

I. Artículos

Análisis de los planes de gestión de residuos urbanos: aplicación al caso andaluz*

José María Peñuelas Menéndez

Universidad de Córdoba.

José Antonio Gómez-Limón Rodríguez

Universidad de Valladolid.

Julio Berbel Vecino

Universidad de Córdoba.

BIBLID [0213-7525 (2002); 62; 15-50]

PALABRAS CLAVE: Economía Ambiental, Gestión de Residuos, Decisión Multicriterio.

KEYWORDS: Environmental Economics, Waste Management, Multicriteria Decision.

RESUMEN:

El Plan Director de Gestión de Residuos Urbanos de Andalucía facilita la herramienta necesaria para conseguir que la gestión de estos residuos sea lo más acertada posible. En este sentido, el objeto principal de este trabajo es analizar el conflicto de objetivos económicos y ambientales presente en la toma de decisiones relativa al tratamiento de los residuos urbanos. De este análisis se podrán deducir las alternativas de tratamiento que resultan eficientes, segregándolas de las alternativas dominadas. Asimismo, la metodología desarrollada sugiere que la situación de la gestión de los residuos en Andalucía está claramente alejada del conjunto de soluciones eficientes.

ABSTRACT:

The Urban Waste Management Plan for Andalucía facilitates the tool to obtain that the management of these waste be it wiser possible. In this sense, the main object of this job is to analyze the environmental and economic conflict of objectives present in it takes of relative decisions to the processing of the urban waste. Of this analysis will be able to deduce the efficient alternatives of processing, segregate of the dominated alternatives. Likewise, the methodology developed suggests that the situation of the waste management in Andalucía is clearly far away of the efficient assembly of solutions.

* Los autores agradecen sinceramente las aportaciones realizadas por los revisores anónimos de este trabajo, que han servido para enriquecer el contenido y la calidad del mismo. Asimismo, debe indicarse que esta investigación ha sido financiada a través del Proyecto FEDER 1FD97-1037-CO2-02 del Ministerio de Educación y Cultura del cual los autores forman parte del mismo como investigadores.

1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS.

El desarrollo económico ha venido generalmente unido a políticas industrializadoras que sólo se han preocupado por aumentar la producción de los bienes de consumo demandados por la sociedad, persiguiendo en todo momento la rentabilidad empresarial. Esta política, enmarcada en una economía de mercado, ha hecho que los precios de los bienes y servicios se asignen en función tanto de la utilidad generada por los mismos en los consumidores, como de sus costes privados de producción. Así, los precios, fijados por medio de la concurrencia de la oferta y la demanda, no han tenido en cuenta en ningún momento la valoración de las externalidades ambientales que afectan a los modos de producción y consumo.

Paralelamente, esta política de desarrollo industrial ha producido una serie de nuevos problemas. Uno de los más importantes ha sido la creciente generación de residuos. Estos son la consecuencia de los procesos de consumo, que provocan *per se* gran cantidad de materiales de deshecho, y de la no estimación de las externalidades ambientales negativas que los propios procesos productivos y de consumo originan (emisiones de CO₂ a la atmósfera, formación de lixiviados, contaminación...). Dada la magnitud del problema (aumento constante del volumen de residuos y problemática ambiental asociada), recientemente los economistas han empezado a abordar el tema, considerando necesario la inclusión de los costes de eliminación de los mismos dentro de los procesos de consumo, siguiendo el conocido lema de "quien contamina, paga".

En este sentido, y ya en ámbito autonómico, el Plan Director Territorial de Gestión de Residuos Urbanos de Andalucía (aprobado por el Gobierno el pasado 26 de octubre de 1999) pretende dotar a la sociedad andaluza de la herramienta necesaria para conseguir que la gestión de los residuos urbanos sea lo más acertada posible, desde el punto de tanto económico como ambiental.

Por ello, el objeto principal de este trabajo es analizar el conflicto de objetivos públicos presente en la toma de decisiones relativa al tratamiento de los residuos urbanos, en concreto los relacionados con criterios estrictamente económicos (minimización del coste de tratamiento) y los ambientales (minimización del efecto invernadero debido a las emisiones de CO₂¹) que las distintas opciones plantean.

De este análisis se podrán deducir las alternativas de tratamiento de residuos que resultan eficientes, segregándolas de las alternativas dominadas. Dentro de este conjunto de soluciones factibles, dominadas y eficientes, se podrá insertar la

1. Las emisiones de CO₂ procedente del tratamiento de los residuos representan el 5,1% de las emisiones totales a la atmósfera en España, estimándose su cuantía en 20 millones de toneladas de CO₂ emitidas al año (Nieto, 1998).

propuesta de tratamiento que plantean los planes regionales de residuos y determinar así su nivel de eficiencia. La metodología así desarrollada se aplica de forma piloto al Plan Andaluz de Residuos.

2. DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS DE RESIDUOS URBANOS.

Se entiende por residuo todo bien que no tiene utilidad para quien lo posee y por residuo urbano, aquel deshecho que ha sido generado en centros domiciliarios. La acumulación de residuos es una consecuencia directa de la vida. No obstante, los problemas relacionados con la evacuación de residuos aparecieron realmente en los tiempos en los que los seres humanos comenzaron a congregarse en ciudades. De hecho puede afirmarse que la acumulación de residuos y su problemática asociada es una consecuencia de la vida urbana.

Este trabajo va a centrarse exclusivamente en los residuos urbanos (R.U.). Por ello, una vez definidos y apuntada la causa de su generación, conviene hacer alusión a su composición. En este sentido, lo primero que resalta es el carácter heterogéneo de los mismos, en donde podemos encontrar desde materia inerte como vidrio, metales, plásticos, textiles, hasta materia orgánica, papel u otros compuestos biodegradables.

Cualitativamente, la composición del cubo de basura ha sido muy estudiada. Berbel *et al* (1999) inciden en la idea de la influencia de factores económicos (nivel de vida), geográficos (clima), físicos (densidad de población, tamaño de la ciudad) y sociales (modos de consumo) sobre la composición final de los R.U. Se comprueba cómo la fracción orgánica de la basura es mucho más destacada en aquellas poblaciones con menores niveles de renta y cómo el resto de fracciones (sobre todo papel, metales y vidrio) crecen en relación directa con este indicador de la riqueza.

Como solución a los problemas que se han ido generando a través de los años en relación a los residuos urbanos (agotamiento de recursos naturales, contaminación ambiental, salud pública, etc.) se ha venido apuntado la necesidad de considerar objetivos como la minimización de los residuos generados o el mayor reciclado de aquellas fracciones que permitan esta opción. En definitiva, se empieza a abogar por la gestión de los diferentes tratamientos de los residuos frente al clásico vertido de los mismos como única opción.

Paralelamente a esta idea, es necesario que los estados intervengan corrigiendo las deficiencias del mercado en cuanto a contaminación y residuos, de forma que traten de internalizar los costes ambientales en que incurran los agentes económicos. En este marco, se ha alcanzado un consenso en cuanto a las medidas aceptables para gestionar los residuos. La Unión Europea, en el V Programa de

Acción “*Hacia un Desarrollo Sostenible*” hizo suya, tras un largo proceso negociador, la siguiente jerarquía para las estrategias relativas al tratamiento de residuos:

1. Reducción del volumen de residuo generado.
2. Reutilización de aquellos elementos que lo permitan.
3. Recuperación o reciclado:
 - a) Material (reciclado en sentido estricto, como el vidrio o el papel).
 - b) Recuperación química (romper cadenas de plásticos para volver al crudo original).
 - c) Recuperación de energía (incineración o “valorización”).
4. Eliminación o vertido controlado.

Dentro del tercer nivel jerárquico (recuperación o reciclaje) existe un amplio consenso en el orden establecido, es decir, la preferencia del reciclado material sobre el químico y sobre la incineración. Así, el objetivo a seguir será que la recuperación de éstos sea lo más “ecológica” posible, teniendo para ello en cuenta el proceso de reciclado en conjunto, en cuanto al consumo de materias primas, energía y contaminación resultante del proceso.

3. CONVENIENCIA DEL ANALISIS MULTICRITERIO EN LA GESTION DE RESIDUOS.

Para analizar el beneficio (y los costes) de la aplicación de un determinado plan o estrategia en cualquier empresa, asociación o para el conjunto de la sociedad, debemos, antes de cualquier otro tipo de estudio, aclarar perfectamente los objetivos que dicho plan pretende alcanzar.

Concretando esta idea para nuestro trabajo, debemos aclarar que si la actividad productiva en cuestión va a ser llevada a cabo por una empresa privada, los objetivos de la misma serán, obviamente, de carácter privado (aquellos que incrementen la utilidad del propio empresario). Estos objetivos normalmente serán la maximización del beneficio empresarial (objetivo clásico de la Teoría Económica), la minimización del riesgo u otros menos habituales como la minimización de la financiación ajena, minimización de la dificultad gerencial, etc. Sin embargo, si la actividad productiva es ejecutada por un agente público (como la Administración del Estado o las empresas públicas), los objetivos que se perseguirán tendrán un carácter esencialmente público (aquellos que incrementen el bienestar del conjunto de la sociedad). Estos objetivos se suelen corresponder con la maximización de la eficiencia asignativa de los recursos y con la maximización de la equidad en la

distribución de la renta. Mientras que el primero de ellos suele materializarse a través de la maximización de los beneficios económicos para el conjunto de la sociedad², el segundo criterio se corresponde habitualmente con la maximización de generación de empleo y la justicia distributiva.

Aceptada la conveniencia de analizar un Plan de Gestión de Residuos bajo una perspectiva pública, en la que se analice toda la diversidad de objetivos públicos, debemos a continuación “encontrar” una metodología que además de permitir esta premisa sea capaz de evaluar las distintas alternativas que puedan realizarse. Así, el modelo de estudio empleado debe ser capaz de discernir entre las alternativas eficientes que cumplan con los objetivos previstos de aquellas soluciones dominadas por las primeras. Adicionalmente, sería muy interesante determinar las soluciones preferenciales dentro del conjunto eficiente, en función de la importancia que demos a los diferentes objetivos públicos antes comentados.

Ante estas cuestiones, consideramos necesario analizar el problema que nos ocupa dentro de la estructura teórica del paradigma de la Decisión Multicriterio, ya que esta metodología soluciona buena parte de los interrogantes que estamos planteando. En concreto, hemos optado por emplear la metodología “*Elimination and Choice Translating Algorithm*” (ELECTRE), desarrollada por Benayon *et al.* (1966) y mejorada por Roy (1971).

El método ELECTRE básicamente consiste en un procedimiento para priorizar las alternativas dentro de un conjunto discreto de soluciones eficientes. Tal reducción se realiza por medio de una partición del conjunto eficiente en un subconjunto de alternativas más favorables para el centro decisor y en otro subconjunto de alternativas menos favorables. Para mayor información, puede consultarse a Romero (1993). En concreto, se han seguido los siguientes pasos:

1. Representaremos gráficamente el conjunto de alternativas eficientes, con lo cual mostraremos las posiciones relativas de la gestión de los residuos en relación a los dos objetivos seleccionados: minimización del coste económico (medido en euros) y minimización del impacto ambiental (determinando el efecto invernadero, medido en emisión de kg de CO₂ a la atmósfera). Con esto, obtendremos una nube de puntos, dentro de la cual será simple diferenciar aquellos que forman el conjunto eficiente de aquellas soluciones dominadas.
2. Este mismo criterio de maximización de eficiencia asignativa se suele también considerar a través de la minimización de los costes generados para el conjunto de la sociedad. En cualquier caso, bien se trate de beneficios o de costes, éstos considerarán los efectos ambientales (externalidades) de los procesos económicos analizados.

2. El método ELECTRE nos ordenará las diversas alternativas del conjunto eficiente en base al peso preferencial que subjetivamente asociemos a cada atributo. A partir de la matriz decisional inicial y del vector de pesos, se calculan la matriz decisional normalizada y ponderada.
3. Esta matriz, una vez tratada con el umbral mínimo de discordancia permite obtener la matriz de dominancia discordante y, finalmente, la matriz agregada en la que se observará la alternativa más favorable.
4. Paralelamente, calcularemos la posición relativa de la gestión de los residuos en Andalucía en el año 1995, referencia que obtendremos a partir de los datos conocidos sobre gestión de R.U. en esta Comunidad. Repetiremos el cálculo para el año 2005 a partir de los objetivos concretos que se marca el Plan Director para ese año. De la evolución de estos dos puntos y de su posición relativa respecto al conjunto eficiente obtenido previamente, deduciremos si el camino propuesto para estos diez años es el adecuado en términos económicos y ambientales.

4. PRESENTACION DE LA ZONA DE ESTUDIO. ANDALUCIA 1995-2005.

4.1. *Los Residuos Urbanos en Andalucía.*

Durante 1996 se produjeron en Andalucía 3.147.394 toneladas de residuos, lo que quiere decir que se originaron alrededor de 1,2 kg por habitante y día. Cabe destacar, en cuanto a niveles productivos, las provincias costeras de esta Comunidad con cotas que rondan los 1,35 kg. Las ciudades de interior (Jaén, Córdoba) no llegan a aquellos valores, estando incluso por debajo de 1,0 kg por habitante y día. Las cifras desglosadas relativas a la producción en Andalucía se pueden observar en la Tabla 1.

Como hemos comentado, los residuos urbanos son de muy variada naturaleza (así es la compleja vida de las ciudades). Del mismo modo, la tecnología existente permite ya varias maneras de gestionar los mismos; existen varias opciones frente al clásico vertido. Para nosotros es fundamental conocer no sólo con la mayor exactitud posible los datos de producción de R.U., tal y como se han expuesto con anterioridad en el Cuadro 1, sino además conocer la caracterización y, sobre todo, el tratamiento que se lleva a cabo con los mismos.

CUADRO 1
PRODUCCIÓN DE R.U. EN ANDALUCÍA. 1996.

PROVINCIA	POBLACION	GENERACION (Tm)	GENERACION (kg/hab/día)
Almería	501.761	249.326	1,36
Cádiz	1.105.762	527.208	1,31
Córdoba	761.401	261.997	0,94
Granada	808.053	330.914	1,12
Huelva	454.735	216.671	1,31
Jaén	648.551	234.729	0,99
Málaga	1.249.290	600.367	1,32
Sevilla	1.705.320	726.182	1,17
ANDALUCIA	7.234.873	3.147.394	1,19

Fuente: Plan Director Territorial de Gestión de Residuos Urbanos de Andalucía.

Respecto a la composición de los R.U., lo primero que se puede resaltar es el carácter heterogéneo de los mismos, cuestión apuntada con anterioridad. Según estudios previos (Plan Director de Residuos de Andalucía), la caracterización de los residuos en Andalucía quedaría tal y como se expone en el Cuadro 2.

CUADRO 2
COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS EN ALGUNAS PROVINCIAS DE ANDALUCÍA (%).

COMPONENTES	Almería	Cádiz	Córdoba	Huelva	Málaga	Sevilla	Media
Mat. Orgánica	56,1	41,9	54,9	40,7	46,3	45,5	47,6
Papel/Cartón	16,2	20,8	17,4	19,3	22,6	15,3	18,6
Plástico	7,2	12,1	12,4	14,9	11,7	16,6	12,5
Vidrio	6,0	7,6	6,3	9,4	5,6	6,4	6,9
Metales	3,5	3,8	4,1	3,3	3,6	3,1	3,6
Otros	11,0	13,8	4,9	12,5	10,1	13,1	11,9

Fuente: Junta de Andalucía.

La diferencia en los porcentajes de algunas ciudades andaluzas llama la atención. Por ejemplo, la cantidad de materia orgánica en Almería y Córdoba llega a ser sensiblemente superior con respecto a la cantidad presente en ciudades como Huelva o Cádiz. Desde tiempo atrás se viene comentando que estas diferencias en la composición de los R.U. de una región a otra tiene mucho que ver con aspectos económicos (como el nivel de renta), sociales (costumbres de la población en cuanto a modos de consumo), geográficos (situación geográfica, clima) o físicos (densidad de la población, tamaño de las ciudades). En cualquier caso, el alto porcentaje de “otros materiales” nos induce a pensar que la metodología de análisis empleado no ha sido lo suficientemente precisa y homogénea para la caracterización de la bolsa de basura en las distintas provincias.

Otro de los asuntos de interés es responder a la pregunta ¿qué se ha hecho estos años en Andalucía con los residuos urbanos?. A partir de la caracterización de los residuos y de los datos de recuperación que se manejan en los informes anuales de las empresas gestoras, podemos indicar que la gestión de los residuos en Andalucía en 1995 se ha desarrollado como muestra el Cuadro 3.

CUADRO 3
GESTIÓN DE R.U. EN ANDALUCÍA. 1995.

Caracterización	Opción de Tratamiento	Porcentaje
Materia Orgánica	Compostado	25%
	Vertido	75%
Papel	Reciclado	5%
	Vertido	95%
Plástico	Reciclado	10%
	Vertido	90%
Vidrio	Reciclado	10%
	Vertido	90%
Metales	Reciclado	10%
	Vertido	90%

Fuente: Elaboración propia a partir de Plan Director R.U. de Andalucía.

Como apunte principal de el Cuadro 3 se señala el uso mayoritario del *vertido* controlado como opción elegida. Esta forma de tratamiento consiste en la evacuación de los residuos y su depósito sobre terrenos sanitariamente preparados (vertederos), procurando no provocar consecuencias desagradables o peligrosas

para la salud, la seguridad pública y el medioambiente. Se trata sin duda del método más antiguo y sencillo que se conoce para eliminar la basura. Si bien es una opción “cómoda” y económica, debemos recordar que ésta se corresponde con el último nivel de prioridad apuntado por la normativa europea.

Las opciones de compostaje³ de la materia orgánica y reciclado del resto de fracciones, mucho mejor colocadas dentro de los niveles de prioridad, aún no se han desarrollado plenamente ya que sus porcentajes apenas llegan al 10%.

Por otro lado, el *reciclado* de las fracciones no biodegradables de la basura se basa en la recuperación de las mismas para su posterior transformación de nuevo en productos que puedan ser utilizados como materias primas en la cadena de producción. Algunos materiales, como el vidrio, pueden ser infinitamente reciclados sin alterar la calidad del material y es, en la actualidad, una de las actividades ecológicas con más arraigo entre la población andaluza.

Por último, si bien se han llevado a cabo otras alternativas de gestión como la *incineración* (combustión controlada en la que puede obtenerse un balance energético positivo en forma de vapor o energía eléctrica) o procesos de *biometanización* (digestión de materia orgánica en ausencia de oxígeno, en la que se produce metano que puede emplearse para generar energía), éstas se han desarrollado mínimamente, casi a nivel piloto, motivo por el cual no aparecen en la Tabla 3 anteriormente expuesta.

4.2. Plan Director Territorial de Residuos Urbanos de Andalucía.

Mediante el Decreto 218/1999⁴ se ha aprobado el Plan Director Territorial de Gestión de Residuos Urbanos de Andalucía. Este Plan, para el periodo 2000-2006, pretende coordinar las actuaciones de la Administración Autonómica, las empresas generadoras de residuos de Andalucía y las empresas cuya actividad se centra en el tratamiento de estos residuos. El Plan se desarrolla a través de una serie de *principios rectores*:

3. Para los no iniciados, conviene apuntar que el *compostaje* es un proceso biooxidativo y controlado de parte de la materia orgánica de los residuos. A través del mismo las sustancias orgánicas (biodegradables) se transforman parcialmente en CO₂ y agua que se liberan a la atmósfera, quedando al final del proceso un producto denominado *compost*. En este producto final es donde se concentran los compuestos orgánicos de lenta descomposición, como sustancias húmicas, que son los nutrientes esenciales para las plantas. Esta forma de tratamiento permite obtener un producto final que aumenta la fertilidad de los suelos, aportando nutrientes y mejorando las características físicas del mismo (capacidad de retención de humedad, disminución de la escorrentía y la erosión, etc.).
4. Publicado en el BOJA nº 134/1999 de 26 de octubre.

- a) *Estabilizar en términos absolutos la producción de residuos urbanos*, lo que equivale a reducir la generación per cápita de una población en crecimiento como la andaluza.
- b) *Implantar la recogida de residuos de tipo selectivo*.
- c) Seguir la política de las cuatro R (*Reducir, Recuperar, Reutilizar y Reciclar*) en relación a los residuos de envase.
- d) *Eliminar de forma segura las fracciones no recuperables* de las mismas.
- e) *Fomentar la creación de un marco* en el que se favorezcan aspectos como la concienciación ciudadana o la desincentivación de la generación de R.U. (quien contamina más, paga mucho más...).

Al amparo del vigente Plan, y teniendo en cuenta los datos de generación y composición de los residuos en Andalucía, se enmarcan una serie de *objetivos concretos* en la gestión de los R.U. Debemos destacar los siguientes:

1. Conseguir la estabilización de la gestión de los residuos, de manera que se alcance el "crecimiento cero".
2. Conseguir una recuperación no inferior al 35% en peso de los residuos de envase generados en el 2005.
3. Valorizar el resto de las fracciones que componen los residuos y, en especial, la fracción orgánica, mediante técnicas de biodegradación, al objeto de obtener compost. Esta valorización se llevará a cabo sobre al menos un 70% de la fracción orgánica para el año 2005.
4. Conseguir como objetivo asociado a los anteriores que los materiales no recuperables (los rechazos) no superen el 35% de los residuos urbanos generados.
5. Recuperar, mediante contenedores específicos para papel-cartón y vidrio, en torno a un 25% de los primeros y un 45% de los segundos.

En resumen, y asumiendo el pleno logro de los objetivos del Plan, podemos inferir que la gestión de los residuos urbanos en Andalucía en el año 2005 en relación a las distintas alternativas tecnológicas existentes, va a desarrollarse de acuerdo con el Cuadro 4.

CUADRO 4
GESTIÓN DE R.U. EN ANDALUCÍA. 2005.

Caracterización	Opción de Tratamiento	Porcentaje
Materia Orgánica	Compostado	75%
	Vertido	25%
Papel	Reciclado	45%
	Vertido	55%
Plástico	Reciclado	35%
	Vertido	65%
Vidrio	Reciclado	25%
	Vertido	75%
Metales	Reciclado	35%
	Vertido	65%

Fuente: Elaboración propia a partir de Plan Director R.U. de Andalucía.

5. TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS URBANOS: COSTES ECONOMICOS Y EFECTOS AMBIENTALES.

Los datos de partida para desarrollar el cálculo del coste económico y del efecto ambiental de las distintas alternativas tecnológicas se han obtenido del documento de la DG-Environmental “*Waste Management Options and Climate Change*” (AEA Technology, 2000). En dicho documento se estiman los datos económicos y ambientales necesarios para nuestra investigación.

Respecto al coste económico de la gestión de los residuos, el imparable avance tecnológico ha hecho que sean diversas las opciones posibles para gestionar los residuos, cada una con sus costes correspondientes asociados. Se dispone de los costes económicos derivados de cada uno de los tratamientos existentes por cada material que compone la bolsa de basura, tal y como se muestra en el Cuadro 5, obtenida a partir del estudio anteriormente citado.

Escogemos el ejemplo del plástico para aclarar el significado de el Cuadro 5. Se observa en la columna correspondiente que la opción de reciclar este material es, económicamente hablando, la más cara de todas, suponiendo un coste de 84 euros por Tm. tratada de esta manera. En el otro extremo se sitúa la incineración, con únicamente 13 euros por Tm. tratada, como la opción técnica más económica.

CUADRO 5
COSTE DE LAS OPCIONES DE TRATAMIENTO DE LOS R.U. (€/tm).

COSTE MEDIO EN EUROPA	PAPEL	MATERIA ORGANICA	PLASTICO	VIDRIO	METALES FERRICOS	ALUMINIO	TEXTILES
Reciclar	-26	—	84	18	56	-700	—
Compostar	55	55	—	—	—	—	—
Digestión Anaeróbica (Biometanización)	37	37	—	—	—	—	—
Incineración sin Recuperación Energética	44	44	44	44	44	44	44
Incineración con Recuperación Energética	13	13	13	13	13	13	13
Vertido	28	28	28	28	28	28	28

Fuente: Comisión Europea.

Si bien el cálculo del coste económico no supone ningún problema, la medida del impacto ambiental puede realizarse de múltiples formas. Algunos autores (Cano, 1999) cifran en más de 2.000 los indicadores medioambientales existentes en la actualidad, si bien también señalan que, en la práctica, éstos suelen ser poco operativos si no están suficientemente definidas las raíces de los problemas a los que tienen que hacer frente. Nosotros, a partir de los datos de los que se dispone, asumimos como indicador del efecto ambiental de las distintas opciones de tratamiento de los residuos el efecto invernadero que producen las emisiones de CO₂ a la atmósfera (medidas en kg de CO₂ producidos). Si bien existen otras opciones para esta medida como la emisión de dioxinas, índices de biomasa en el suelo o bien mediante índices de contaminación en ríos, ciudades, etc., nosotros de esta manera, simplificamos el problema para poder abordarlo de forma cuantitativa⁵. No obstante, tal y como se plantea al final de este trabajo, la incorporación de otros efectos ambientales al margen del efecto invernadero debe considerarse de enorme interés para futuras investigaciones.

5. Se trata de reflejar de forma cuantitativa el estado de la cuestión ambiental que nos ocupa. A la hora de elegir un indicador ambiental se ha seguido un criterio que nos permite cumplir con la mayor parte de los siguientes requisitos: comprensión sencilla, accesible a los no especialistas, relacionados con la cuestión que van a medir, fáciles de medir y disposición de datos periódicos que informen sobre su evolución (Escudero, 1999).

En relación al valor de las emisiones de efecto invernadero (medidas en kg de CO₂ equivalentes por tonelada de residuo tratada) las diversas fracciones de los residuos producen, en función de la actividad que se lleve a cabo con ella, el valor reflejado en el Cuadro 6.

CUADRO 6
EMISIONES DE CO₂ POR TM. DE R.U. TRATADA (kg).

	PAPEL	MATERIA ORGANICA	PLASTICO	VIDRIO	METALES FERRICOS	ALUMINIO	TEXTILES
Reciclar	-471	—	-518	-275	-1.511	-9.098	-3.191
Compostar	32	32	—	—	—	—	32
Digestión anaeróbica (Biometanización)	-150	-89	—	—	—	—	-90
Incineración sin Recuperación Energética	6	6	1.916	6	6	6	725
Incineración con Recuperación Energética	-288	-131	1.350	6	6	6	363
Vertido	561	477	6	6	6	6	254

Fuente: AEA Technology (2000).

Respecto al significado de los valores de la Tabla 6, se hace imprescindible entender la idea de que un valor con signo negativo indica el número de kg de “ahorro” de emisión de CO₂ a la atmósfera de la alternativa en cuestión frente a la puesta en el mercado de una tonelada de ese producto por la vía tradicional. Es decir, y a modo de ejemplo, el hecho de que la opción de reciclar el plástico tenga un valor negativo de 518 indica que, reciclando una tonelada de plástico, se produce una “no emisión” de 518 kg de CO₂, frente a la alternativa de no reciclar y puesta en el mercado de una Tm. de plástico producido normalmente a partir de recursos naturales (petróleo...).

Como puede observarse, y siguiendo el ejemplo del plástico, la opción de reciclado es la más adecuada (en términos ambientales), ya que el resto (incineración y vertido) suponen emisiones de CO₂ a la atmósfera. En concreto, la incineración del mismo sería la opción ambientalmente menos eficiente, ya que se produce una emisión atmosférica de 1.350 o 1.916 kg de CO₂ por Tm (en función de que haya o no recuperación energética).

6. ENFOQUE MULTICRITERIO DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS URBANOS.

6.1. Planteamiento del proceso de toma de decisiones.

Tal y como hemos expuesto, el responsable de la gestión de los R.U. está obligado a tomar decisiones referentes al tipo de actuación a llevar a cabo con los residuos. La decisión fundamental es establecer qué hacer (qué tratamiento dar) con cada fracción de la basura. En este estudio hemos considerado las siguientes fracciones de la basura de forma individualizada: materia orgánica, papel, vidrio, plásticos y materiales férricos. Todas ellas suponen aproximadamente un 90% de la basura generada. En este contexto, los elementos fundamentales que componen el proceso de toma de decisiones lo constituyen las variables de decisión de que dispone el responsable, los objetivos planteados por el mismo y las restricciones a las que debe someterse.

Para decidir qué hacer, el decisor dispone como *variables de decisión*, la determinación de las cantidades (porcentajes) de cada fracción de la basura que se va a someter a las distintas técnicas que permite la tecnología actual (reciclar, compostar, tratamiento mecánico-biológico o biometanización, incineración con recuperación energética y vertido controlado).

Los *objetivos* que definimos más relevantes para explicar el comportamiento de los responsables en política ambiental en relación a la gestión de los R.U. son, tal y como se comentó en el primer punto del apartado 3, los siguientes:

- a) Minimizar el coste económico (CE) de la gestión global de los R.U., contabilizado en euros.
- b) Minimizar la contribución al efecto invernadero (emisiones de CO₂ a la atmósfera, EA), contabilizado como los kg de CO₂ generado durante el proceso de tratamiento.

En cuanto a las *restricciones* impuestas por la tecnología (no todas las opciones son aplicables a todas las fracciones de la basura), el modelo desarrollado cuenta con las siguientes:

- a) El papel obtenido de la basura puede reciclarse, sufrir biometanización (digestión anaeróbica), incineración y vertido.
- b) Con la fracción orgánica se pueden llevar a cabo procesos de compostaje, biometanización, incineración y vertido.
- c) El plástico permite procesos de reciclaje, incineración y vertido.
- d) El vidrio y el material férrico tienen las opciones de reciclaje y vertido.

A este respecto hemos de recordar que el resto de la basura (otros metales, textiles...), que pueden suponer cerca de un 10% de la composición de cubo de basura, no son tratados en este estudio.

6.2. Resultado del modelo multicriterio.

Una vez definido el modelo decisional, hemos calculado los valores de los distintos objetivos propuestos (CE y EA) para las opciones de tratamiento de la siguiente manera:

1. Otorgamos valores numéricos a las diversas opciones de tratamiento: 1= reciclar; 2= compostar; 3= biometanización; 4= incineración y 5= vertido.
2. Siguiendo un orden preestablecido para las distintas fracciones de la basura (Papel, Materia Orgánica, Plástico, Vidrio y Materiales Férricos), los valores obtenidos para CE y EA son el resultado individual de las $4 \times 4 \times 3 \times 2 \times 2 = 192$ opciones de gestión de residuos posibles. Este valor es el resultado de multiplicar las diversas opciones de gestión para cada una de las fracciones consideradas tal y como pone de relieve el Cuadro 7.

CUADRO 7
OPCIONES DE TRATAMIENTO PARA CADA FRACCIÓN DE LOS RESIDUOS.

	Reciclar (1)	Compostar (2)	Biometani- zación (3)	Incineración (4)	Vertido (5)	Número Opciones
Papel	SI	NO	SI	SI	SI	4
Materia Orgánica	NO	SI	SI	SI	SI	4
Plástico	SI	NO	NO	SI	SI	3
Vidrio	SI	NO	NO	NO	SI	2
Material Férrico	SI	NO	NO	NO	SI	2

Fuente: Elaboración propia.

Como ejemplo aclaratorio de esta codificación, la opción de tratamiento "12555" indicaría que el papel, primer componente de la lista, se recicla (opción 1), la materia orgánica se composta (opción 2) y para los tres últimos componentes (plástico, vidrio y materiales férricos respectivamente) se opta por el vertido (opción 5). Para esta opción concreta y gestionando la totalidad de las fracciones de los R.U. del conjunto de la comunidad andaluza con el sistema establecido, tendríamos unos valores de CE y EA concretos, que en este caso serían los de el Cuadro 8.

CUADRO 8
COSTE ECONÓMICO Y EMISIONES A LA ATMÓSFERA DE LA OPCIÓN
“12555”.

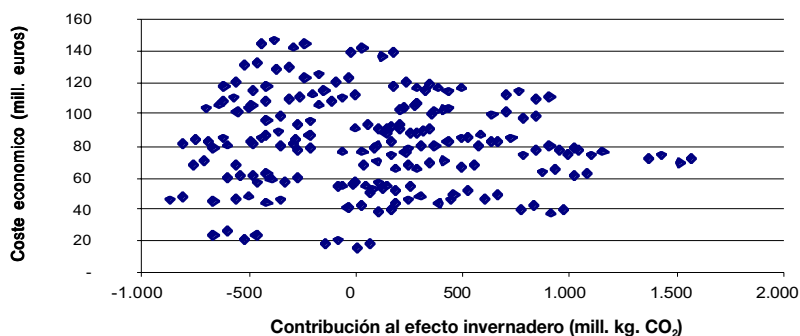
Opción	Coste económico €	Contribución al efecto invernadero kg de CO ₂ emitidos a la atmósfera
12555	86.650.904	-222.215.459

Fuente: Elaboración propia.

En cualquier caso, los valores de CE y EA obtenidos para las distintas alternativas que se presentan a los R.U. producidos en Andalucía aparecen reflejados en el Anexo I.

Las 192 opciones posibles en el modelo expuesto, se han representado gráficamente bajo un diagrama cartesiano en el que los ejes del mismo son el coste económico y las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Se obtiene con ello una nube de puntos, dentro de la cual se encuentran todas las opciones que deben considerarse económica y ambientalmente posibles. La Figura 1 muestra el impacto concreto de estas 192 opciones.

FIGURA 1
IMPACTO DE LAS DIVERSAS OPCIONES DE GESTIÓN.



Fuente: Elaboración propia.

Un rápido análisis del mismo permite observar la enorme divergencia, tanto en términos ambientales como económicos, de las diversas opciones de tratamiento posibles. El primer “filtro” para buscar una solución óptima dentro de esas 192 opciones es bien simple: debemos diferenciar aquellas soluciones dominadas (no eficientes) de aquellas que no lo están (eficientes).

En este sentido y teniendo en consideración el carácter de nuestros datos, es conveniente aclarar el concepto de dominancia. Es claro que cuanto menor sea el coste económico de una opción ésta será mejor considerada que otra opción con un coste más elevado. De manera análoga, cuanto menor sea la emisión de CO₂ a la atmósfera de una determinada alternativa, ésta será mejor considerada que otra opción con mayor emisión de CO₂. En definitiva, cuanto menor sea la cuantía de los valores de una opción, mejor. De todo esto podemos concluir que una opción domina a otra cuando sus ítems económico y ambiental sean inferiores a los de otra opción o al menos unos de ellos sea inferior mientras el otro es igual. Por tanto, los elementos del conjunto eficiente son aquellos que, para un nivel de coste económico concreto, manifiesta una menor emisión de CO₂ a la atmósfera (o a la inversa, para una determinada emisión es mínimo el coste económico).

A partir de todo lo anterior, los elementos de este conjunto eficiente son los puntos vértice que indica el Cuadro 10.

CUADRO 10
MATRIZ DECISIONAL INICIAL.

Alternativas	Coste Económico €	Emisiones a la atmósfera (kg CO ₂ emitidos)
A(14111)	46.219.481	- 873.785.817
B(14511)	24.363.977	- 669.280.745
C(14515)	21.720.166	- 526.042.844
D(14415)	15.866.013	- 1.510.749

Fuente: Elaboración propia.

Antes de comentar el significado de las alternativas eficientes, debemos puntualizar un aspecto relacionado con la metodología empleada. Si bien en el Gráfico 1 nos encontramos con un conjunto finito de 192 opciones, de las cuales tan sólo 4 las hemos considerado eficientes (A, B, C, D), realmente nos enfrentamos a un problema decisional continuo, con un conjunto ilimitado de soluciones.

Para aclarar esta idea podemos centrarnos únicamente en las opciones eficientes. En el contexto analizado, el conjunto eficiente se ha definido como todas

aquellas opciones del conjunto factible que no están dominadas. Es evidente que las alternativas expuestas en el Cuadro 10, son eficientes; se tratan de los denominados «puntos vértices». Sin embargo, además de estas 4 opciones (puntos A, B, C y D), existe un conjunto infinito de soluciones eficientes obtenidas como combinaciones de estas alternativas concretas: son las soluciones denominadas «puntos interiores». Así, el total de conjunto eficiente se define por las infinitas soluciones de la poligonal ABCD. Las pendientes de los correspondientes segmentos de la frontera que estos puntos forman representan las tasas de intercambio entre las alternativas que considera cada opción. Por ejemplo, la diferencia entre las opciones A y B es que la primera opta por el reciclado del plástico mientras la segunda prefiere el vertido. La recta que une ambos puntos representa las infinitas combinaciones que se pueden obtener de la combinación de ambas opciones de gestión del plástico.

Si bien se asume que éste es un problema decisional de carácter continuo, con un conjunto ilimitado de soluciones, es de sobra conocido el mayor interés que tienen las alternativas correspondientes a los puntos vértice o esquina sobre los interiores. Por ello, y dada también la complejidad de consideración de un número ilimitado de alternativas, se ha optado en este trabajo por considerar únicamente los primeros como las soluciones útiles desde un punto de vista decisional. Se opta pues por considerar las alternativas A, B, C y D como las únicas susceptibles de ser elegidas por los decisores (gestores de residuos). Para cualquier cuestión adicional al respecto consúltese Romero, 1993.

Retomando el Cuadro 10 se puede comprobar cómo todas las opciones tienen unas emisiones a la atmósfera negativas que, recordemos, suponen un “ahorro” de contaminación ambiental respecto a alternativas clásicas de vertido y puesta en mercado de nuevos productos (plástico, papel, etc.).

Concretando algo más, la primera de las opciones eficientes, A(14111), propugna el reciclado como la opción a desarrollar para todas las fracciones de la basura, con excepción de la materia orgánica que, según esta alternativa, debe incinerarse. Es fácil deducir que es una opción que debe considerarse “proambiental” que no se ve condicionada por el coste económico derivado ya que la alternativa del reciclado nos permite el máximo ahorro de emisión de CO₂ a la atmósfera.

En las opciones B y C, si bien existe cierta similitud con la opción A, ya se muestran ciertas preferencias por el vertido. En concreto, la primera de estas alternativas (B) propugna el vertido del plástico. La segunda opción (C) manifiesta este respaldo para las fracciones de plástico y materiales férricos. Para el resto de fracciones se mantienen las opciones de la opción A. En estas dos alternativas, los aspectos económico y ambiental de la gestión de R.U. adquieren un protagonismo similar, ya que para algunas fracciones de la basura se opta por las alternativas “baratas” mientras que para otras por opciones más ambientalistas.

La última de las alternativas eficientes, D(14415), es la que tiene un carácter más economicista, al optarse mayoritariamente por las iniciativas “baratas”. Se propugna el reciclado para el papel y el vidrio, la incineración para la materia orgánica y el plástico y el vertido para los materiales férricos.

Si bien más adelante incidiremos en este asunto, podemos ya introducir una primera crítica a este estudio. La metodología empleada para el cálculo de las opciones preferenciales, aunque se ha desarrollado correctamente desde un punto de vista técnico, muestra carencias de origen al no obtenerse los resultados esperados (subjetivamente preferidos por muchos técnicos expertos) para alguna fracción. Como ejemplo aclaratorio de esta idea, podemos mencionar la fracción orgánica de la basura. La opción considerada idónea para todas las opciones del conjunto eficiente obtenida en este estudio es la incineración con recuperación energética. Sin embargo, la realidad y lo que ampliamente está considerado adecuado para esta fracción es la técnica del compostaje. Esta afirmación se sustenta en factores como el reconocimiento del valor del compost como enmienda a los suelos o la preferencia social por el reciclado de todas las fracciones de la basura, incluida la orgánica. Desde la perspectiva técnica, esta misma idea contraria a la incineración se sustenta en que la recuperación energética que se puede obtener a partir de la materia orgánica de la basura es muy escasa, lo que hace poco viable técnica y económicamente⁶, a pesar de que la emisión de CO₂ a la atmósfera de esta opción sea favorable para el medioambiente. Ninguna de estas ideas se ha introducido en las premisas previas al cálculo de las opciones eficientes (sólo se han considerado el coste económico en euros y el impacto ambiental medido como efecto invernadero a través de la emisión de CO₂ a la atmósfera).

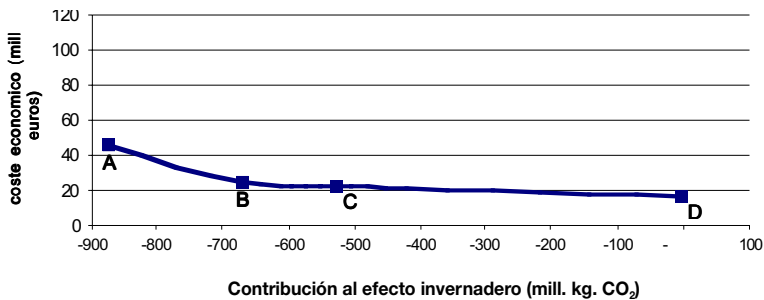
Algunos autores, como Renkow y Rubin (1998) discrepan de esta última afirmación. Sin embargo, estudiando los costes asociados a la técnica del compostaje, éstos justifican por qué creen que en muchas regiones de los EE.UU. está técnica no debe considerarse eficiente. No obstante, estudios análogos realizados en Eu-

6. Técnicamente no se considera viable la incineración de materiales con un contenido calórico inferior a 7 Megajulios por kilogramo (Mj/kg), límite al cual no llegan buena parte de los residuos orgánicos comúnmente generados (como media la materia orgánica tiene 4-7 Mj/kg). De hecho, la única posibilidad real de incinerar esta fracción de la basura doméstica es su mezcla con otras fracciones de alta capacidad calórica, como plásticos o papel (30 Mj/kg), que pueden hacer que la masa global a incinerar ronde los 20 Mj/kg como media. Por ello, se suele aceptar como la mejor opción la separación de la basura entre sus componentes de alto poder calórico (papel, plástico, textiles, etc.) de los de la materia orgánica (menor contenido energético); mientras que los primeros posibilitan una incineración técnicamente mucho más eficiente, para los segundos se plantean otras alternativas de gestión. Esta inconveniencia de incinerar materiales de bajo poder calórico, a pesar de su impacto positivo en relación al efecto invernadero, ha sido reconocido por la propia normativa alemana, la cual prohíbe incinerar materiales por debajo de 11 Mj/kg de media de contenido calórico. Losche (2001)

ropa sí se muestran favorables al desarrollo de las técnicas del compostaje. Como ejemplos tenemos a Turner (1995) o Berbel y Gómez-Limón (1997).

En cualquier caso y según hemos definido el contexto decisional en este trabajo, el conjunto de puntos eficientes vendría reflejado como se muestra en la Figura 2.

FIGURA 2
CONJUNTO DE PUNTOS EFICIENTES.



Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, a partir del Gráfico 2, podemos calcular dos puntos muy estudiados en la literatura multiobjetivo. Se define el “punto ideal” como la solución en la que todos los objetivos alcanzan un nivel óptimo. En nuestro estudio, el punto ideal consiste en alcanzar una emisión de CO₂ a la atmósfera de -873.785.817 kg (la correspondiente al punto A) con un coste asociado de 15.866.013 euros (coste del punto D). Pese a su usual inaccesibilidad, el “punto ideal” es de gran utilidad en el desarrollo de diversos métodos multiobjetivo, como la programación compromiso. Por otro lado, el peor elemento de cada columna de la matriz de pagos se denomina “punto anti-ideal”. Este punto corresponderá a la emisión de CO₂ del punto D y al coste del punto A (ya que se corresponden con los valores máximos de objetivos que tratamos de minimizar). Aunque parezca lo contrario, este punto también es de utilidad a los expertos en algunas de las técnicas de la teoría de la decisión multicriterio (Romero, 1993).

6.3. Aplicación de la técnica ELECTRE.

Como se ha desarrollado en el apartado 3, para poder aplicar el método ELECTRE y conseguir la ordenación de las cuatro alternativas (A,B,C,D) es neces-

rio que el centro decisor (en este caso, los propios autores) proporcione los pesos preferenciales que subjetivamente asocia a cada atributo. Si bien más adelante incidiremos en este tema, podemos suponer que el peso del factor económico y ambiental en la actualidad es similar, esto es, a ambos objetivos se les otorga un peso del 50%:

$$W = (w_1 = 0,5 ; w_2 = 0,5).$$

El siguiente paso es normalizar los elementos de la matriz decisional inicial. Para ello, se procede a dividir cada elemento de la matriz por su rango, esto es, la diferencia entre el ideal y el anti-ideal para el correspondiente atributo (Cuadro 11).

CUADRO 11
MATRIZ DECISIONAL NORMALIZADA.

Alternativas	Coste Económico	Coste Ambiental
A(14111)	1,523	1,002
B(14511)	0,803	0,767
C(14515)	0,716	0,603
D(14415)	0,523	0,002

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la matriz decisional normalizada, multiplicando cada columna de la misma por el peso preferencial correspondiente se obtiene la matriz decisional normalizada y ponderada.

CUADRO 12
MATRIZ DECISIONAL NORMALIZADA Y PONDERADA.

Alternativas	Coste Económico	Coste Ambiental
A(14111)	0,761	0,501
B(14511)	0,401	0,384
C(14515)	0,358	0,302
D(14415)	0,261	0,001

Fuente: Elaboración propia.

De la matriz decisional normalizada y ponderada se deducen los índices de discordancia de la siguiente manera: el índice de discordancia $d(i,k)$ entre las alternativas Z_i y Z_k se calcula como la diferencia mayor entre los criterios para los que la alternativa i está dominada por la j , dividiendo seguidamente dicha cantidad por la mayor diferencia en valor absoluto entre los resultados alcanzados por las alternativa i y la k . Como ejemplo, exponemos el cálculo del índice (B,A) .

$$\text{Indice}(B, A) = \frac{\max(0,401 - 0,706)}{\max(0,501 - 0,384; 0,761 - 0,401)} = 0,326$$

En definitiva, y una vez hechos los cálculos pertinentes, la matriz de índices de discordancia quedaría representada en el Cuadro 13.

CUADRO 13
MATRIZ DE ÍNDICES DE DISCORDANCIA.

A	B	C	D	
A	-	1,000	1,000	1,000
B	0,326	-	0,530	0,366
C	0,494	1,000	-	0,321
D	1,000	1,000	1,000	-

Fuente: Elaboración propia.

Si fijamos el umbral máximo del índice de discordancia (d) como la media de los diferentes elementos de la matriz, esto es, $d=0,753$ ya estaremos en condiciones de calcular la matriz de dominancia discordante. Cuando un elemento de la matriz sea menor que el valor umbral d en la correspondiente matriz se escribirá un uno, en caso contrario, se escribe un cero. Operando de tal manera obtenemos.

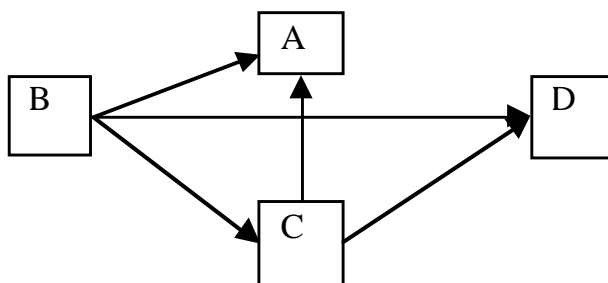
CUADRO 14
MATRIZ DE DOMINANCIA DISCORDANTE.

	A	B	C	D
A	-	0	0	0
B	1	-	1	1
C	1	0	-	1
D	0	0	0	-

Fuente: Elaboración propia.

De la matriz de dominancia discordante se obtiene, mediante un sencillo gráfico, una ordenación parcial de preferencias de las alternativas consideradas. Cada alternativa representa un vértice del grafo. Del vértice i al vértice k se traza un arco, si y sólo si el correspondiente elemento de la matriz de dominancia agregada es uno. El núcleo del grafo ELECTRE está formado por aquellas alternativas que no se dominan (sobreclasificadas) entre sí (esto es, no existen arcos entre los correspondientes vértices), quedando las demás alternativas dominadas por alguna alternativa del núcleo (Figura 3).

FIGURA 3
ORDENACIÓN PARCIAL DE PREFERENCIAS MEDIANTE GRAFO.



Fuente: Elaboración propia.

Para nuestro estudio, y para el valor umbral considerado, el núcleo está formado exclusivamente por la alternativa B (14511). Por consiguiente, esta alternativa es la más adecuada de las cuatro consideradas. La alternativa B es la que se considera como opción más favorable en términos económico-ambientales, valorando al 50% el peso de ambos factores. Esta opción (14511) supone que el papel debe reciclarse, la materia orgánica debe incinerarse con recuperación energética, el plástico debe ser llevado a vertedero y el vidrio y los materiales férricos reciclados.

6.4. Análisis de sensibilidad.

Un análisis adicional nos sirve para comprobar si la opción que ha resultado más favorable bajo las circunstancias iniciales (criterio económico basado en la minimización del coste y ambientalista basado en la minimización de la contribución al efecto invernadero, repartidos en importancia al 50%), debe considerarse la mejor en cualquier caso. Teniendo en cuenta que a lo largo de estos últimos años, la progresiva sensibilización de la población española hacia la conquista de un desa-

rollo sostenible ha ido demandado, cada vez con más fuerza, una adecuada actuación frente a aquellos hechos que venían a deteriorarlo, es lógico pensar que el peso preferencial del criterio ambiental vaya progresivamente incrementando su importancia respecto al criterio económico. En cualquier caso, y recalculando nuevamente la metodología ELECTRE para diferentes pesos preferenciales de las alternativas ambiental y económica, obtendríamos los resultados que se reflejan en el Cuadro 15.

CUADRO 15
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.

Peso criterio ambiental	Peso criterio económico	Opción favorable
0% - 18%	100 - 82%	D
19% - 29%	81% - 71%	VARIAS (D,C,B)
30% - 41%	70% - 59%	VARIAS (C,B)
42% - 68%	58% - 32%	B
69% - 83%	31% - 17%	VARIAS (B,A)
84% - 100%	16% - 0%	A

Fuente: Elaboración propia.

La opción D(14415), obtenida en el caso de predominio absoluto de los objetivos economicistas (como se comprueba en el Gráfico 2) opta por las soluciones más baratas (incineraciones y vertido), dejando de lado el problema ambiental. Resulta impactante e interesante comprobar cómo la alternativa que propugna esta opción para el plástico sea la incineración.

A medida que el peso del carácter ambiental va aumentando, las opciones preferenciales se desplazan por el conjunto eficiente hacia opciones más “caras”, pero menos contaminantes para el medio (menos emisiones de CO₂). Así, la opción C(14515), que basa su menor nivel contaminante respecto a la solución D en una gestión del plástico menos agresiva, se muestra como opción favorable para un intervalo del peso ambiental entre el 19% y el 41%. No obstante, ésta opción “convive” con otras, esto es, en ningún momento se presenta como la opción más adecuada en solitario.

Cuando el peso del criterio ambiental se va haciendo superior, las opciones B(14511) y A(14111) aparecen como las más convenientes. Tal y como se ha expuesto, para un 50% de importancia de cada factor, la opción B es la mejor (concretamente es la apropiada para el intervalo 42%-68%). Esto concuerda con el tipo de gestión que defiende esta opción (reciclado de varios materiales y un único vertido, para la fracción plástico).

Por fin, si el peso ambiental se hace mucho más importante que el económico (parece que es hacia donde se están desplazando las sociedades modernas), la opción que se hace más adecuada es la A(14111) que mayoritariamente opta por el reciclado de las diversas fracciones de la basura, con la excepción de la materia orgánica que debería incinerarse con recuperación energética.

En definitiva, a partir del Cuadro 15 y revisando la Figura 2, se puede comprobar como, con el paso de unos criterios puramente economicistas a otros más ambientalistas del problema de la gestión de los residuos, se produce una corriente de soluciones (D, C, B y finalmente A) que ponen de manifiesto la “preferencia” en este último caso de la opción de reciclado como la más atractiva para ser lo más compatible con el medioambiente.

7. LOS RESIDUOS URBANOS EN ANDALUCÍA: 1995 - 2005, EVOLUCIÓN Y PERSPECTIVAS.

No debemos olvidar que el propósito principal de nuestro estudio es analizar, conocidos los objetivos del Plan Andaluz de Residuos, su eficiencia en términos tanto económicos como ambientales. Por ello, y apoyándonos en los resultados anteriormente calculados, debemos estimar los valores de CE y EA en los años 1995 (real) y 2005 (previsto) para Andalucía y estudiar si pertenece o, por lo menos, se aproxima al conjunto de soluciones eficientes en relación a las opciones de tratamiento de R.U. Además los cambios planteados para el 2005 nos permitirán estudiar la evolución que está siguiendo la gestión de los R.U. en esta Comunidad Autónoma.

En el apartado 4 se analizaba la situación en relación a la gestión de los R.U. en Andalucía para los años 1995 y 2005. Calculado, de manera similar a la llevada a cabo con las diversas alternativas (apartado 6), los valores en cuanto a gestión económica (CE) y ambiental (EA) de esos momentos concretos de tiempo se obtienen los resultados globales que se aprecian en los Cuadros 16 y 17.

En el año 1995 la opción de vertido era la alternativa más utilizada. El sistema de gestión, basado en la recogida “todo en uno” y la falta de medios para la gestión adecuada de las diversas fracciones hacía que la eliminación en vertedero fuese la opción más viable de gestión.

CUADRO 16
GESTIÓN DE LOS RESIDUOS EN ANDALUCÍA. AÑO 1995.

FRACCION	Opción	Coste (euros)	Emisión (kg CO ₂)
Papel	5% reciclado		
	95% vertido	14.731.378	296.607.263
M. Orgánica	25% compostado		
	75% vertido	51.951.672	546.800.694
Plástico	10% reciclado		
	90% vertido	13.113.302	- 18.108.846
Vidrio	10% reciclado		
	90% vertido	5.778.615	- 4.729.904
Metales	10% reciclado		
	90% vertido	2.908.192	- 13.757.259
TOTAL		88.483.160	806.811.948

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 17
GESTIÓN DE LOS RESIDUOS EN ANDALUCÍA. AÑO 2005.

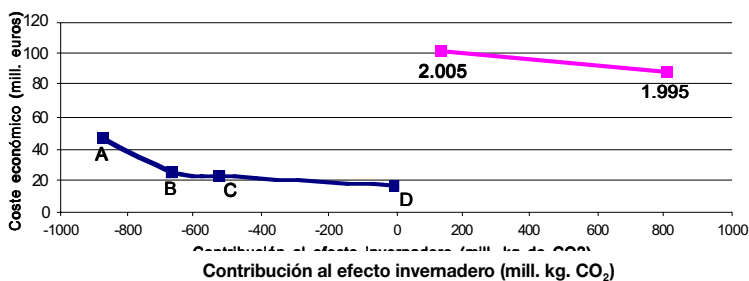
FRACCION	Opción	Coste (euros)	Emisión (kg CO ₂)
Papel	45% reciclado		
	55% vertido	2.154.391	56.247.078
M. Orgánica	75% compostado		
	25% vertido	72.134.336	214.160.490
Plástico	35% reciclado		
	65% vertido	18.577.178	- 69.235.114
Vidrio	35% reciclado		
	65% vertido	5.457.581	- 13.750.964
Metales	35% reciclado		
	65% vertido	3.569.145	- 49.566.734
TOTAL		101.892.632	137.854.756

Fuente: Elaboración propia.

La situación prevista para el año 2005 es la que se desarrolla en el Plan Andaluz de Residuos. Según las alternativas propuestas en el mismo, se consolidan la minimización, el reciclaje y el compostaje como las opciones más aceptadas para el tratamiento de los residuos.

En definitiva, estos valores enfrentados al conjunto eficiente (puntos A, B, C y D) nos muestran la Figura 4:

FIGURA 4
CONJUNTO EFICIENTE VS. GESTIÓN RESIDUOS ANDALUCÍA. 1995-2005.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4 se puede observar cómo la situación de la gestión de R.U. en Andalucía en ambos momentos está lejos del conjunto eficiente antes calculado (alternativas con mejor relación entre los criterios economicista y ambientalista). No obstante, sí se puede observar cierta evolución positiva al producirse un sensible “acercamiento” a este conjunto eficiente. Concretamente, se produce un incremento del coste y, en mayor medida, una disminución del impacto sobre el medio en cuanto a emisión de CO₂ a la atmósfera. Porcentualmente se puede cifrar este cambio en la medida del Cuadro 18.

CUADRO 18
EVOLUCIÓN DE LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS EN ANDALUCÍA (1995-2005).

Factor	Cifras absolutas	Porcentaje sobre 1995
Decremento de emisión	668,96 millones kg de CO ₂	82,91%
Incremento de coste	13,41 millones euros	15,15%

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, no sólo se produce una aproximación a la línea eficiente, sino que esta evolución sigue la misma tendencia comentada en el apartado 6.4. cuando realizamos el análisis de sensibilidad. Es decir, la posición del año 2005 se acerca a soluciones más ambientalistas que la que había en el año 1995, lo que trae consigo un mayor coste financiero.

Si bien estos datos no parecen ser del todo positivos (alejamiento de las opciones eficientes), debemos matizar la idea de que las opciones de gestión de residuos que se desarrollan en Andalucía no son las adecuadas. En este sentido, tal y como ya se ha apuntado, se ha analizado la cuestión únicamente bajo dos objetivos: uno económico (coste de la gestión medido en euros) y otro ambiental (emisión atmosférica de CO₂ medido en kg). Sin embargo, recordando lo comentado en el apartado 5, existen otras posibilidades para medir la eficiencia de un determinado plan. La incorporación de nuevos objetivos provocaría una redefinición del conjunto eficiente, que puede hacer que la situación real de la gestión de residuos en Andalucía esté mucho más próxima a la eficiencia.

Por ejemplo, uno de los aspectos que no se han tratado en los objetivos iniciales de este artículo es el empleo generado por las distintas opciones de tratamiento de los residuos. Dado que las opciones de reciclado material son las más intensivas en trabajo, está claro que si uno de los objetivos incorporados al modelo hubiese sido el empleo que genera cada opción, en el conjunto de soluciones eficientes (que ahora tendría tres dimensiones), estarían presentes las alternativas de compostaje de la materia orgánica y el reciclado de materiales.

Otro de los aspectos a introducir en el análisis podría ser la mejora de la calidad de las tierras andaluzas (medida en porcentaje de materia orgánica del suelo, deficitario en la actualidad). Si pudiésemos cuantificar en qué medida contribuiría cada tratamiento posible para la fracción orgánica de la basura en la consecución de este objetivo, muy probablemente la opción de compostar materia orgánica fuese la resultante en los hipotéticos puntos que conformasen el conjunto eficiente de esa situación. Solucionar el déficit crónico de contenido de materia orgánica del suelo andaluz (paliado con la técnica del compostaje de la fracción orgánica) hace que esta alternativa haya sido la escogida por los dirigentes autonómicos a pesar del mayor coste económico respecto a la incineración.

Como último ejemplo, también cabría mencionar las distintas variables que se pueden emplear para medir el impacto ambiental. Además de mediante el efecto invernadero este objetivo ambiental se podría haber cuantificado a través de la cantidad de dioxinas o furanos emitidos. En este sentido, es más que probable que dentro del conjunto eficiente no apareciera ninguna opción que fomentase la incineración de plásticos (como ocurre en el punto D).

Si existiese la posibilidad de calcular el conjunto eficiente n-dimensional resultante de introducir los tres objetivos anteriores (empleo, materia orgánica en los

suelos y emisiones de dioxinas y furanos) es muy probable que la situación del conjunto eficiente estuviese mucho más próxima a la situación real (1995) y esperada (2005) para el conjunto de la Comunidad Andaluza.

8. CONCLUSIONES.

Una vez desarrollada la metodología y expuestos los resultados obtenidos en la investigación, podemos desprender una serie de conclusiones enumeradas a continuación:

1. El resultado de calcular el impacto económico y ambiental de todas las alternativas de gestión de residuos (reciclar, compostar, biometanización, incineración y vertido) para las fracciones más importantes de la basura (papel, materia orgánica, plástico, vidrio y materiales férricos), ha sido la obtención de una nube de puntos en un diagrama cartesiano. Se ha obtenido el cálculo para un conjunto de 192 opciones que hemos considerado “factibles” para la gestión de los R.U. Dentro de estas soluciones posibles, se ha determinado un conjunto de cuatro soluciones que dominan a las demás (A, B, C y D), al que se ha denominado conjunto eficiente. La metodología ELECTRE ha permitido, en función del peso preferencial otorgado tanto al objetivo económico como al ambiental, priorizar los elementos de dicho conjunto eficiente.

2. Comprobamos cómo esta solución ideal cambia a medida que modificamos el peso de algún criterio respecto al otro. Si el valor del criterio ambiental aumenta (que es lo que las sociedades desarrolladas manifiestan), se observa cómo se tiende hacia opciones más caras pero más benévolas con el medioambiente, concretamente primando la opción del reciclaje.

3. La situación de la gestión de los residuos en la Comunidad Autónoma Andaluza tanto en el año 1995 como en 2005 muestra, para los objetivos minimización del coste económico (medido en euros) y minimización del impacto ambiental (medido en emisión de kg de CO₂), un posicionamiento alejado del conjunto eficiente. El coste económico y ambiental del tratamiento de los R.U. que se lleva a cabo en esta Comunidad indica la elección de unas soluciones dominadas. Se observa cómo el paso de los años producirá un acercamiento al conjunto eficiente al tiempo que se opta por soluciones más ambientalistas. Andalucía no se ha escapado a esta corriente “ambiental” que trata de minimizar el impacto de la gestión de los R.U. sobre el medio.

4. El aumento del empleo, la mejora del contenido en materia orgánica en el suelo (como protector contra la erosión, como “almacén” de CO₂ en su biomasa o

como favorecedor del aumento de la fertilidad natural) o la minimización del impacto ambiental cuantificado en otros términos (como kg de dioxinas y furanos emitidos a la atmósfera) son objetivos no considerados en este estudio y que pueden hacer variar sensiblemente los elementos del conjunto eficiente. Esta posibilidad alimenta la opinión generalizada de que técnicas mejor consideradas en Andalucía como el compostaje de la fracción orgánica pueda aparecer como alternativa eficiente⁷. Con ello, la propuesta del Plan Andaluz de Residuos probablemente tendría un mayor nivel de eficiencia.

5. En base a las anteriores conclusiones se puede sostener que se ha cumplido con el objetivo principal que se marcaba este trabajo. Se ha analizado el conflicto de objetivos públicos presente en la toma de decisiones relativa al tratamiento de los residuos urbanos, en concreto, los relacionados con criterios económicos (minimización del coste) y los ambientales (minimización de la contribución al efecto invernadero debido a emisiones de CO₂) que las distintas opciones de tratamiento plantean. En este análisis se han deducido las alternativas de tratamiento de residuos eficientes, segregándolas de las alternativas dominadas y, en base a la propuesta de tratamiento planteada por el Plan Andaluz de Residuos, determinar su nivel de eficiencia final. No obstante, como ahora se apunta, se trata de un primer avance de resultados de una investigación que requiere mayores desarrollos, tanto a nivel teórico como operativo.

6. El análisis del impacto de las actividades industriales en el Protocolo de Kioto⁸ y el cumplimiento de los compromisos adquiridos por nuestro país⁹ requieren de un análisis de la generación de CO₂ de cada alternativa de gestión. Sin embargo, la contabilidad de este parámetro (emisión de CO₂) está cargada de juicios de valor y de decisiones éticas. Un ejemplo de esta afirmación es el hecho de que la incineración haya salido bien parada en nuestro análisis. Esto se debe a que hemos usado un dato de poder calorífico y de ahorro de emisiones derivado del

7. Nuestra investigación pretende continuar trabajando en esta línea, intentando incluir y cuantificar otros criterios sociales (como el empleo) o ambientales (biomasa del suelo) en la valoración de los Planes de Gestión de Residuos. En esta materia se debería continuar las líneas apuntadas por Berbel *et al.* (2000), quienes cuantifican el empleo que se espera en los próximos años en el sector del medio ambiente urbano especialmente en el campo de residuos, y de Berbel y Gómez-Limón (1997), quienes realizan un análisis económico del reciclaje de la fracción orgánica de los R.U. por el
8. Los compromisos adquiridos con la firma del Protocolo de Kioto (1997) por la Unión Europea establecen una reducción de un 8% en las emisiones conjuntas de seis gases (CO₂, CH₄, N₂O, compuestos perfluorocarbonados (PFC), compuestos hidrofluorocarbonados (HFC) y hexafluoruro de azufre) respecto a las de 1990, durante el periodo 2008-2012. En conjunto, la reducción global acordada es de un 5,2% para los países industrializados. El Protocolo no obliga en una primera fase a los países en desarrollo, dadas sus menores emisiones por habitante.
9. España tiene un compromiso adquirido con la Unión Europea para el logro de los objetivos comunes firmados en el Protocolo de Kioto de 1997, en la que establece un tope del 15% de aumento de emisiones de CO₂ equivalentes entre 1990 y el 2010.

'*product mix*' actual de generación de electricidad, aunque cabría hacerse varias preguntas en este sentido: ¿la incineración de RSU es una energía renovable?, ¿la incineración sustituye a la generación de electricidad según la media actual (con un peso fuerte de centrales térmicas) o está sustituyendo energías limpias como la eólica? En este último caso, ¿cabe imputar ahorro de emisión?, ¿es justo usar el dato del poder calorífico medio de los RSU, o hay que especificar para cada fracción su contenido calorífico? De la misma forma, para este último caso, ¿cabe imputar ahorro energético a la suma de la fracción orgánica cuyo contenido calorífico es más bien escaso? Hay más preguntas y líneas de investigación que este trabajo ha generado en los autores, y que creemos son interesantes para futuros estudios.

BIBLIOGRAFIA

- AEA Technology (2000): *Waste Management Options And Climate Change. Working Document for Report to the EC DG Environment.*
- BENAYUON R.; ROY, B.; SUSSMAN, B. (1966): *Electre: Une Methode pour Guider le Choix en Presence de Vue Multiples.* Paris. Sema (Metra International), Direction Scientifique.
- BERBEL J.; DIZ J.; NAVARRO C. (1999): *Presente y Futuro de la Recogida de Residuos Urbanos.* Córdoba. Ed. Ilustres.
- BERBEL, J.; GÓMEZ-LIMÓN, J.A. (1997): "Análisis Coste/Beneficio de la Producción de Compost". En *Energía de la Biomasa: Realidades y Perspectivas.* Córdoba. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba, pp 63-83.
- BERBEL, J.; ORTIZ, J.M. y PEÑUELAS, J.M. (2000): *Análisis del Empleo y Medio Ambiente Urbano.* Tercer Premio del Excmo. Ayuntamiento de Sevilla en el X Premio de Investigación Medio Ambiente Urbano de Sevilla.
- CANO ORELLANA, A. (1999): "Indicadores de sostenibilidad. La necesidad de indicadores de síntesis". En *Jornadas de Estadística Pública: Estadística y Medioambiente.* Instituto de Estadística de Andalucía.
- DECRETO 218/1999 (BOJA nº 134/1999 de 26 de octubre). *Por el que se aprueba el Plan Director Territorial de Gestión de Residuos Urbanos de Andalucía.*
- ESCUADERO, J.; VELASCO, A. (1999): "El Sistema de Indicadores Ambientales de Vitoria-Gasteiz: Una Herramienta hacia la Sostenibilidad". En *Jornadas de Estadística Pública: Estadística y Medioambiente.* Instituto de Estadística de Andalucía.
- HUMMEL, J (2000): "¿Cuánto Cuesta Reciclar los Residuos Domésticos?". *Warmer.* Madrid. Publicación del Club Español de los Residuos Nº 75, pp 3-5.
- LOSCHÉ, J. (2001): " *Comments to Waste Management Options and Climate* ". Comunicación Personal.
- NIETO, J. (1998): "El Significado de Kioto: Evolución de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en España". *World Watch*, nº5.
- RENKOW, M.; RUBIN, R. (1998): "Does Municipal Solid Waste Composting Making Economic Sense?". *Journal Of Environmental Management*, nº 53, pp 339-347.
- ROMERO, C. (1993): *Teoría De La Decisión Multicriterio: Conceptos, Técnicas y Aplicaciones.* Madrid. Alianza Universidad Textos.
- ROY, B. (1971): "Problems and Methods with Multiple Objectives Functions". *Mathematical Programming*, vol. 1, pp 239-266.
- TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN H.; VIGIL S. (1996): *Gestión Integral de Residuos Sólidos.* Madrid. Ed. McGraw-Hill.
- TURNER, K. (1.995): "Waste Management". *Principles of Environmental and Resource Economics.* Aldershot, Ed. Edward Elgar, pp 440-466.

ANEXO I.
COSTE AMBIENTAL Y ECONÓMICO DE LAS ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.

OPCION	ECONOMICO (Euros)	AMBIENTAL (kg CO ₂)	OPCION	ECONOMICO (Euros)	AMBIENTAL (kg CO ₂)
12111	109.009.991	-630.098.837	42111	131.718.439	-523.543.813
12115	106.366.180	-486.860.936	42115	129.074.628	-380.305.912
12151	111.150.219	-569.958.432	42151	133.858.667	-463.403.408
12155	108.506.408	-426.720.531	42155	131.214.856	-320.165.507
12411	81.300.334	98.938.330	42411	104.008.782	205.493.354
12415	78.656.523	242.176.231	42415	101.364.971	348.731.255
12451	83.440.562	159.078.735	42451	106.149.010	265.633.759
12455	80.796.751	302.316.636	42455	103.505.199	408.871.660
12511	87.154.487	-425.593.764	42511	109.862.935	-319.038.740
12515	84.510.676	-282.355.863	42515	107.219.124	-175.800.839
12551	89.294.715	-365.453.360	42551	112.003.163	-258.898.336
12555	86.650.904	-222.215.459	42555	109.359.352	-115.660.435
13115	79.455.962	-667.757.406	43115	102.164.409	-561.202.382
13151	84.240.000	-750.854.902	43151	106.948.448	-644.299.878
13155	81.596.189	-607.617.001	43155	104.304.637	-501.061.977
13411	54.390.116	-81.958.140	43411	77.098.563	24.596.884
13415	51.746.305	61.279.761	43415	74.454.752	167.834.785
13451	56.530.344	-21.817.735	43451	79.238.791	84.737.289
13455	53.886.533	121.420.166	43455	76.594.980	227.975.190
13511	60.244.269	-606.490.234	43511	82.952.716	-499.935.210
13515	57.600.458	-463.252.333	43515	80.308.905	-356.697.309
13551	62.384.496	-546.349.830	43551	85.092.944	-439.794.806
13555	59.740.686	-403.111.929	43555	82.449.133	-296.556.905
14111	46.219.481	-873.785.817	44111	68.927.929	-767.230.793
14115	43.575.670	178.419.471	44115	66.284.118	284.974.495

Continúa...

ANEXO I.
COSTE AMBIENTAL Y ECONÓMICO DE LAS ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.

OPCION	ECONOMICO (Euros)	AMBIENTAL (kg CO ₂)	OPCION	ECONOMICO (Euros)	AMBIENTAL (kg CO ₂)
14151	48.359.709	-813.645.413	44151	71.068.157	-707.090.389
14155	45.715.898	-670.407.512	44155	68.424.346	-563.852.488
14411	18.509.824	-144.748.650	44411	41.218.272	-38.193.626
14415	15.866.013	-1.510.749	44415	38.574.461	105.044.275
14451	20.650.052	-84.608.246	44451	43.358.500	21.946.778
14455	18.006.241	58.629.655	44455	40.714.689	165.184.679
14511	24.363.977	-669.280.745	44511	47.072.425	-562.725.721
14515	21.720.166	-526.042.844	44515	44.428.614	-419.487.820
14551	26.504.205	-609.140.340	44551	49.212.653	-502.585.316
14555	23.860.394	-465.902.439	44555	46.568.842	-359.347.415
15111	68.644.663	35.181.570	45111	91.353.111	141.736.594
15115	66.000.852	178.419.471	45115	88.709.300	284.974.495
15151	70.784.891	95.321.975	45151	93.493.339	201.876.999
15155	68.141.080	238.559.876	45155	90.849.528	345.114.899
15411	40.935.006	764.218.737	45411	63.643.454	870.773.761
15415	38.291.195	907.456.638	45415	60.999.643	1.014.011.662
15451	43.075.234	824.359.142	45451	65.783.682	930.914.166
15455	40.431.423	967.597.043	45455	63.139.871	1.074.152.067
15511	46.789.159	239.686.643	45511	69.497.607	346.241.667
15515	44.145.348	382.924.544	45515	66.853.796	489.479.567
15551	48.929.387	299.827.047	45551	71.637.835	406.382.071
15555	46.285.576	443.064.948	45555	68.994.024	549.619.972
32111	145.692.868	-443.190.844	52111	140.452.457	-29.198.374
32115	143.049.057	-299.952.943	52115	137.808.646	114.039.527
32151	147.833.096	-383.050.439	52151	142.592.685	30.942.030

Continúa...

ANEXO I.
COSTE AMBIENTAL Y ECONÓMICO DE LAS ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.

OPCION	ECONOMICO (Euros)	AMBIENTAL (kg CO ₂)	OPCION	ECONOMICO (Euros)	AMBIENTAL (kg CO ₂)
32155	145.189.285	-239.812.538	52155	139.948.874	174.179.931
32411	117.983.211	285.846.323	52411	112.742.800	699.838.793
32415	115.339.401	429.084.224	52415	110.098.990	843.076.694
32451	120.123.439	345.986.728	52451	114.883.028	759.979.197
32455	117.479.628	489.224.629	52455	112.239.217	903.217.098
32511	123.837.364	-238.685.771	52511	118.596.953	175.306.698
32515	121.193.553	-95.447.870	52515	115.953.142	318.544.599
32551	125.977.592	-178.545.367	52551	120.737.181	235.447.103
32555	123.333.781	-35.307.466	52555	118.093.370	378.685.004
33111	118.782.650	-624.087.314	53111	113.542.239	-210.094.844
33115	116.138.839	-480.849.413	53115	110.898.428	-66.856.943
33151	120.922.877	-563.946.910	53151	115.682.466	-149.954.440
33155	118.279.067	-420.709.009	53155	113.038.656	-6.716.539
33411	91.072.993	104.949.853	53411	85.832.582	518.942.323
33415	88.429.182	248.187.754	53415	83.188.771	662.180.224
33451	93.213.221	165.090.257	53451	87.972.810	579.082.727
33455	90.569.410	308.328.158	53455	85.328.999	722.320.628
33511	96.927.146	-419.582.242	53511	91.686.735	-5.589.772
33515	94.283.335	-276.344.341	53515	89.042.924	137.648.129
33551	99.067.374	-359.441.837	53551	93.826.963	54.550.633
33555	96.423.563	-216.203.936	53555	91.183.152	197.788.534
34111	82.902.358	-686.877.824	54111	77.661.947	-272.885.355
34115	80.258.547	365.327.464	54115	75.018.136	779.319.934
34151	85.042.586	-626.737.420	54151	79.802.175	-212.744.950
34155	82.398.775	-483.499.519	54155	77.158.364	-69.507.049

Continúa...

ANEXO I.
COSTE AMBIENTAL Y ECONÓMICO DE LAS ALTERNATIVAS DE GESTIÓN
(Conclusión).

OPCION	ECONOMICO (Euros)	AMBIENTAL (kg CO ₂)	OPCION	ECONOMICO (Euros)	AMBIENTAL (kg CO ₂)
34411	55.192.701	42.159.343	54411	49.952.290	456.151.812
34415	52.548.890	185.397.244	54415	47.308.479	599.389.713
34451	57.332.929	102.299.747	54451	52.092.518	516.292.217
34455	54.689.118	245.537.648	54455	49.448.707	659.530.118
34511	61.046.854	-482.372.752	54511	55.806.443	-68.380.282
34515	58.403.043	-339.134.851	54515	53.162.632	74.857.619
34551	63.187.082	-422.232.347	54551	57.946.671	-8.239.877
34555	60.543.271	-278.994.446	54555	55.302.860	134.998.023
35111	105.327.540	222.089.563	55111	100.087.129	636.082.033
35115	102.683.729	365.327.464	55115	97.443.318	779.319.934
35151	107.467.768	282.229.967	55151	102.227.357	696.222.437
35155	104.823.957	425.467.868	55155	99.583.546	839.460.338
35411	77.617.883	951.126.730	55411	72.377.472	1.365.119.200
35415	74.974.072	1.094.364.631	55415	69.733.661	1.508.357.101
35451	79.758.111	1.011.267.134	55451	74.517.700	1.425.259.604
35455	77.114.300	1.154.505.035	55455	71.873.889	1.568.497.505
35511	83.472.036	426.594.635	55511	78.231.625	840.587.105
35515	80.828.225	569.832.536	55515	75.587.814	983.825.006
35551	85.612.264	486.735.040	55551	80.371.853	900.727.510
35555	82.968.453	629.972.941	55555	77.728.042	1.043.965.411

Fuente: Elaboración Propia