfecho con una única solución y fortalecer el análisis e interpretación de los resultados proporcionados tras aplicar la metodología multi-criterio.

Dado que el presente trabajo está en línea con los objetivos del desarrollo sostenible, el escenario de partida consiste en otorgar una importancia o peso igual a cada uno de los criterios (económico, ambiental y social). A partir de ahí, se plantean otros tres escenarios en los que cada uno de los criterios adquiere una importancia predominante, tal y como se muestra en la [Tabla 32](#).

Tabla 32. Ponderación de los criterios según los distintos escenarios

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Económico	0,33	0,6	0,2	0,2
Ambiental	0,33	0,2	0,6	0,2
Social	0,33	0,2	0,2	0,6

4.2.2. Subcriterios

Los cinco subcriterios económicos, dado que tienen las mismas unidades se han unificado en uno solo representando el balance económico anual de cada una de las alternativas. Lo mismo ocurre con las emisiones producidas durante el transporte y el tratamiento de la parte

ambiental, con lo que los tres subcriterios iniciales se transforman en dos (emisiones atmosféricas totales y emisiones al agua). La ponderación de cada uno de éstos subcriterios ambientales se ha obtenido de un trabajo que aplica el análisis multi-criterio para optimizar la gestión de residuos en Cantabria (16), en el que se realizaron encuestas a expertos en las que se preguntaba acerca de la importancia relativa de estos factores.

Siguiendo una filosofía similar, la ponderación de los subcriterios sociales se ha realizado en este trabajo a partir de la información extraída de las encuestas rellenas por 36 ciudadanos sobre la importancia de estos cuatro subcriterios. Los encuestados no tenían más que responder a preguntas del tipo “cuán importante es el subcriterio *i* respecto al subcriterio *j*”, de acuerdo a una escala predefinida de grados de importancia. El procesamiento y síntesis de las opiniones proporcionadas por estos ciudadanos se realizó aplicando el método AHP y un procedimiento de agregación basado en el cálculo de la distancia Euclídea entre los puntos de vista de los encuestados.

Analytic Hierarchy Process (AHP)

El método AHP, creado por Saaty (17), es uno de los más empleados para tratar problemas de toma de decisiones en diversos ámbitos. Esta técnica se utiliza para obtener la importancia relativa entre varios criterios y consiste en realizar comparaciones por pares entre sus elementos constitutivos de acuerdo a una escala de valores, que en el presente trabajo se ha adaptado a los niveles mostrados en la [Tabla 33](#).

Tabla 33. Escala de comparación por pares

Término lingüístico (i respecto a j)	Valor numérico	
	a_{ij}	a_{ji}
Absolutamente menos importante	1/5	5
Menos importante	1/3	3
Igualmente importante	1	1
Más importante	3	1/3
Absolutamente más importante	5	1/5

Aplicando esta escala en la comparación de una serie de criterios se obtiene una matriz recíproca [A] de dimensiones n x n formada por elementos que verifican la expresión $a_{ij} * a_{ji} = 1$. La consistencia de las comparaciones efectuadas se mide a partir del máximo autovalor de la matriz ($\lambda_{m\acute{a}x}$). Esta matriz [A] es totalmente consistente cuando $\lambda_{m\acute{a}x} = n$, volviéndose más inconsistente a medida que el autovalor crece de acuerdo a la siguiente expresión:

$$C. R. = \frac{C. I.}{R. I.} < 0.1 \tag{I}$$

Donde C.R es el ratio de consistencia, C.I es el índice de consistencia y R.I es el índice de consistencia aleatoria. El índice de consistencia se calcula de acuerdo a la Ec (II):

$$C. I. = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \tag{II}$$

Por su parte, el índice de consistencia aleatoria, que representa la media de todos los índices de consistencia de una comparación por pares generada de forma aleatoria se obtiene de la [Tabla 34](#) y como puede verse, depende únicamente del tamaño de la matriz.

Tabla 34. Índice de consistencia aleatoria

Tamaño de la matriz (n)	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I.	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.25	1.49

Método de Agregación Basado en la Distancia

El siguiente paso consiste en unir todas las encuestas respondidas por los ciudadanos en una sola que refleje el punto de vista consensuado de todas ellas. Para ello, se ha utilizado una metodología basada en el cálculo de la distancia entre las opiniones de los encuestados (18). En primer lugar, y dado que la escala de comparación mostrada en la [Tabla 33](#) es recíproca, el primer paso es transformar esos valores a escala logarítmica para igualar las diferencias entre los niveles “menores y “mayores de importancia. Posteriormente se calcula la distancia Euclídea de cada encuestado con el propósito de determinar el grado de afinidad entre los distintos puntos de vista de los ciudadanos:

$$s_{ekel} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{j1j2,ek} - x_{j1j2,ei})^2} \tag{III}$$

donde s_{ekel} es la distancia entre las opiniones de los ciudadanos e_k y e_i y $x_{j1j2,ek}$ y $x_{j1j2,ei}$ los valores numéricos.

Calculando la distancia Euclídea de cada ciudadano respecto del resto se obtiene una matriz simétrica [P] dedimensiones p x p, siendo p el número de ciudadanos preguntado. Esa matriz refleja la proximidad entre los puntos de vista entre cada par de ciudadanos.

El objetivo ahora es asignar un peso a cada uno de los ciudadanos según la similaridad de sus opiniones con respecto a las del resto de los ciudadanos, obteniendo un mayor peso cuanta mayor afinidad muestren. Para ello se realiza una ponderación según la inversa de la suma de las distancias:

$$w_{ek} = \frac{1 / \sum_{k=1}^p s_{ekel}}{\sum_{k=1}^p \left(1 / \sum_{k=1}^p s_{ekel} \right)} \tag{IV}$$

La medida de tendencia adecuada para agregar un conjunto de opiniones individuales es la media geométrica ponderada (la media ponderada de n números como la raíz enésima de su producto), de cuya aplicación se obtiene una matriz de comparación consensuada (19) (20).

$$x_{j1j2,c} = \left(\prod_{k=1}^p x'_{j1j2,ek} w_{ek} \right)^{1 / \sum_{k=1}^p w_{ek}} \tag{V}$$

Para calcular los pesos de los criterios, los elementos de la matriz consensuada deben ser normalizados previamente:

$$x_{j_1 j_2, cn} = \frac{x_{j_1 j_2, c}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{j_2, c}^2}} \quad (VI)$$

Finalmente, los pesos se determinan aplicando la Ec. (VII)(VIII):

$$w_j = \frac{\frac{\sum_{j=1}^n 1}{\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{j_1 j_2, c}}}}{\sum \frac{\sum_{j=1}^n 1}{\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{j_1 j_2, c}}}} \quad (VII)$$

4.3. RANKING DE LAS ALTERNATIVAS

4.3.1. Cálculo de los criterios

Criterio económico

El primer coste a considerar es el de inversión, sobre el que se asume un período de amortización de 10 años. Para estimar la inversión necesaria para realizar el programa de educación y concienciación social se ha dividido en dos, en función del porcentaje de población que se va a ver afectada (21) (22) (ver [Tabla 35](#)). Para el resto de los costes de inversión se utiliza una base de datos que incluye los costes asociados a éste tipo de tecnologías (23). En función de la capacidad de tratamiento requerida y considerando los 10 años de amortización mencionados, se obtienen los costes a utilizar (ver [Tabla 36](#)).

Tabla 35. Coste campaña de información

	€	€/año
Educación 4 contenedores	20.000	2.000
Educación 5 contenedores	100.000	10.000

Tabla 36. Costes de inversión

	Capacidad	€/tn
Mejora de Planta envases	-	19
Biometanización	15.000	17
Incineradora	100.000	42
TM	50.000	14

Los costes de recogida, transporte y tratamiento se han obtenido de dos informes redactados con la Comisión Europea de Medio Ambiente (13) (14) (ver Tabla 37 y Tabla 38).

Tabla 37. Coste de recogida

Contenedor	Recogida	Coste recogida (€/tn)	
		3-4 veces/semana	2 veces/semana
Resto	4 Cont	54	63
	5 Cont	65	74
Inertes	4 Cont	129	191
	5 Cont	155	226
Orgánico	4 Cont	43	143
	5 Cont	54	170

Tabla 38. Coste de transporte

Coste transporte /€/tn*km)	
Desde recogida	0,36
Desde ETT	0,21
Coste transferencia (€/tn)	
6	

Por último, se considera el coste del tratamiento de los residuos así como la posible recuperación económica que se produce con su venta (ver Tabla 39). Hay que tener en cuenta que el tratamiento mecánico e incineración se diseñan para toda la Comunidad Foral, pangando la Mancomunidad de Montejurra la parte proporcional a sus residuos tratados en dichas instalaciones. Los costes de la recuperación económica que se produce con la venta de los productos recuperados se han extraído de la página web de Ecoembes (7). Al igual que ocurre con las caracterizaciones puntuales de los residuos que entran en la planta de envases, estos costes de recuperación se refieren a cada uno de los materiales recuperados (PET, MIX...) siendo necesario realizar una media ponderada para adaptarlos a la agrupación de materiales realizada en este trabajo.

Tabla 39. Coste del tratamiento y recuperación

	Coste tratamiento /€/tn)	Recuperación (€/tn)
Compostaje	40	8
Bioestabilización	32	-
Biometanización	65	14
Reciclaje	221	
Metales		86
Plástico		388
PyC		68
Otros		472
Incineración	64	12
TM	60	-
Vertedero	56	-

Criterio ambiental

Las emisiones de gases emitidos a la atmósfera durante la fase de transporte y tratamiento (15) se reúnen en la [Tabla 40](#).

Tabla 40. Emisiones durante el transporte y tratamiento

Transporte	kg CO2 eq./ton*km	
Desde recogida	0,105	
Desde ETT	0,08	
Tratamiento	Residuo	Total GHG Flux (kg CO2 eq./ton)
Compostaje	Orgánico	-37
	Orgánico	-104
Bioestabilización	Orgánico	-37
Reciclaje	Papel-cartón	-600
	HDPE	-491
	PET	-1761
	Envases metálicos	-1807
	Otros	-143
Incineración	Orgánico	-224
	PyC	-691
	Plástico	310
	Metales	-1346
	Otros	-241
Vertedero	Orgánico	730
	Papel-cartón	223
	Envases plásticos	8
	Envases metálicos	8
	Otros residuos	237

En cuanto a la contaminación de las aguas, se consideran los lixiviados que genera la fracción destinada a vertedero. Para su cálculo se ha supuesto que la densidad de los residuos en vertedero es de 800Kg/m³ y que la profundidad del vaso es de 15m. Conocida la precipitación media anual (400 mm (24)), se obtiene la cantidad de agua contaminada, y con ello los lixiviados (20% del agua contaminada).

Criterio social

Las consideraciones sociales que se han tenido en cuenta son cuatro. La primera de ellas es el empleo generado por cada una de las alternativas (25) (ver [Tabla 41](#)).

Tabla 41. Trabajos generados según los sistemas de recogida y tratamiento

	Trabajos /1000tn
Recogida selectiva	1,67
Recogida mezcla	0,56
Compostaje	0,5
Biometanización	0,5
TM	0,5
Incineración	0,1
Reciclaje	2
Vertedero	0,1

El siguiente subcriterio social es el cumplimiento de los objetivos marcados por el Plan de Residuos de Navarra (2010-2016) (10). Para ello se comparan esos valores meta recogidos en la [Tabla 7](#) con los porcentajes de eficiencia de recogida y recuperación de cada una de las alternativas analizadas.

La cuantificación de la adaptabilidad social de la ciudadanía a un nuevo sistema de recogida se lleva a cabo por relación de porcentaje de población que se ve afectada por dicho cambio respecto al total de la Mancomunidad.

Por último, para determinar la aceptación de los sistemas de gestión propuestos, se ha aplicado de nuevo la metodología descrita en el apartado 4.2.2, pero esta vez adaptando las encuestas de modo que se pregunte por el grado de aceptación de los ciudadanos por cada tipo de recogida y tratamiento considerados.

4.3.2. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)
El método TOPSIS, originalmente desarrollado por Hwang & Yoon (26), está basado en el principio de que la mejor alternativa a problema multi-criterio dado no solo está caracterizada por tener la menor distancia a la solución ideal positiva (PIS), sino también por tener la mayor distancia a la solución ideal negativa (NIS). Gestionar la dualidad de estos dos conceptos no es una tarea sencilla, ya que la alternativa más cercana a la solución ideal positiva no tiene por qué coincidir con la alternativa con la mayor distancia a la solución ideal negativa. Precisamente para hacer frente a este dilema se desarrolló el método TOPSIS, cuyo funcionamiento puede describirse de forma algorítmica de acuerdo a los siguientes pasos:

- **Definición de la matriz de toma de decisiones.** Esta matriz contiene la puntuación r_{ij} de para cada una de las alternativas $A_i < i = 1, 2, \dots, m >$ respecto a cada uno de los criterios considerados $C_j < j = 1, 2, \dots, n >$.

- **Normalización de la matriz de toma de decisiones.** Los valores normalizados n_{ij} se calculan aplicando la Ec. (VIII):

$$n_{ij} = \frac{r_{ij} - \min(r_{ij})}{\max(r_{ij}) - \min(r_{ij})} \quad (VIII)$$

- **Construcción de la matriz normalizada de decisión ponderada.** El valor ponderado normalizado v_{ij} se calcula según:

$$v_{ij} = w_j * n_{ij} \quad (IX)$$

donde w_j es el peso del criterio j , de forma que $\sum_{j=1}^n w_j = 1$.

- **Determinación de la solución ideal positiva (PIS) y negativa (NIS).**

$$A^+ = [(\max_i v_{ij} \forall j \in J), (\min_i v_{ij} \forall j \in J')] \quad (X)$$

$$A^- = [(\min_i v_{ij} \forall j \in J), (\max_i v_{ij} \forall j \in J')] \quad (XI)$$

donde J se asocia con los criterios de beneficio y J' con los de coste.

- **Cálculo de la distancia de cada alternativa a A^+ y A^- .** La medida de la distancia se determina utilizando la distancia Euclídea n -dimensional.

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

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, i = 1, 2, \dots, m \quad (XIII)$$

- **Cálculo de la cercanía relativa de cada alternativa a la solución ideal.** La cercanía relativa de una alternativa A_i con respecto a la solución ideal se define según la Ec. (XIV).

$$R_j = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}, i = 1, 2, \dots, m \quad (XIV)$$

siendo $0 \leq R_j \leq 1$.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. PROCESAMIENTO DE CUESTIONARIOS

El procesamiento de las 36 encuestas recibidas se llevó a cabo utilizando el método AHP y el procedimiento de agregación basado en la distancia Euclídea descritos en el apartado 4.2.2. Las opiniones contenidas en dichas encuestas se transformaron en valores numéricos de acuerdo a la [Tabla 33](#), para posteriormente ser agregadas aplicando las Ecs. (III), (IV) y (V). Como resultado, se obtuvieron tres matrices representando la importancia relativa entre los subcriterios sociales y el grado de aceptación social de los distintos sistemas de recogida y tratamiento, respectivamente (ver [Tabla 42](#), [Tabla 43](#) y [Tabla 44](#)).

Tabla 42. Matriz de comparación consensuada de los subcriterios sociales

	G E	C O	AC S	AD S
G E	1	0,733	1,233	1,161
C O	1,365	1	2,018	1,411
AC S	0,811	0,496	1	0,732
AD S	0,861	0,709	1,366	1

Tabla 43. Matriz de comparación consensuada de los tipos de recogida

	4 C	5 C
4 C	1	0,372
5 C	2,687	1

Tabla 44. Matriz de comparación consensuada de los tipos de tratamiento

	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	0,980	2,707	0,719	3,665
COM	1,020	1	2,554	0,912	4,106
INC	0,369	0,391	1	0,30	1,288
REC	1,391	1,096	3,282	1	4,006
VER	0,273	0,244	0,776	0,250	1

La aplicación de la media geométrica ponderada al conjunto total de encuestas provoca que los valores de las matrices de comparación consensuadas sean continuos, en contraste con los valores discretos con los que se inició el proceso. En otras palabras, las matrices consensuadas muestran valores que se corresponden con grados de importancia intermedios en relación a aquellos recogidos en la [Tabla 33](#).

A partir de los valores contenidos en las matrices de comparación consensuadas, la aplicación de las Ecs. (VI) y (VII) permite determinar las relaciones entre los pesos de los subcriterios sociales y el grado de aceptación de los sistemas de recogida y tratamiento de residuos (ver [Tabla 45](#) y la [Tabla 46](#)). Tal y como se mencionó en el apartado 4.2.2, la ponderación entre los subcriterios ambientales se extrajo de un estudio previo de similares características (16).

Tabla 45. Ponderación de los subcriterios ambientales y sociales

		Peso	C.R.
Subcriterios ambientales	Emisiones a la atmósfera	0,75	0,000
	Contaminación de aguas	0,25	
Subcriterios sociales	Generación de empleo	0,25	0,003
	Cumplimiento de objetivos	0,34	
	Aceptación social	0,18	
	Adaptabilidad social	0,23	

Tabla 46. Ponderación de los sistemas de recogida y tratamiento

		Peso	C.R.
Recogida	4 contenedores	0,27	0,000
	5 contenedores	0,73	
Tratamiento	Biometanización	0,25	0,002
	Compostaje	0,27	
	Incineración	0,10	
	Reciclaje	0,31	
	Vertedero	0,07	

La consistencia de las matrices de comparación consensuadas queda garantizada si se atiende al coeficiente C.R., que resulta menor que 0,1 en los cuatro casos (ver Ecs. (I) y (II)). Los resultados de la [Tabla 45](#) muestran una preponderancia clara de las emisiones atmosféricas sobre la contaminación de aguas, lo cual concuerda con la mayor presencia de las primeras a lo largo de todos los procesos (recogida, transporte, tratamiento), en contraste con la generación de lixiviados producidos únicamente durante la fase de vertido de residuos.

En cuanto a la [Tabla 46](#), es destacable la relación de aceptación social obtenida para los sistemas de recogida, con una superioridad manifiesta por parte de los cinco contenedores. Estos resultados difieren de las eficiencias de recogida observadas en aquellos municipios de Gipuzkoa que tienen implantado el sistema de cinco contenedores (ver [Tabla 20](#)), cuyos valores se tomaron como referencia para este estudio. Cabe preguntarse, por tanto, si los encuestados eran conscientes de las implicaciones de participación ciudadana reales que conlleva la separación en origen de residuos en 5 fracciones. No obstante, debido a la menor importancia de este factor en relación al resto de subcriterios sociales (ver [Tabla 45](#)), la ponderación relativa entre los sistemas de recogida no tiene suficiente entidad por sí sola como para influir de forma relevante en los resultados.

5.2. RANKING DE ALTERNATIVAS

Conociendo los valores de la [Tabla 45](#) y [Tabla 46](#) sobre el subcriterio de aceptación social y los sistemas de recogida y tratamiento de residuos asociados a cada una de las alternativas, se está en disposición de caracterizar cada uno de los siete subcriterios considerados (ver apartado [4.3.1](#)) y construir la matriz de toma de decisiones (ver [Tabla 47](#)), que muestra ya agrupados aquellas variables definidas en las mismas unidades de medida (SC 1.1-1.5 y SC 2.1-2.2).

Tabla 47. Matriz de toma de decisiones

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
SC 1.1-1.5	4.930.797	4.921.284	4.815.890	5.349.428	5.229.327	3.481.571	3.811.355	4.929.432
SC 2.1-2.2	4.170.421	3.680.865	2.939.347	2.373.961	519.239	3.402.354	2.090.853	-2.025.378
SC 2.3	131.457	127.032	126.744	121.492	112.116	128.593	121.732	97.784
SC 3.1	49	51	48	47	49	42	41	46
SC 3.2	0,81	0,82	0,94	0,81	0,95	0,90	0,90	0,99
SC 3.3	12.686	12.957	12.636	11.751	11.914	20.312	19.447	20.162
SC 3.4	0	7	0	0	7	100	100	100

A partir de la matriz de decisión y de las ponderaciones presentadas en la [Tabla 32](#) y en la [Tabla 45](#), pueden desarrollarse los pasos descritos en el apartado [4.3.2](#) (ver Ecs. (VIII), (IX), (X), (XI), (XII) y (XIII)) para cada uno de los cuatro escenarios planteados y obtenerse los correspondientes rankings de alternativas.

5.2.1 ESCENARIO 1 – EQUILIBRADO

Aplicando las Ecs. (VIII) y (IX) del método TOPSIS para la matriz de decisión de este escenario se obtienen la matriz normalizada de toma de decisiones (ver [Tabla 48](#)) y la matriz normalizada de decisión ponderada (ver [Tabla 49](#)). A continuación, se determinan la solución ideal positiva (PIS) y negativa (NIS) y, por último, la distancia de cada alternativa al PIS y al NIS, tal y como se muestra en la [Tabla 50](#) y [Tabla 51](#).

Tabla 48. Matriz normalizada de toma de decisiones (Escenario 1)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
P1	0,776	1,000	1,000	0,778	0,000	0,109	0,000
P2	0,771	0,921	0,869	1,000	0,057	0,141	0,070
P3	0,714	0,801	0,860	0,771	0,744	0,103	0,000
P4	1,000	0,710	0,704	0,644	0,000	0,000	0,000
P5	0,936	0,411	0,426	0,850	0,801	0,019	0,070
P6	0,000	0,876	0,915	0,129	0,523	1,000	1,000
P7	0,177	0,664	0,711	0,000	0,523	0,899	1,000
P8	0,775	0,000	0,000	0,496	1,000	0,983	1,000
w	0,333	0,250	0,083	0,082	0,114	0,060	0,078

Tabla 49. Matriz normalizada de decisiones ponderada, PIS y NIS (Escenario 1)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
P1	0,259	0,250	0,083	0,064	0,000	0,007	0,000
P2	0,257	0,230	0,072	0,082	0,006	0,008	0,005
P3	0,238	0,200	0,072	0,063	0,085	0,006	0,000
P4	0,333	0,178	0,059	0,053	0,000	0,000	0,000
P5	0,312	0,103	0,035	0,070	0,091	0,001	0,005
P6	0,000	0,219	0,076	0,011	0,059	0,060	0,078
P7	0,059	0,166	0,059	0,000	0,059	0,054	0,078
P8	0,258	0,000	0,000	0,041	0,114	0,059	0,078
A+	0,000	0,000	0,000	0,082	0,114	0,060	0,000
A-	0,333	0,250	0,083	0,000	0,000	0,000	0,078

Tabla 50. Distancia de cada alternativa al PIS (Escenario 1)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	d+
P1	0,067	0,063	0,007	0,000	0,013	0,003	0,000	0,390
P2	0,066	0,053	0,005	0,000	0,012	0,003	0,000	0,372
P3	0,057	0,040	0,005	0,000	0,001	0,003	0,000	0,326
P4	0,111	0,032	0,003	0,001	0,013	0,004	0,000	0,404
P5	0,097	0,011	0,001	0,000	0,001	0,003	0,000	0,336
P6	0,000	0,048	0,006	0,005	0,003	0,000	0,006	0,260
P7	0,003	0,028	0,004	0,007	0,003	0,000	0,006	0,224
P8	0,067	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,006	0,273

Tabla 51. Distancia de cada alternativa al NIS (Escenario 1)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	d-
P1	0,006	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,006	0,125
P2	0,006	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,005	0,136
P3	0,009	0,002	0,000	0,004	0,007	0,000	0,006	0,170
P4	0,000	0,005	0,001	0,003	0,000	0,000	0,006	0,121
P5	0,000	0,022	0,002	0,005	0,008	0,000	0,005	0,207
P6	0,111	0,001	0,000	0,000	0,004	0,004	0,000	0,345
P7	0,075	0,007	0,001	0,000	0,004	0,003	0,000	0,299
P8	0,006	0,063	0,007	0,002	0,013	0,003	0,000	0,305

A partir de esta última matriz, se obtiene la cercanía relativa de cada alternativa a la solución ideal (ver [Ilustración 10](#)). Como puede verse, las tres mejores propuestas coinciden con aquellas en las que se modifica el sistema de recogida, pasando de 4 a 5 contenedores y produciéndose un empate en la primera posición entre las propuestas 6 y 7. El motivo de este resultado es el gran ahorro económico que suponen estas dos alternativas con respecto al resto por su bajo coste de recogida, transporte y tratamiento. La alternativa número 8, a pesar de ser la mejor desde un punto de vista ambiental, se ve sancionada por el alto coste de inversión y de transporte. Por el contrario, en el caso de la propuesta 4, su elevado coste de recogida y tratamiento la colocan en última posición. La gran diferencia de los resultados obtenidos con la

solución óptima teórica ($R_i = 1,0$) pone de manifiesto la gran complejidad que implica armonizar los tres pilares del desarrollo sostenible (económico, ambiental y social), en buena medida debido a que estos aspectos habitualmente se encuentran en conflicto (la satisfacción de alguno de ellos supone la insatisfacción de otros).

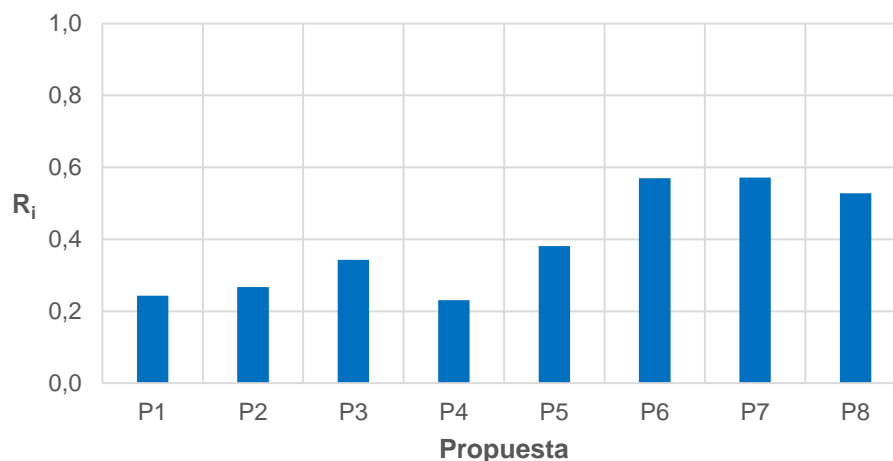


Ilustración 10. Valoración global de acuerdo al Escenario 1

5.2.2 ESCENARIO 2 – PREPONDERANCIA ECONÓMICA

Las matrices intermedias correspondientes a este escenario son las que se recogen en la [Tabla 52](#), [Tabla 53](#), [Tabla 54](#) y [Tabla 55](#).

Tabla 52. Matriz normalizada de toma de decisiones (Escenario 2)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
P1	0,776	1,000	1,000	0,778	0,000	0,109	0,000
P2	0,771	0,921	0,869	1,000	0,057	0,141	0,070
P3	0,714	0,801	0,860	0,771	0,744	0,103	0,000
P4	1,000	0,710	0,704	0,644	0,000	0,000	0,000
P5	0,936	0,411	0,426	0,850	0,801	0,019	0,070
P6	0,000	0,876	0,915	0,129	0,523	1,000	1,000
P7	0,177	0,664	0,711	0,000	0,523	0,899	1,000
P8	0,775	0,000	0,000	0,496	1,000	0,983	1,000
w	0,600	0,150	0,050	0,049	0,068	0,036	0,047

Tabla 53. Matriz normalizada de decisiones ponderada, PIS y NIS (Escenario 2)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
P1	0,466	0,150	0,050	0,038	0,000	0,004	0,000
P2	0,462	0,138	0,043	0,049	0,004	0,005	0,003
P3	0,429	0,120	0,043	0,038	0,051	0,004	0,000
P4	0,600	0,107	0,035	0,032	0,000	0,000	0,000
P5	0,561	0,062	0,021	0,042	0,055	0,001	0,003
P6	0,000	0,131	0,046	0,006	0,036	0,036	0,047
P7	0,106	0,100	0,036	0,000	0,036	0,032	0,047
P8	0,465	0,000	0,000	0,024	0,068	0,035	0,047
A+	0,000	0,000	0,000	0,049	0,068	0,036	0,000
A-	0,600	0,150	0,050	0,000	0,000	0,000	0,047

Tabla 54. Distancia de cada alternativa al PIS (Escenario 2)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	d+
P1	0,217	0,023	0,003	0,000	0,005	0,001	0,000	0,498
P2	0,214	0,019	0,002	0,000	0,004	0,001	0,000	0,490
P3	0,184	0,014	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,449
P4	0,360	0,011	0,001	0,000	0,005	0,001	0,000	0,616
P5	0,315	0,004	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,567
P6	0,000	0,017	0,002	0,002	0,001	0,000	0,002	0,156
P7	0,011	0,010	0,001	0,002	0,001	0,000	0,002	0,168
P8	0,216	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,468

Tabla 55. Distancia de cada alternativa al NIS (Escenario 2)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	d-
P1	0,018	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,147
P2	0,019	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002	0,153
P3	0,029	0,001	0,000	0,001	0,003	0,000	0,002	0,191
P4	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,073
P5	0,001	0,008	0,001	0,002	0,003	0,000	0,002	0,129
P6	0,360	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,602
P7	0,244	0,003	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,499
P8	0,018	0,023	0,003	0,001	0,005	0,001	0,000	0,223

La mayor importancia otorgada al criterio económico en este escenario da lugar a una acentuación de los resultados obtenidos en el caso previo (ver [Ilustración 10](#)), aumentándose las diferencias en favor de las alternativas más rentables desde un punto de vista económico. La similitud de forma de la [Ilustración 10](#) y la [Ilustración 11](#) apunta a la diferencia de homogeneidad entre el criterio económico y los dos restantes. Mientras que variables como los costes de transporte y tratamiento y la recuperación están íntimamente ligados, las interacciones entre los subcriterios ambientales y sociales no tienen por qué seguir una

proporcionalidad directa. Esta circunstancia favorece que las alternativas que destacan económicamente presenten también un buen comportamiento en términos globales.

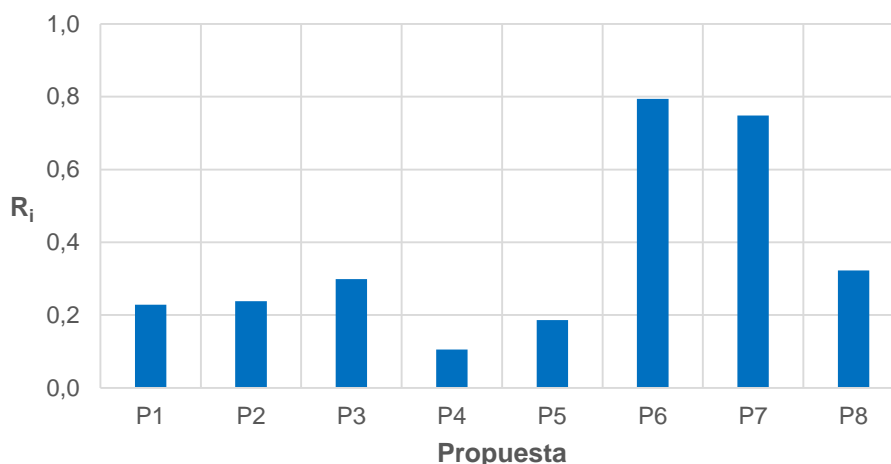


Ilustración 11. Valoración global de acuerdo al Escenario 2

5.2.3 ESCENARIO 3 – PREPONDERANCIA AMBIENTAL

Las matrices obtenidas en cada paso del método TOPSIS para este escenario se muestran en la [Tabla 56](#), [Tabla 57](#), [Tabla 58](#) y [Tabla 59](#).

Tabla 56. Matriz normalizada de toma de decisiones (Escenario 3)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
P1	0,776	1,000	1,000	0,778	0,000	0,109	0,000
P2	0,771	0,921	0,869	1,000	0,057	0,141	0,070
P3	0,714	0,801	0,860	0,771	0,744	0,103	0,000
P4	1,000	0,710	0,704	0,644	0,000	0,000	0,000
P5	0,936	0,411	0,426	0,850	0,801	0,019	0,070
P6	0,000	0,876	0,915	0,129	0,523	1,000	1,000
P7	0,177	0,664	0,711	0,000	0,523	0,899	1,000
P8	0,775	0,000	0,000	0,496	1,000	0,983	1,000
w	0,200	0,450	0,150	0,049	0,068	0,036	0,047

Tabla 57. Matriz normalizada de decisiones ponderada, PIS y NIS (Escenario 3)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
P1	0,155	0,450	0,150	0,038	0,000	0,004	0,000
P2	0,154	0,414	0,130	0,049	0,004	0,005	0,003
P3	0,143	0,361	0,129	0,038	0,051	0,004	0,000
P4	0,200	0,320	0,106	0,032	0,000	0,000	0,000
P5	0,187	0,185	0,064	0,042	0,055	0,001	0,003
P6	0,000	0,394	0,137	0,006	0,036	0,036	0,047
P7	0,035	0,299	0,107	0,000	0,036	0,032	0,047
P8	0,155	0,000	0,000	0,024	0,068	0,035	0,047
A+	0,000	0,000	0,000	0,049	0,068	0,036	0,000
A-	0,200	0,450	0,150	0,000	0,000	0,000	0,047

Tabla 58. Distancia de cada alternativa al PIS (Escenario 3)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	d+
P1	0,024	0,203	0,023	0,000	0,005	0,001	0,000	0,505
P2	0,024	0,172	0,017	0,000	0,004	0,001	0,000	0,466
P3	0,020	0,130	0,017	0,000	0,000	0,001	0,000	0,411
P4	0,040	0,102	0,011	0,000	0,005	0,001	0,000	0,399
P5	0,035	0,034	0,004	0,000	0,000	0,001	0,000	0,273
P6	0,000	0,155	0,019	0,002	0,001	0,000	0,002	0,423
P7	0,001	0,089	0,011	0,002	0,001	0,000	0,002	0,328
P8	0,024	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,164

Tabla 59. Distancia de cada alternativa al NIS (Escenario 3)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	d-
P1	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,075
P2	0,002	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002	0,090
P3	0,003	0,008	0,000	0,001	0,003	0,000	0,002	0,134
P4	0,000	0,017	0,002	0,001	0,000	0,000	0,002	0,149
P5	0,000	0,070	0,007	0,002	0,003	0,000	0,002	0,291
P6	0,040	0,003	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,214
P7	0,027	0,023	0,002	0,000	0,001	0,001	0,000	0,233
P8	0,002	0,203	0,023	0,001	0,005	0,001	0,000	0,483

Cuando se considera el criterio ambiental como el factor más relevante, la alternativa número 8 resulta la mejor valorada. En esta propuesta, la necesidad de enviar el contenedor de resto y los rechazos de las plantas de compostaje y envases a la incineradora da lugar a mayores distancias de transporte y, por lo tanto, a mayores emisiones durante esa etapa. Sin embargo, esto se compensa con creces gracias a la reducción en volumen de los residuos que acaban en vertedero tras la incineración y la consiguiente atenuación de emisiones de efecto invernadero y de lixiviados (ver [Ilustración 12](#)). Como contrapartida, la peor opción es el sistema de gestión actual (P1), debido a que conlleva el mayor depósito de residuos en vertedero de entre todas las alternativas propuestas.

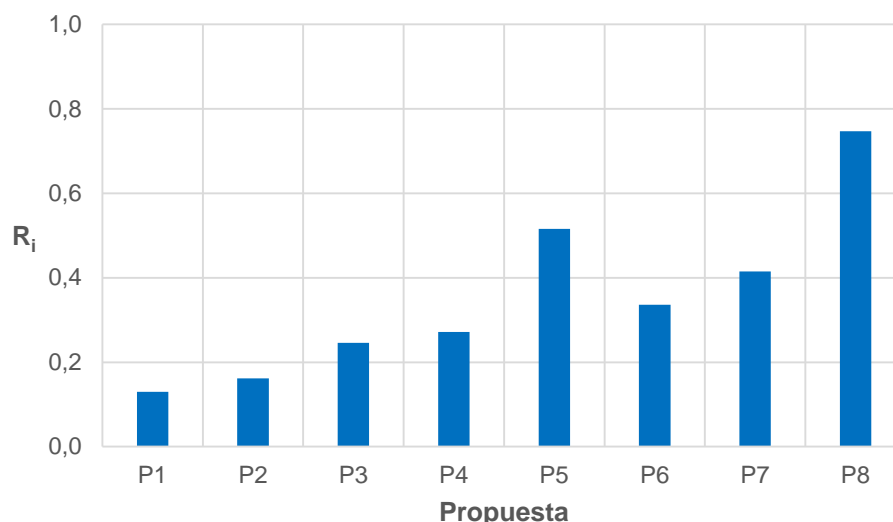


Ilustración 12. Valoración global de acuerdo al Escenario 3

5.2.4 ESCENARIO 4 – PREPONDERANCIA SOCIAL

La [Tabla 60](#), [Tabla 61](#), [Tabla 62](#) y [Tabla 63](#) muestran las matrices intermedias y las distancias de cada alternativa a las soluciones ideales calculadas para el último escenario considerado.

Tabla 60. Matriz normalizada de toma de decisiones (Escenario 4)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
P1	0,776	1,000	1,000	0,778	0,000	0,109	0,000
P2	0,771	0,921	0,869	1,000	0,057	0,141	0,070
P3	0,714	0,801	0,860	0,771	0,744	0,103	0,000
P4	1,000	0,710	0,704	0,644	0,000	0,000	0,000
P5	0,936	0,411	0,426	0,850	0,801	0,019	0,070
P6	0,000	0,876	0,915	0,129	0,523	1,000	1,000
P7	0,177	0,664	0,711	0,000	0,523	0,899	1,000
P8	0,775	0,000	0,000	0,496	1,000	0,983	1,000
w	0,200	0,150	0,050	0,148	0,205	0,108	0,140

Tabla 61. Matriz normalizada de decisiones ponderada, PIS y NIS (Escenario 4)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
P1	0,155	0,150	0,050	0,115	0,000	0,012	0,000
P2	0,154	0,138	0,043	0,148	0,012	0,015	0,010
P3	0,143	0,120	0,043	0,114	0,152	0,011	0,000
P4	0,200	0,107	0,035	0,095	0,000	0,000	0,000
P5	0,187	0,062	0,021	0,126	0,164	0,002	0,010
P6	0,000	0,131	0,046	0,019	0,107	0,108	0,140
P7	0,035	0,100	0,036	0,000	0,107	0,097	0,140
P8	0,155	0,000	0,000	0,073	0,205	0,106	0,140
A+	0,000	0,000	0,000	0,148	0,205	0,108	0,000
A-	0,200	0,150	0,050	0,000	0,000	0,000	0,140

Tabla 62. Distancia de cada alternativa al PIS (Escenario 4)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
P1	0,024	0,023	0,003	0,001	0,042	0,009	0,000
P2	0,024	0,019	0,002	0,000	0,037	0,009	0,000
P3	0,020	0,014	0,002	0,001	0,003	0,009	0,000
P4	0,040	0,011	0,001	0,003	0,042	0,012	0,000
P5	0,035	0,004	0,000	0,000	0,002	0,011	0,000
P6	0,000	0,017	0,002	0,017	0,010	0,000	0,019
P7	0,001	0,010	0,001	0,022	0,010	0,000	0,019
P8	0,024	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,019

Tabla 63. Distancia de cada alternativa al NIS (Escenario 4)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
P1	0,002	0,000	0,000	0,013	0,000	0,000	0,019
P2	0,002	0,000	0,000	0,022	0,000	0,000	0,017
P3	0,003	0,001	0,000	0,013	0,023	0,000	0,019
P4	0,000	0,002	0,000	0,009	0,000	0,000	0,019
P5	0,000	0,008	0,001	0,016	0,027	0,000	0,017
P6	0,040	0,000	0,000	0,000	0,011	0,012	0,000
P7	0,027	0,003	0,000	0,000	0,011	0,009	0,000
P8	0,002	0,023	0,003	0,005	0,042	0,011	0,000

Como puede observarse en la [Ilustración 13](#), el escenario en que se prioriza el criterio social es el que da lugar a menores diferencias entre unas alternativas y otras, por lo que el resultado de este escenario está muy influenciado por los dos criterios restantes. Por ello, aun presentando una notable valoración social, es su excelente comportamiento ambiental lo que provoca que la propuesta 8 supere a otras alternativas que serían mejores si sólo se considerasen los aspectos sociales. En cambio, a pesar de no ser la peor opción en términos sociales, el elevado coste económico de la propuesta 4 es el principal causante de su último lugar. Al igual que ocurría con el Escenario 1 (ver [Ilustración 10](#)), las alternativas mejor situadas distan mucho de la valoración máxima alcanzable ($R_i = 1,0$). El motivo de esta diferencia reside en el antagonismo de algunos de los subcriterios de este tipo; por ejemplo, la consecución de objetivos se facilita si se producen una serie de cambios en la gestión de residuos que requieren esfuerzos importantes de adaptación por parte de la ciudadanía.

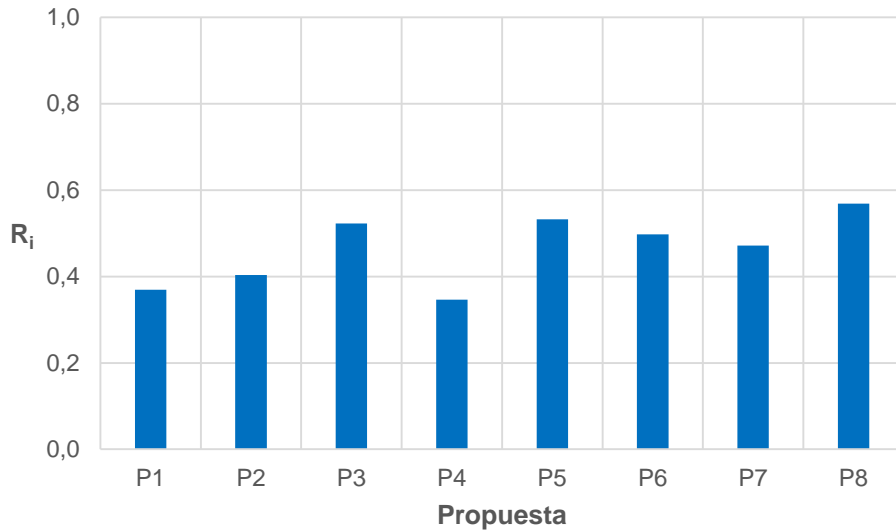


Ilustración 13. Valoración global de acuerdo al Escenario 4

5.2.5 Resultados parciales.

La estructuración en dos niveles planteada en la [Tabla 31](#) permite calcular las valoraciones parciales de cada alternativa propuesta según los tres criterios principales: económico, ambiental y social (ver [Ilustración 14](#)).

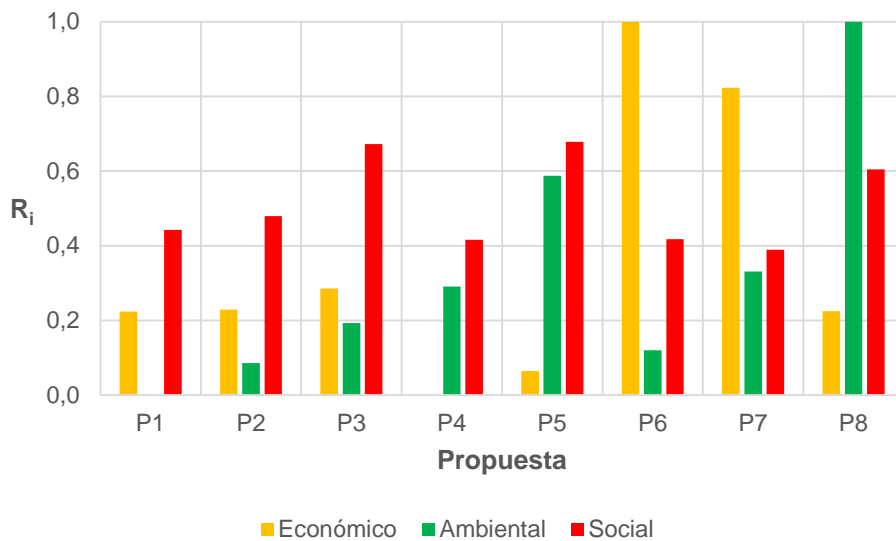


Ilustración 14. Valores parciales de los criterios para cada propuesta

Estos resultados muestran una clara ventaja económica por parte de la alternativa 6, fruto de sus bajos costes de recogida, transporte, tratamiento e inversión, consistiendo estos últimos solamente en una campaña de educación y concienciación ciudadana para facilitar la adaptación al nuevo sistema de recogida de cinco contenedores. Por razones exactamente opuestas (gran inversión y elevados costes de recogida, transporte y tratamiento), la peor alternativa económicamente es la número 4. Es reseñable también la discreta valoración económica que alcanza la alternativa que define la situación actual (P1), a pesar de implicar una inversión nula.

En términos ambientales, la propuesta mejor valorada por un amplio margen es la número 8. Esto es debido a la reducción de la cantidad de residuos con destino a vertedero que se consigue al incinerar los residuos del contenedor de restos y los rechazos de las plantas de tratamiento. Los residuos depositados en vertedero generan metano, que es uno de los gases con mayor contribución al efecto invernadero (27). Sin embargo, su incineración produce dióxido de carbono, cuyo efecto es 23 veces menos perjudicial para la atmósfera que el del metano. Además, con esta disminución de la cantidad de residuos que van a vertedero se reducen también los lixiviados y, por lo tanto, la contaminación de las aguas. Por el contrario, la situación actual es la que conlleva un mayor depósito de residuos en vertedero, dando lugar a más emisiones y lixiviados.

Por último, la mejor opción desde el punto de vista social es la propuesta 5, seguida muy de cerca por la 3. Estos resultados destacan la importancia de presentar un comportamiento equilibrado respecto a varios subcriterios en conflicto, por encima de ser la mejor valorada aisladamente con respecto a alguno de ellos. Llama la atención también que la alternativa 8, a pesar de implicar un tratamiento tan poco aceptado como la incineración (ver [Tabla 46](#)), tenga en conjunto tan buena valoración social. Esto se debe a que también es la alternativa en la que más se recicla y en la que en mayor grado se cumplen los objetivos marcados en el Plan. Los discretos resultados alcanzados por la alternativa actual contradicen los argumentos dados por la Mancomunidad de Montejurra para no modificar su sistema de recogida, presuntamente sustentados en su buena valoración y alta participación social.

6. CONCLUSIONES

El presente trabajo desarrolla y aplica una metodología de análisis multi-criterio basada en la acción combinada de los métodos AHP y TOPSIS para evaluar la gestión actual de residuos sólidos urbanos en la Mancomunidad de Montejurra y plantear propuestas para su mejora. La utilización de estas herramientas facilita el estudio de un problema tan complejo como el de la planificación de la gestión de residuos municipales, en el que deben evaluarse diversos criterios en conflicto derivados de los tres pilares del desarrollo sostenible (económico, ambiental y social).

Para ganar perspectiva en la interpretación de los resultados obtenidos, se plantearon una situación de partida en que la importancia de estos tres pilares se suponía equivalente y otros tres escenarios diferentes para dar prioridad a cada uno de ellos sobre los dos restantes. De los resultados obtenidos se determina que el sistema de gestión de residuos implantado actualmente en la Mancomunidad de Montejurra es deficiente desde el punto de vista económico, ambiental y social. Cuando se le da un mayor peso al criterio económico, los resultados determinan la conveniencia de realizar un cambio en el sistema de recogida, pasando de cuatro a cinco contenedores, sin realizar ninguna modificación en las plantas de tratamiento. Otra opción similar en cuanto a preferencia consiste en sustituir el proceso de compostaje de la materia orgánica por uno de biometanización, además del mencionado cambio en el sistema de recogida. Desde una perspectiva ambiental, destacan los beneficios que conlleva la valorización energética mediante incineración del contenedor de restos y los rechazos de las plantas de tratamiento. Por último, la priorización del criterio social conduce a resultados muy homogéneos entre todas las alternativas propuestas, lo que indica la complejidad de diseñar propuestas capaces de satisfacer simultáneamente la disparidad de requisitos sociales inherentes a la gestión de residuos sólidos urbanos. En base a todas estas consideraciones, se concluye que la mejor solución es aquella que consiste en incorporar un quinto contenedor para la recogida y tratar la materia orgánica mediante un proceso de con biometanización. Ante la similaridad de los resultados obtenidos en términos sociales, esta alternativa es la que presenta una mejor relación de valoración desde un punto de vista económico y ambiental.

No obstante, es preciso destacar que aunque muchas de las alternativas planteadas mejoran ostensiblemente los resultados del sistema actual de gestión, su diferencia con la situación teórica ideal es notoria. Esta circunstancia hace pensar que existe todavía margen de mejora en el diseño de sistemas de gestión de residuos capaces de armonizar los tres criterios principales y acercarse a esa solución óptima. Por último, la metodología desarrollada es extrapolable a cualquier otra área o región, dado que su flexibilidad facilita la adaptación de las características de los criterios y subcriterios a las necesidades específicas de la Administración o entidad encargada de la gestión de residuos sólidos urbanos.

REFERENCIAS

1. *Análisis de ciclo de vida del proceso de gestión de los residuos urbanos en la Mancomunidad de Montejurra (Navarra)*. Arrizabalaga Larumbre, M. y Alcalde Montes, C. 97, s.l. : Residuos: Revista técnica, 2007, Vol. 17.
2. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gestión de Residuos Domésticos - Sistema de recogida. [En línea] <http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-recogida/Default.aspx>.
3. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gestión de Residuos Domésticos - Sistemas de tratamiento. [En línea] <http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/Default.aspx>.
4. Mancomunidad de Montejurra. [En línea] <http://www.montejurra.com/portal/default.aspx>.
5. Vidrala. [En línea] <http://www.vidrala.com/es/home>.
6. Coordinadora de plataformas contra la incineración de Gipuzkoa. [En línea] http://www.errausketarikez.org/index_esp.htm.
7. Ecoembes. [En línea] <https://www.ecoembes.com/es>.
8. Agència de Residus de Catalunya. Balanç de les dades estadístiques de residus del' any 2013
9. ESRI. *ArcGIS Desktop: Release 10.2*. Redlands, California (U.S.) : Environmental Systems Research Institute, 2014.
10. Departamento de Desarrollo Rural y Medio Ambiente. *Plan Integrado de Gestión de Residuos de Navarra*. s.l. : Gobierno de Navarra, 2013.
11. Mancomunidad de R.S.U. Ribera alta de Navarra. [En línea] <http://mrsuran.es/empresa-tratamientoenvases.php>.
12. CEDEX. *Escorias y cenizas de incineradoras de residuos sólidos urbanos (RSU)*. s.l. : Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 2007.
13. Hogg, D. *Costs for Municipal Waste Management in the EU: Full report*. s.l. : Directorate General Environment, European Commission.
14. Hogg, D. *Costs for Municipal Waste Management in the EU: Annexes*. s.l. : Directorate General Environment, European Commission.
15. Smith, A., y otros. *Waste Management Options and Climate Change: Final Report*. s.l. : Directorate General Environment, European Commission, 2011.
16. *Análisis multicriterio integral para optimizar la gestión de residuos sólidos municipales*. Jato-Espino, D., y otros. Metepec (México) : 7º Encuentro de Expertos en Residuos Sólidos y 3er Foro Nacional de Ingeniería y Medio Ambiente, 2014. 2395-8170.

17. Saaty, T. L. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. s.l. : McGraw-Hill, 1980.
18. Institute for Transport Sciences (KTI); Universidad de Cantabria (UC). *Deliverable 2.3: Proposal of construction, maintenance and rehabilitation procedures more affordable, resilient and sustainable for the management of road asset*. s.l. : DURABROADS: Cost-effective durable roads by green optimized construction and maintenance, 2015.
19. *Procedures for synthesizing ratio judgements*. Aczél, J. y Saaty, T.L. 1, s.l. : Journal of Mathematical Psychology, 1987, Vol. 27.
20. *Synthesizing judgements: a functional equations approach*. Aczél, J. y Alsina, C. 3-5, s.l. : Mathematical Modelling, 1987, Vol. 9.
21. Gobierno de Navarra. El Gobierno de Navarra y la empresa Ecoembes impulsan una campaña de sensibilización social sobre la recogida selectiva de envases en la Comunidad Foral. *navarra.es*. 2013.
22. Gobierno de Navarra. La consejera Salanueva presenta la ampliación del sistema de recogida de residuos de la Mancomunidad de la Zona 10 (Aoiz-Urroz). *navarra.es*. 2010.
23. Database of Waste Management Technologies - Cost of Waste Treatment Technologies. [En línea] <http://www.epem.gr/waste-c-control/database/html/costdata-00.htm>.
24. Gobierno de Navarra. Meteorología y climatología de Navarra. [En línea] <http://meteo.navarra.es/climatologia/>.
25. Friends of the Earth. *More jobs, less waste: Growing the Recycling Economy in the U.S.* s.l. : Tellus Institute with Sound Resource Management, 2010.
26. Hwang, C.L. y Yoon, K. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. New York (U.S.) : Springer, 1981.
27. European Comission. Comprender los gases de efecto invernadero. [En línea] http://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/pdf/gases_es.pdf.

**ANEXO I. Información de partida para la
caracterización de la situación actual**

SISTEMA DE RECOGIDA

La cantidad de residuos de cada uno de los contenedores fue obtenida a partir de datos de la propia Mancomunidad de Montejurra, pudiendo verse alguna de esas cantidades en la [Tabla 64](#). Los primeros datos se refieren a las cantidades recuperadas, según las distintas fracciones de residuos en diferentes años. Los siguientes son los datos de las entradas a la planta.

Tabla 64. Residuos entrantes y salientes de la Planta de Carcar

PRODUCTOS	AÑO 2011	AÑO 2012	AÑO 2013	AÑO 2014
PE-Env	51.260	51.850	71.840	96.900
PE-Cajas	10.179	11.020	10.980	6.650
PE-Film			20.600	26.550
Film agrícola	103.340	363.980	102.180	76.800
PET	91.464	80.400	143.660	178.970
TodoUno	27.700	10.300	38.260	68.180
Brik	49.500	52.880	83.280	101.590
Ferricos	251.130	224.400	250.660	231.100
Aluminio	7.700	7.640	11.040	16.990
Vidrio	0	485.200	0	0
Carton / Mezcla	640.440	223.364	223.820	135.140
Papel Reg.	1.004.270	1.204.106	1.150.020	1.168.970
Pta/Pta	52.830	38.130	26.510	26.780
Total Papel	1.697.540	1.465.600	1.400.350	1.330.890
ORGANICA	11.760.955	11.322.940	11.390.220	11.408.500
INERTE	7.943.110	6.375.130	6.312.730	7.129.410
Rech. INER	1.081.080	1.985.840	1.910.660	1.050.320
Total INER	9.024.190	8.360.970	8.223.390	8.179.730
Lodos-U	2.873.420	2.814.510	2.773.520	3.012.180
Lodos-l	0	0	0	0
Cabecera	154.640	159.560	140.100	167.340

Para la obtención de la composición del contenedor de residuos inertes se utilizan las caracterizaciones realizadas por la empresa Ecoembes en los años 2013 y 2014 (ver [Tabla 65](#) y [Tabla 66](#)).

Tabla 65. Caracterización de entrada a la planta en el año 2013

FICHA DE CARACTERIZACIÓN DE ENVASES LIGEROS 2013			
Entrada en Planta	MEDIA	% Total	
Material Solicitado (Envases)			38,11
PET	14,03	5,76	
PEAD Natural	1,57	0,64	
PEAD Color	8,02	3,29	
PVC	0,02	0,01	
Film (excepto bolsas de un solo uso)	18,51	7,59	
Film bolsas de un solo uso	7,58	3,11	
Resto de Plásticos	13,93	5,71	
Acero	16,92	6,94	
Aluminio	1,31	0,54	
Cartón para bebidas	10,34	4,24	
Madera	0,70	0,29	
Material No Solicitado (*)	0,00		61,89
Materia orgánica	14,86	6,10	
Restos de jardín y podas	4,23	1,74	
Celulosas	11,59	4,75	
Textiles	17,68	7,25	
Madera no envase	7,27	2,98	
Madera Envase Comercial / Industrial	1,69	0,69	
Vidrio (envases)	11,14	4,57	
Plásticos No Envase (Excepto Film Bolsa Basura)	10,25	4,21	
Film bolsa basura	4,18	1,72	
Plásticos Envase Comercial/Industrial (Excepto Film Comercial/Industrial)	0,84	0,35	
Film Comercial / Industrial	3,25	1,33	
Restos de obras menores	0,79	0,32	
Acero no envase	6,97	2,86	
Acero Envase Comercial / Industrial	0,00	0,00	
Aluminio no envase	0,00	0,00	
Aluminio Envase Comercial / Industrial	0,00	0,00	
Otros (indicar significativos)	17,86	7,33	
Papel / Cartón:	0,00	0,00	
Papel Impreso	13,90	5,70	
Envase Doméstico con Punto Verde	8,06	3,31	
Envase Doméstico sin Punto Verde	5,26	2,16	
Envase Comercial con Punto Verde	0,65	0,27	
Envase Comercial sin Punto Verde	10,39	4,26	
TOTAL	0,00	0,00	
	243,80	100,00	100,00

Tabla 66. Caracterización de entrada a la planta en el año 2014

FICHA DE CARACTERIZACIÓN DE ENVASES LIGEROS 2014			
Entrada en Planta	MEDIA	% Total	
Material Solicitado (Envases)			35,18
PET	15,90	6,47	
PEAD Natural	1,61	0,65	
PEAD Color	7,15	2,91	
PVC	0,08	0,03	
Film (excepto bolsas de un solo uso)	24,33	9,90	
Film bolsas de un solo uso	9,12	3,71	
Resto de Plásticos	7,18	2,92	
Acero	13,63	5,55	
Aluminio	0,63	0,26	
Cartón para bebidas	6,82	2,78	
Madera	0,00	0,00	
Material No Solicitado (*)	0,00		64,82
Materia orgánica	16,99	6,91	
Restos de jardín y podas	1,84	0,75	
Celulosas	9,39	3,82	
Textiles	20,75	8,45	
Madera no envase	10,69	4,35	
Madera Envase Comercial / Industrial	1,21	0,49	
Vidrio (envases)	9,51	3,87	
Plásticos No Envase (Excepto Film Bolsa Basura)	12,60	5,13	
Film bolsa basura	5,21	2,12	
Plásticos Envase Comercial/Industrial (Excepto Film Comercial/Industrial)	2,11	0,86	
Film Comercial / Industrial	2,42	0,99	
Restos de obras menores	0,00	0,00	
Acero no envase	1,16	0,47	
Acero Envase Comercial / Industrial	0,00	0,00	
Aluminio no envase	0,07	0,03	
Aluminio Envase Comercial / Industrial	0,00	0,00	
Otros (indicar significativos)	24,63	10,03	
Papel / Cartón:	0,00	0,00	
Papel Impreso	16,22	6,60	
Envase Doméstico con Punto Verde	8,23	3,35	
Envase Doméstico sin Punto Verde	7,30	2,97	
Envase Comercial con Punto Verde	0,25	0,10	
Envase Comercial sin Punto Verde	8,68	3,53	
TOTAL	0,00	0,00	
	245,68	100,00	100,00

RECOGIDA Y TRANSPORTE

Las características de las rutas contempladas se muestran en la [Tabla 67](#).

Tabla 67. Cálculo de la longitud de recorrido de las rutas

	Pueblo	Habitantes	Dist_Carcar	Dist_Estella	D_Acumulada ruta
Ruta 1	Eraul	72	50.0	9.8	9.8
	Amillano	20	50.8	8.6	12.8
	Echávarri	61	52.0	9.8	13.9
	San Martín de Améscoa	79	63.8	21.6	27.7
	Ecala	41	65.9	23.7	30.1
	Eulate	319	67.4	25.2	33.1
	Aranarache	82	69.8	27.6	35.0
	Larraona	111	72.2	30.0	38.1
	Zudaire	227	61.6	19.4	50.7
	Baríndano	96	59.4	17.2	51.6
	Artaza	169	61.4	19.2	53.9
	Gollano	36	61.0	18.8	54.8
	Baquedano	136	61.0	18.8	55.9
	Artavia	121	52.0	9.8	67.2
	Galdeano	68	52.2	10.0	70.0
	Muneta	38	51.6	9.4	76.2
	Aramendía	620	52.4	10.2	76.9
	Larrión	155	49.6	7.5	80.4
	Eulz	56	49.9	7.7	82.9
	Arbeiza	168	44.0	6.2	90.1
Zubielqui	102	42.9	6.1	91.1	
					97.2
Ruta2	Piedramillera	46	41.6	18.8	18.8
	Sorlada	67	39.2	21.1	21.9
	Mués	90	37.5	23.9	25.7
	El Busto	70	36.7	25.9	32.6
	Torres del Río	147	35.5	27.1	37.2
	Bargota	305	38.8	29.2	41.3
	Armañanzas	59	36.5	26.9	44.0
	Aguilar de Codés	100	48.4	38.8	58.3
	Azuelo	38	45.4	35.8	63.7
	Torralba del Río	125	44.5	34.9	68.1
	Espronceda	123	41.2	31.7	72.1
	Desojo	87	40.3	29.9	75.2
	Sansol	111	35.2	23.9	80.1
	Lazagurría	202	27.0	28.6	88.6
					115.6

	Pueblo	Habitantes	Dist_Carcar	Dist_Estella	D_Acumulada ruta
Ruta 3	Olejua	56	36.9	13.5	13.5
	Etayo	76	42.7	18.6	15.2
	Oco	66	39.5	15.4	18.7
	Legaria	111	40.8	16.7	20.2
	Abáigar	98	42.7	14.4	24.8
	Murieta	354	41.9	13.2	26.9
	Mendilibarri	24	43.3	14.7	28.2
	Ancín	352	43.0	16.1	30.0
	Ubago	34	39.8	25.0	43.6
	Mirafuentes	53	41.3	26.4	46.9
	Otiñano	22	42.9	28.0	49.0
	Nazar	45	44.0	27.2	52.0
	Asarta	51	42.4	25.5	55.3
	Mendaza	320	40.1	22.8	57.8
	Acedo	136	43.4	21.1	61.0
	Zúñiga	132	49.5	27.7	67.8
	Galbarra	46	47.9	25.6	73.8
	Viloria	37	50.3	28.0	75.7
	Narcué	19	52.4	30.1	80.1
	Ulibarri	22	51.8	29.5	82.7
	Gastiáin	63	52.4	30.1	87.3
	Zufía	80	42.1	9.9	110.0
	Arteaga	37	44.5	12.3	113.1
	Ganuzá	59	46.6	14.4	115.6
	Ollobarren	46	45.3	13.1	117.2
	Ollogoyen	25	45.9	13.8	118.5
Metauten	43	44.5	12.3	120.8	
Labeaga	34	41.9	9.7	125.3	
					135.0
Ruta 4	Estella-Lizarrá	13947	35.8	0.0	0.0
	Villatuerta	1145	36.4	4.3	4.3
	Ayegui <> Aiegi	2133	38.7	2.5	13.3
					15.8

	Pueblo	Habitantes	Dist_Carcar	Dist_Estella	D_Acumulada ruta
Ruta 5	Arandigoyen	82	38.0	5.6	5.6
	Grocin	35	39.9	7.5	8.1
	Zurucuáin	100	41.3	8.9	9.9
	Murugarren	75	43.6	11.2	12.0
	Bearin	200	44.4	12.0	14.7
	Zábal	81	45.3	12.9	18.9
	Arizala	83	46.1	13.9	20.9
	Abárzuza	556	50.5	18.0	22.8
	Iruñela	53	49.1	16.7	25.2
	Ibiricu de Yerri	70	49.9	17.5	27.3
	Lezáun	261	56.5	24.1	34.0
	Arizaleta	48	51.7	19.3	38.5
	Azcona	82	51.4	19.0	41.5
	Villanueva de Yerri	57	51.7	19.3	46.4
	Ugar	43	49.8	17.4	51.4
	Riezu	112	52.1	19.7	56.8
	Muez	50	53.9	21.5	59.9
	Iturgoyen	101	56.2	23.7	66.3
	Arguiñano	38	57.7	25.3	76.1
	Vidaurre	39	58.4	26.0	78.3
	Guembe	31	61.9	29.5	79.5
	Salinas de Oro	119	60.1	27.7	87.7
	Muniáin de Guesálaz	21	65.2	32.8	91.2
	Izurzu	27	62.8	30.4	92.6
	Esténoz	22	57.0	25.0	101.9
	Garísoain	27	49.5	17.5	109.5
	Irurre	38	50.4	18.3	112.7
	Lerate	25	48.4	16.2	114.9
Alloz	114	44.0	11.9	121.6	
Lácar	62	41.2	9.0	123.0	
Lorca	135	40.6	8.6	125.3	
Murillo de Yerri	37	40.1	7.7	131.5	
					139.2
Ruta 6	Arróniz	1084	30.0	15.7	15.7
	Allo	1029	20.0	14.5	24.1
	Lerín	1756	13.7	23.2	35.1
	Andosilla	2883	5.3	33.8	49.3
	Cárcar	1097	4.8	29.7	53.9

	Pueblo	Habitantes	Dist_Carcar	Dist_Estella	D_Acumulada ruta
Ruta 7	Aras	183	46.9	45.6	46.9
	Viana	4084	39.7	41.3	55.7
	Mendavia	3655	20.6	34.9	72.6
	Lodosa	4836	10.8	34.6	84.4
	Sartaguda	1345	11.0	37.3	90.3
					101.3
Ruta 8	Oteiza	950	36.4	10.9	10.9
	Aberin	390	29.8	5.0	16.8
	Morentin	132	28.3	6.2	18.7
	Dicastillo	659	24.6	11.3	21.7
	Arellano	205	29.5	10.8	24.0
	Sesma	1211	16.3	26.1	41.3
					57.6
Ruta 9	Igúzquiza	329	38.5	6.3	6.3
	Ázqueta	57	37.9	6.6	7.9
	Villamayor de Monjardín	135	37.3	8.8	10.4
	Urbiola	44	34.8	9.9	12.5
	Luquin	137	34.1	12.5	13.4
	Barbarin	62	33.8	13.8	14.7
	Los Arcos	1182	27.5	20.1	27.7
					55.2

TRATAMIENTO

La pureza de las fracciones recuperadas se obtiene de las siguientes tablas:

Tabla 68. Pureza de los materiales recuperados

CONTROL DE CALIDAD DE MATERIAL SELECCIONADO			
ACERO			
	MEDIA	% Total	
Control Granel			
Envases metales férricos (FE)			94,90
Envases férricos	13,37	49,96	
Envases bimetálicos	12,02	44,94	
Impropios	0,00		5,10
Envases metales no férricos (NF)	0,06	0,23	
Metales férricos no de envase	0,74	2,77	
Materiales plásticos	0,13	0,48	
Multimateriales parte férrica	0,09	0,33	
Otros	0,35	1,30	
Total muestra			
Altura bala (m)			
Anchura bala (m)			
Longitud bala (m)			
Densidad (Kg/m3)			
OBSERVACIONES			
TOTAL	26,76	100,00	100,00

CONTROL DE CALIDAD DE MATERIAL SELECCIONADO			
ALUMINIO			
	MEDIA	% Total	
Control a Granel			
Envases metales aluminio			91,10
Envases rígidos y semirrígidos	7,17	90,53	
Envases laminar monomaterial	0,05	0,58	
IMPROPIOS			8,90
Metales férricos libres	0,00	0,00	
Aluminio No Envase	0,27	3,43	
Otros Metales No Envase	0,00	0,00	
Plásticos	0,08	1,05	
Papel / Cartón	0,02	0,27	
Brik	0,14	1,71	
Laminados complejos	0,01	0,11	
Finos y otros	0,18	2,33	
Total muestra			
Altura bala (m)			
Anchura bala (m)			
Longitud bala (m)			
Densidad (Kg/m3)			
OBSERVACIONES			
	7,92	100,00	100,00

CONTROL DE CALIDAD DE MATERIAL SELECCIONADO			
CARTON PARA BEBIDAS			
	MEDIA	% Total	
Control a Granel			
BRIK	439,19	99,10	99,10
IMPROPIOS			0,90
PET	0,23	0,05	
PEAD	0,09	0,02	
Film	0,18	0,04	
Otros plásticos	0,11	0,02	
Acero	0,14	0,03	
Aluminio	2,83	0,64	
Papel / Cartón	0,21	0,05	
Total Envases			
Otros improprios	0,23	0,05	
Total muestra			
Altura bala (m)			
Anchura bala (m)			
Longitud bala (m)			
Densidad (Kg/m3)			
OBSERVACIONES	443,19	100,00	100,00
TOTAL			

CONTROL DE CALIDAD DE MATERIAL SELECCIONADO			
FILM			
	MEDIA	% Total	
Control Balas			
Peso Bala (descontado alambre)			97,70
FILM			
Film Doméstico (excepto Extensible, Retráctil y bolsas un solo uso)	153,56	55,01	
Film Doméstico bolsas de un solo uso	53,96	19,33	
Film Doméstico Extensible y Retráctil	41,26	14,78	
Film Comercial (excepto extensible y Retráctil)	14,88	5,33	
Film Comercial Extensible y Retráctil	9,07	3,25	
IMPROPIOS	0,00		2,30
PET	0,35	0,13	
PEAD	0,16	0,06	
PVC	0,03	0,01	
PP	0,30	0,11	
PS	0,11	0,04	
Cauchos siliconas, espumas de poliestireno y poliuretano	0,02	0,01	
Otros	0,20	0,07	
Total Plásticos Envases	0,00		
Plásticos No Envases	1,04	0,37	
Brik	0,31	0,11	
Metales	0,33	0,12	
Papel / Cartón No Etiqueta	1,37	0,49	
Otras Impurezas	2,19	0,79	
Total Otros			
Altura bala (m)			
Anchura bala (m)			
Longitud bala (m)			
Densidad (Kg/m3)			
OBSERVACIONES	279,13	100,00	100,00
TOTAL			

CONTROL DE CALIDAD DE MATERIAL SELECCIONADO			
PAPEL / CARTÓN	MEDIA	% Total	
Control a Granel			
PET	0,00		
PEAD Natural	0,00		
PEAD Color	0,00		
PVC	0,00		
Film (excepto bolsas de un solo uso)	0,00		
Film bolsas de un solo uso	0,00		
Resto de Plásticos	0,00		
Acero	0,00		
Aluminio	0,00		
Cartón para bebidas	0,00		
Madera	0,00		
Material No Solicitado (*)			
Materia orgánica	0,00		
Restos de jardín y podas	0,00		
Celulosas	0,00		
Textiles	0,00		
Madera no envase	0,00		
Madera Envase Comercial / Industrial	0,00		
Vidrio (envases)	0,00		
Plásticos No Envase (Excepto Film Bolsa Basura)	0,00		
Film bolsa basura	0,00		
Plásticos Envase Comercial/Industrial (Excepto Film Comercial/Industrial)	0,00		
Film Comercial / Industrial	0,00		
Restos de obras menores	0,00		
Acero no envase	0,00		
Acero Envase Comercial / Industrial	0,00		
Aluminio no envase	0,00		
Aluminio Envase Comercial / Industrial	0,00		
Otros (indicar significativos)	0,00		
Papel / Cartón:	0,00		
Papel Impreso	132,98	32,87	98,49
Envase Doméstico con Punto Verde	73,03	18,05	
Envase Doméstico sin Punto Verde	40,45	10,00	
Envase Comercial con Punto Verde	4,27	1,05	
Envase Comercial sin Punto Verde	147,78	36,52	
IMPROPIOS (Resto)			
Materia Orgánica	0,01	0,00	1,51
Otros	6,10	1,51	
Total muestra	404,59	100,00	100,00
Altura bala (m)			
Anchura bala (m)			
Longitud bala (m)			
Densidad (Kg/m3)			
TOTAL			

CONTROL DE CALIDAD DE MATERIAL SELECCIONADO			
PEAD	MEDIA	% Total	
Control Balas			
Peso Bala (descontado alambre)			95,83
PEAD			
PEAD Color (Excepto Multicapa y Negro)	211,73	58,83	
PEAD Multicapa	52,09	14,47	
PEAD Negro	0,65	0,18	
PEAD Natural	80,42	22,34	
IMPROPIOS			
PET	2,26	0,63	4,17
PEAD Inyección (cajas)	0,41	0,11	
PVC	0,06	0,02	
Film	3,55	0,99	
PP	2,47	0,69	
PS	0,22	0,06	
Cauchos siliconas, espumas de poliestireno y poliuretano	0,14	0,04	
Otros	0,34	0,09	
Total Plásticos Envases			
Plásticos No Envases	3,53	0,98	
Brik	0,68	0,19	
Metales	0,39	0,11	
Papel / Cartón No Etiqueta	0,23	0,06	
Otras Impurezas	0,74	0,21	
Total Otros			
	0,00		
Altura bala (m)			
Anchura bala (m)			
Longitud bala (m)			
Densidad (Kg/m3)			
OBSERVACIONES			
	359,91	100,00	100,00
TOTAL			

FICHA DE CARACTERIZACION DE ENVASES LIGEROS 2014			
Entrada en Planta	MEDIA	% Total	
Control Balas			
Peso Bala (descontado alambre)			98,35
PET			
PET	140,29	63,64	
PET Aceite/Vinagre	43,28	19,63	
PET Color (Excepto Multicapa)	31,87	14,46	
PET Color Multicapa	0,03	0,01	
PET Multicapa (Excepto Color)	1,34	0,61	
IMPROPIOS			
PEAD	0,26	0,12	1,65
PVC (botellas completas)	0,01	0,00	
PVC (fragmentos de botellas)	0,01	0,00	
PP	0,12	0,06	
PS	0,06	0,03	
Otros	0,18	0,08	
Total Plásticos Envases			
Plásticos No Envases	0,15	0,07	
Vidrio	0,00	0,00	
Metales	0,08	0,04	
Papel / Cartón No Etiqueta	0,08	0,03	
Otras Impurezas	2,69	1,22	
Total Otros			
Altura bala (m)			
Anchura bala (m)			
Longitud bala (m)			
Densidad (Kg/m3)			
OBSERVACIONES			
	220,44	100,00	
TOTAL			

CONTROL DE CALIDAD DE MATERIAL SELECCIONADO			
PLÁSTICO MEZCLA - MIX	MEDIA	%	% TOTAL
Control Balas			
Peso Bala (descontado alambre)			
PLASTICO MEZCLA			90,12
PEAD Inyección (cajas)	1,54	0,65	
PVC	1,56	0,66	
PP	181,59	76,64	
PS	28,36	11,97	
Otros	0,48	0,20	
IMPROPIOS	0,00	0,00	9,88
PET	3,85	1,63	
PET Aceite / Vinagre	0,28	0,12	
PET Color (Excepto Multicapa)	0,46	0,19	
PET Color Multicapa	0,17	0,07	
PET Multicapa (Excepto Color)	2,00	0,85	
PEAD Natural	1,44	0,61	
PEAD Color	2,85	1,20	
PEAD Multicapa	0,31	0,13	
PEAD Color Negro	0,20	0,09	
Film	0,30	0,13	
Total Plásticos Envases	0,00	0,00	
Plásticos No Envases	8,20	3,46	
Brik	0,27	0,11	
Metales	0,19	0,08	
Papel / Cartón No Etiqueta	1,30	0,55	
Otras Impurezas	1,60	0,67	
Total Otros			
Altura bala (m)			
Anchura bala (m)			
Longitud bala (m)			
Densidad (Kg/m3)			
OBSERVACIONES	236,95	100,00	100,00

ANEXO II. Encuestas

ENCUESTAS SOBRE LA ACEPTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RECOGIDA

Tabla 69. Encuestas sobre la aceptación social de los sistemas de recogida

E1	4 C	5 C
4 C	1	0,33333
5 C	3	1

E11	4 C	5 C
4 C	1	0,33333
5 C	3	1

E2	4 C	5 C
4 C	1	0,2
5 C	5	1

E12	4 C	5 C
4 C	1	1
5 C	1	1

E3	4 C	5 C
4 C	1	0,2
5 C	5	1

E13	4 C	5 C
4 C	1	0,33333
5 C	3	1

E4	4 C	5 C
4 C	1	0,33333
5 C	3	1

E14	4 C	5 C
4 C	1	0,2
5 C	5	1

E5	4 C	5 C
4 C	1	0,33333
5 C	3	1

E15	4 C	5 C
4 C	1	0,33333
5 C	3	1

E6	4 C	5 C
4 C	1	0,33333
5 C	3	1

E16	4 C	5 C
4 C	1	0,33333
5 C	3	1

E7	4 C	5 C
4 C	1	1
5 C	1	1

E17	4 C	5 C
4 C	1	0,2
5 C	5	1

E8	4 C	5 C
4 C	1	0,33333
5 C	3	1

E18	4 C	5 C
4 C	1	0,2
5 C	5	1

E9	4 C	5 C
4 C	1	0,33333
5 C	3	1

E19	4 C	5 C
4 C	1	0,33333
5 C	3	1

E10	4 C	5 C
4 C	1	1
5 C	1	1

E20	4 C	5 C
4 C	1	0,33333
5 C	3	1

E21	4 C	5 C
4 C	1	0,2
5 C	5	1

E32	4 C	5 C
4 C	1	5
5 C	0,2	1

E22	4 C	5 C
4 C	1	0,33333
5 C	3	1

E33	4 C	5 C
4 C	1	0,2
5 C	5	1

E23	4 C	5 C
4 C	1	0,33333
5 C	3	1

E34	4 C	5 C
4 C	1	0,33333
5 C	3	1

E24	4 C	5 C
4 C	1	0,33333
5 C	3	1

E35	4 C	5 C
4 C	1	1
5 C	1	1

E25	4 C	5 C
4 C	1	0,2
5 C	5	1

E36	4 C	5 C
4 C	1	1
5 C	1	1

E26	4 C	5 C
4 C	1	0,33333
5 C	3	1

E27	4 C	5 C
4 C	1	3
5 C	0,33333	1

E28	4 C	5 C
4 C	1	3
5 C	0,33333	1

E29	4 C	5 C
4 C	1	0,33333
5 C	3	1

E30	4 C	5 C
4 C	1	0,33333
5 C	3	1

E31	4 C	5 C
4 C	1	0,33333
5 C	3	1

ENCUESTAS SOBRE LA ACEPTACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

Tabla 70. Encuestas sobre la aceptación social de los tratamientos

E1	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	3	5	1	5
COM	0,33333	1	5	1	5
INC	0,2	0,2	1	0,2	1
REC	1	1	5	1	5
VER	0,2	0,2	1	0,2	1

E2	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	0,33333	3	0,33333	5
COM	3	1	3	1	5
INC	0,33333	0,33333	1	0,33333	1
REC	3	1	3	1	5
VER	0,2	0,2	1	0,2	1

E3	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	3	5	1	5
COM	0,33333	1	5	5	5
INC	0,2	0,2	1	0,2	3
REC	1	0,2	5	1	5
VER	0,2	0,2	0,33333	0,2	1

E4	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	3	0,33333	5	0,33333
COM	0,33333	1	0,33333	3	0,2
INC	3	3	1	3	0,33333
REC	0,2	0,33333	0,33333	1	0,33333
VER	3	5	3	3	1

E5	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	1	3	1	5
COM	1	1	3	1	5
INC	0,33333	0,33333	1	0,33333	3
REC	1	1	3	1	5
VER	0,2	0,2	0,33333	0,2	1

E6	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	5	5	5	5
COM	0,2	1	5	5	5
INC	0,2	0,2	1	0,2	0,2
REC	0,2	0,2	5	1	0,2
VER	0,2	0,2	5	5	1

E7	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	1	5	3	5
COM	1	1	5	1	5
INC	0,2	0,2	1	0,2	1
REC	0,33333	1	5	1	3
VER	0,2	0,2	1	0,33333	1

E8	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	1	3	0,2	5
COM	1	1	3	1	5
INC	0,33333	0,33333	1	0,33333	1
REC	5	1	3	1	5
VER	0,2	0,2	1	0,2	1

E9	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	3	5	1	5
COM	0,33333	1	3	1	5
INC	0,2	0,33333	1	0,2	1
REC	1	1	5	1	5
VER	0,2	0,2	1	0,2	1

E10	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	1	5	0,2	3
COM	1	1	3	0,33333	3
INC	0,2	0,33333	1	0,33333	3
REC	5	3	3	1	3
VER	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	1

E11	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	1	3	1	5
COM	1	1	3	1	5
INC	0,33333	0,33333	1	0,33333	3
REC	1	1	3	1	5
VER	0,2	0,2	0,33333	0,2	1

E12	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	3	5	0,2	5
COM	0,33333	1	3	0,2	5
INC	0,2	0,33333	1	0,2	5
REC	5	5	5	1	5
VER	0,2	0,2	0,2	0,2	1

E13	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	0,2	3	0,2	5
COM	5	1	3	0,2	5
INC	0,33333	0,33333	1	0,2	5
REC	5	5	5	1	5
VER	0,2	0,2	0,2	0,2	1

E14	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	3	5	0,33333	5
COM	0,33333	1	5	0,33333	5
INC	0,2	0,2	1	0,2	3
REC	3	3	5	1	5
VER	0,2	0,2	0,33333	0,2	1

E15	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	0,33333	5	3	5
COM	3	1	5	3	5
INC	0,2	0,2	1	0,2	0,33333
REC	0,33333	0,33333	5	1	3
VER	0,2	0,2	3	0,33333	1

E16	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	0,33333	1	0,33333	3
COM	3	1	3	1	5
INC	1	0,33333	1	0,33333	3
REC	3	1	3	1	5
VER	0,33333	0,2	0,33333	0,2	1

E17	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	0,33333	5	0,2	0,2
COM	3	1	0,2	1	5
INC	0,2	5	1	0,2	1
REC	5	1	5	1	5
VER	5	0,2	1	0,2	1

E18	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	0,33333	3	0,33333	5
COM	3	1	5	0,33333	5
INC	0,33333	0,2	1	0,2	1
REC	3	3	5	1	5
VER	0,2	0,2	1	0,2	1

E19	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	0,33333	5	0,33333	5
COM	3	1	5	1	5
INC	0,2	0,2	1	0,2	1
REC	3	1	5	1	5
VER	0,2	0,2	1	0,2	1

E20	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	0,33333	3	3	3
COM	3	1	5	1	5
INC	0,33333	0,2	1	0,2	1
REC	0,33333	1	5	1	5
VER	0,33333	0,2	1	0,2	1

E21	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	0,2	3	1	3
COM	5	1	5	1	5
INC	0,33333	0,2	1	0,2	0,2
REC	1	1	5	1	5
VER	0,33333	0,2	5	0,2	1

E22	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	1	3	0,33333	3
COM	1	1	1	0,33333	5
INC	0,33333	1	1	0,33333	3
REC	3	3	3	1	5
VER	0,33333	0,2	0,33333	0,2	1

E23	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	1	0,2	3	5
COM	1	1	5	5	5
INC	5	0,2	1	0,33333	0,33333
REC	0,33333	0,2	3	1	5
VER	0,2	0,2	3	0,2	1

E24	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	1	0,2	1	1
COM	1	1	0,2	3	3
INC	5	5	1	3	3
REC	1	0,33333	0,33333	1	3
VER	1	0,33333	0,33333	0,33333	1

E25	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	0,33333	3	0,33333	5
COM	3	1	5	0,33333	5
INC	0,33333	0,2	1	0,2	1
REC	3	3	5	1	5
VER	0,2	0,2	1	0,2	1

E26	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	3	0,33333	1	3
COM	0,33333	1	0,33333	0,33333	0,33333
INC	3	3	1	3	3
REC	1	3	0,33333	1	3
VER	0,33333	3	0,33333	0,33333	1

E27	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	3	0,33333	1	3
COM	0,33333	1	0,33333	1	3
INC	3	3	1	3	3
REC	1	1	0,33333	1	3
VER	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	1

E28	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	1	3	0,33333	1
COM	1	1	1	0,33333	3
INC	0,33333	1	1	0,33333	3
REC	3	3	3	1	3
VER	1	0,33333	0,33333	0,33333	1

E29	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	0,33333	3	1	3
COM	3	1	5	1	3
INC	0,33333	0,2	1	0,2	0,2
REC	1	1	5	1	3
VER	0,33333	0,33333	5	0,33333	1

E30	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	0,33333	3	0,2	5
COM	3	1	3	1	3
INC	0,33333	0,33333	1	0,33333	1
REC	5	1	3	1	5
VER	0,2	0,33333	1	0,2	1

E31	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	3	5	1	5
COM	0,33333	1	3	1	5
INC	0,2	0,33333	1	0,2	1
REC	1	1	5	1	5
VER	0,2	0,2	1	0,2	1

E32	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	3	5	1	5
COM	0,33333	1	3	1	5
INC	0,2	0,33333	1	0,2	0,2
REC	1	1	5	1	5
VER	0,2	0,2	5	0,2	1

E33	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	1	3	3	5
COM	1	1	1	1	5
INC	0,33333	1	1	1	5
REC	0,33333	1	1	1	5
VER	0,2	0,2	0,2	0,2	1

E34	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	3	5	1	5
COM	0,33333	1	5	1	5
INC	0,2	0,2	1	0,2	3
REC	1	1	5	1	5
VER	0,2	0,2	0,33333	0,2	1

E35	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	1	1	0,33333	3
COM	1	1	1	1	3
INC	1	1	1	0,33333	3
REC	3	1	3	1	3
VER	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	1

E36	BIO	COM	INC	REC	VER
BIO	1	3	3	3	5
COM	0,33333	1	3	3	5
INC	0,33333	0,33333	1	0,2	0,2
REC	0,33333	0,33333	5	1	5
VER	0,2	0,2	5	0,2	1

ENCUESTAS PARA LA PONDERACIÓN DE LOS SUBCRITERIOS SOCIALES

Tabla 71. Encuestas para la ponderación de los subcriterios sociales

E1	GE	CO	ACS	ADS
GE	1	1	0,2	0,33333
CO	1	1	1	1
ACS	5	1	1	3
ADS	3	1	0,33333	1

E2	GE	CO	ACS	ADS
GE	1	3	3	1
CO	0,33333	1	0,33333	0,33333
ACS	0,33333	3	1	1
ADS	1	3	1	1

E3	GE	CO	ACS	ADS
GE	1	0,33333	3	3
CO	3	1	5	5
ACS	0,33333	0,2	1	1
ADS	0,33333	0,2	1	1

E4	GE	CO	ACS	ADS
GE	1	3	3	3
CO	0,33333	1	3	1
ACS	0,33333	0,33333	1	0,33333
ADS	0,33333	1	3	1

E5	GE	CO	ACS	ADS
GE	1	0,33333	0,33333	0,33333
CO	3	1	3	3
ACS	3	0,33333	1	1
ADS	3	0,33333	1	1

E6	GE	CO	ACS	ADS
GE	1	1	1	1
CO	1	1	1	1
ACS	1	1	1	1
ADS	1	1	1	1

E7	GE	CO	ACS	ADS
GE	1	0,33333	1	1
CO	3	1	3	1
ACS	1	0,33333	1	0,33333
ADS	1	1	3	1

E8	GE	CO	ACS	ADS
GE	1	0,33333	3	3
CO	3	1	5	3
ACS	0,33333	0,2	1	0,33333
ADS	0,33333	0,33333	3	1