

Trabajo Fin de Máster

Máster en Ingeniería Ambiental

Análisis de alternativas para la Gestión de residuos (Envases plásticos) en el área de Sevilla

Autora: Ana M^a Lozano Fernández

Tutor: Pedro García Haro

MÁSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL
DEP.DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Sevilla,2016



Proyecto Fin de Máster
Máster en Ingeniería Ambiental

Análisis de alternativas para la Gestión de residuos (Envases plásticos) en el área de Sevilla

Autora:

Ana M^a Lozano Fernández

Tutor:

Pedro García Haro

Investigador Post-doctoral

Departamento de Ingeniería Química y Ambiental

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016

Mi sincero agradecimiento a Pedro, tutor de este trabajo, por su apoyo y dedicación constante a lo largo de la realización del mismo.

Mención especial a mis padres que han sido mi apoyo durante todos estos años de aprendizaje y un ejemplo de superación y esfuerzo. Sin olvidar a la persona que ha estado en todo momento a mi lado ante cualquier adversidad, María.

Resumen

La situación actual de la sociedad española y sevillana tiene una gran problemática respecto a la gestión de residuos urbanos que la Administración debe resolver; ya que, aproximadamente dos terceras partes de los residuos urbanos no son reciclados ni valorados, y tienen como destino los vertederos. Los datos de reciclaje con el modelo de gestión de residuos actual, siguen siendo valores muy mejorables si los comparamos con otros países europeos.

Ante esta problemática, se ha planteado en este trabajo buscar soluciones técnicas para aumentar la valorización y reciclaje de los residuos urbanos, particularmente de los residuos de envase (plásticos). Y, así, reducir las cantidades de este tipo de residuo, que en el caso del área de Sevilla serían destinadas a vertedero.

El estudio se ha realizado para el entorno urbano de Sevilla ciudad y su área metropolitana, con el objetivo de poder implantar a corto plazo la alternativa escogida para solventar el problema de la gestión de residuos en esta área con la mayor brevedad posible.

La ciudad de Sevilla está situada al suroeste de la Península Ibérica, en la Comunidad Autónoma de Andalucía. Es la cuarta ciudad de España en cuanto al número de habitantes, alrededor de 700.000 en el término municipal. Contando con los municipios del área metropolitana el número de habitantes ronda el millón y medio. La población total de la capital y de los 105 pueblos de la provincia está repartida en un área de 14.042 kilómetros cuadrados.

Las alternativas planteadas en este proyecto, han sido tres, principalmente:

- **Alternativa número 1:** Conlleva actuar tanto en el contenedor amarillo como en el contenedor gris. Con esta alternativa, el PET y PVC se destinarían a vertedero, el HDPE, LDPE y PS a valorización energética de alta calidad y el PP a reciclaje. Por último, la fracción “otros” del contenedor amarillo junto con los envases del contenedor gris, sería destinada a incineración con recuperación energética. De modo que empleando esta alternativa tan solo el 2,57 % de los residuos, serían depositados en vertedero. Se pretende alcanzar el máximo reciclaje, sin necesidad de cambiar hábitos de los ciudadanos, implantar nuevas leyes reguladoras ni alterar el sistema actual de recogida de residuos.
- **Alternativa número 2:** Esta alternativa consiste en incinerar recuperando energéticamente tanto los envases depositados en el contenedor gris, como aquellos depositados en el contenedor amarillo, excluyéndose de este último dos fracciones: PET y PVC.
- **Alternativa número 3:** Mediante este modelo, Lipasam es la entidad encargada de la gestión de las fracciones papel-cartón, materia orgánica y restos. El resto de residuos se gestiona mediante un SDDR, donde la responsabilidad de la gestión es del fabricante y del consumidor. Este sistema de Depósito, Devolución y Retorno, engloba envases de PET, HDPE, botellas de vidrio, bricks y envases de aluminio.

Ante el estudio de todas las soluciones posibles y planteadas, se ha determinado que la opción más interesante para resolver la situación actual es la alternativa número 1.

Los procesos, en comparación con las otras alternativas propuestas, se verían simplificados ya que todos los residuos serían gestionados a través de un mismo sistema. En cuanto a costes se refiere, la implantación y la operación de esta alternativa no supondría un coste de inversión adicional para las plantas actuales. El importe que los ciudadanos pagarían por la gestión de cada envase oscilaría los 0,008 céntimos de euro, importe actual de la gestión de envases.

Para la valoración discriminante entre las tres alternativas, se procede a analizar el escenario técnico, económico, social, normativo y ambiental de cada una de ellas.

También se han realizado balances de materia y/o energía para cada una de las alternativas propuestas, con el fin de conocer la cantidad de residuos de envases que serían destinados a cada ámbito.

Abstract

The current situation of the Spanish and Sevillian society is difficult regarding the management of urban waste that politicians must solve, since approximately two thirds of municipal waste are not recycled or valued, and are destined for landfills. Nowadays, recycling data Spanish model is far from those of the rest of European countries.

Faced with this problem, we have been raised in this paper technical solutions to increase the recovery and recycling of urban waste, particularly packaging waste. And so, reduce the quantities of this type of waste, which would be destined to landfill.

The study is focussed on the urban environment of Seville city and its metropolitan area, with the aim to implement short-term alternative to solve the problem of waste management in this area as soon as possible.

Seville is located southwest of the Iberian Peninsula, in the region of Andalusia. It is the fourth largest city in Spain in terms of the number of inhabitants, around 700,000 in the municipality. The total population of the capital and 105 villages in the province is spread over an area of 14,042 square kilometers.

There are mainly three alternatives proposed in this project:

- Alternative No. 1: It involves action both in the yellow container and grey container. With this alternative, the PET and PVC would go to landfill, HDPE, LDPE and PS to high quality energy recovery and recycling PP. Finally, the fraction "other" yellow container with grey packaging container, would be destined to incineration with energy recovery. Therefore, using this alternative only 2.57% of the waste would be landfilled. It aims to achieve maximum recycling, without changing habits of citizens, implements new regulatory laws or alters the current system of waste collection.
- Real alternative No. 2: This alternative is recovering both energy incinerate containers deposited in the grey container, such as those deposited in the yellow container, only excluding two fractions: PET and PVC.
- Alternative No. 3: Using this model, Lipasam is the entity responsible for managing the fractions of paper, cardboard, organic matter and debris. The remaining waste is managed through a deposit system where the manufacturer and the consumer are the main responsables. This system of Deposit and Return, includes PET containers, HDPE, glass bottles, cartons and aluminum containers.

To study all possible and proposed solutions, it has been believed that the most interesting option to resolve the current situation could be the first alternative.

Processes, compared to the other alternatives proposed, would be simplified since all waste would be managed through one system. Regarding costs are concerned, the implementation and operation of this alternative would cost additional investment for existing plants. The cost of each package would be 0,008 cents.

In order to discriminate among the three alternatives, I have studied the technical, economic, social, regulatory and environmental aspects of each stage.

There have also been mass balances and / or energy for each of the proposed alternatives to know the amount of packaging waste that would be allocated to each area.

Índice

Resumen	vi
Abstract	vii
Índice	ix
Índice de Tablas	xi
Índice de Figuras	xiii
1 Alcance y Objetivos	1
1.1 Alcance	1
1.2 Objetivos	2
2 Introducción	3
2.1 Gestión de residuos en Europa	3
2.2 Gestión de residuos en España	5
2.3 Gestión de residuos en Andalucía	5
2.4 Gestión de residuos en Sevilla	6
2.4.1 Lipasam:	6
2.4.2 Mancomunidad del Guadalquivir:	8
2.4.3 Mancomunidad de los Alcores:	8
2.4.4 Mancomunidad de la Vega:	8
2.5 Tecnologías de gestión de residuos	10
2.5.1 Tecnologías de valorización de residuos plásticos	10
2.6 Modelo de segregación de RSU selectivos	21
2.6.1 Modelo 3 Fracciones	21
2.6.2 Modelo 4 Fracciones	22
2.6.3 Modelo 5 Fracciones	22
2.6.4 Residuo Mínimo	23
2.6.5 Multiproducto	23
2.6.6 Modelo 3 Fracciones + SDDR	24
3 Metodología	26
3.1 Balance de material - Sevilla ciudad	26
3.2 Balance de material - Sevilla provincia	28
3.3 Balance de materia Incineración	29
3.4 Balance de material- Alternativa número 1	29
3.5 Balance de Materia –Alternativa número 2	31
3.6 Balance de Materia –Alternativa número 3	32
4 Descripción de los casos base	32
4.1 Sistema Integrado de Gestión	33
4.2 Incineración	36
5 Alternativas propuestas	38
5.1 Alternativa número 1	39
5.2 Alternativa número 2	42

5.3	<i>Alternativa número 3</i>	44
6	Evaluación de las alternativas	48
6.1	<i>Alternativa seleccionada. Propuesta contenedor amarillo y gris</i>	49
6.1.1	Escenario técnico	49
6.1.2	Escenario económico	49
6.1.3	Escenario ambiental	49
6.1.4	Escenario social y normativo	51
6.2	<i>Alternativa número 2. Incineración con recuperación energética</i>	53
6.2.1	Escenario técnico	53
6.2.2	Escenario económico	53
6.2.3	Escenario ambiental	54
6.2.4	Escenario social y normativo	54
6.3	<i>Alternativa número 3. SDDR +3 fracciones</i>	55
6.3.1	Escenario técnico	55
6.3.2	Escenario económico	55
6.3.3	Escenario ambiental	57
6.3.4	Escenario social y normativo	59
7	Conclusiones y estudios futuros	60
8	Referencias	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de residuos recogidos selectivamente, recuperados y destinados a vertedero por provincias.Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio	6
Tabla 2.Evolución recogida selectiva de envases en Sevilla (1.987-2.015). Fuente: Lipasam	7
Tabla 3. Fracciones de los modelos de segregación más utilizados en España. Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente	25
Tabla 4.Valores entradas de residuos a las instalaciones de Montemarta Cónica. Fuente: Lipasam	26
Tabla 5.Valores de entradas de residuos en plantas de recuperación y compostaje, compost producido y rechazo. Fuente: PDTGRU	26
Tabla 6. Valores reciclaje fracción másica seca. Fuente: Perugini et al.(2005); Giugliano et al.(2011)	27
Tabla 7.Valores en fracción másica a la salida de la planta PRYC. Fuente: PDTGRU de Andalucía para la planta Montemarta Cónica	27
Tabla 8.Valores en fracción másica de pérdidas y rechazos a la salida de la planta PRYC. Fuente: PDTGRU Andalucía	27
Tabla 9. Datos de recogida selectiva en contenedores durante el año 2008.Fuente: PDTGRU	28
Tabla 10. Valores de entras de residuos en plantas de recuperación y compostaje, compost producido y rechazo.PDTGRU	28
Tabla 11.Características planta de SOGAMA. Fuente: Aeversu	29
Tabla 12. Demanda según tipo de plástico. Fuente: “<i>Plastics-the facts 2015</i>” (PlasticsEurope)	30
Tabla 13. Valores planta de SOGAMA.Fuente: Aeversu	31
Tabla 14.Valores entradas de residuos a la planta de reciclaje.Fuente: Lipasam	33
Tabla 15. Valores reciclaje fracción seca. Fuente: Perugini et al.(2005); Giugliano et al.(2011)	34
Tabla 16.Valores de entradas de residuos en plantas de recuperación y compostaje, compost producido y rechazo. Plan Andaluz de RRNNPP	34
Tabla 17.Valores a la salida de la planta PRYC. Fuente: PDTGRU de Andalucía para la planta Montemarta Cónica	35
Tabla 18.Valores de pérdidas y rechazos a la salida de la planta PRYC. Fuente: PDTGRU Andalucía	35
Tabla 19. Efectos asociados a cada alterna	48
Tabla 20. Impacto del SIG para cada categoría ambiental como resultado de la etapa de caracterización del ACV para la recuperación del 55%. Fuente: Inédit	50
Tabla 21. Fortalezas y debilidades del SIG	52
Tabla 22. Presupuesto parcial de la construcción de una planta de incineración con recuperación energética diseñada con una capacidad de incineración de 225.360ton/año. Fuente: Planta de recuperación de residuos sólidos urbanos con recuperación energética, Alberto Romero Sánchez, 2007	53

Tabla 23. Fortalezas y debilidades sistema de incineración actual	54
Tabla 24. Fortalezas y debilidades sistema de incineración con recuperación energética	54
Tabla 25. Impacto del SDDR para cada categoría ambiental como resultado de la etapa de caracterización del ACV para la recuperación del 55%.Fuente: Inédit	57
Tabla 26. Fortalezas y debilidades. Sistema SDDR + 3 fracciones	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Jerarquía de gestión de residuos según Directiva Marco de Residuos 2008/98/CE. Fuente: Chipala medioambiente	3
Figura 2. Tratamiento de residuos en Europa en 2012 por habitante. Fuente: EUROSTAT, 2012	4
Figura 3. Tratamiento de RSU en España. Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2011	5
Figura 4. Reparto de la gestión de residuos en Sevilla y área metropolitana. Fuente: Elaboración propia a través de datos obtenidos del Instituto de estadística y cartografía	9
Figura 5. Métodos para la valorización de residuos plásticos	10
Figura 6. Etapas del proceso de reciclaje. Fuente: Elaboración propia a partir de Kirk-Othmer	11
Figura 7. Esquema de los tratamientos químicos existentes para la degradación de plásticos residuales	12
Figura 8. Reciclado de plástico residual mediante quimiólisis para obtener de nuevo polímero virgen	13
Figura 9. Esquema general de los procesos termolíticos de valorización de plásticos residuales	14
Figura 10. Contenedor papel-cartón (azul), contenedor restos (gris) y contenedor materia orgánica (verde). Fotografía tomadas en el municipio alemán de Göttingen	21
Figura 11. Fracciones del modelo 4 fracciones. Fuente: Ayuntamiento de Granada	22
Figura 12. Distintas fracciones del modelo 5 fracciones. Fuente: Ayuntamiento de Barcelona	22
Figura 13. Fracciones modelo residuo mínimo. Fuente: Ayuntamiento de A Coruña	23
Figura 14. Fracciones del modelo Multiproducto	24
Figura 15. A la izquierda, fracciones: restos (negro), orgánico (marrón) y papel-cartón (azul). A la derecha, máquina de devolución de envases. Fuente: Ayuntamiento de Munich	24
Figura 16. Mapa representativo de los distintos modelos selectivos de segregación de las capitales de provincia españolas. Fuente: Estudio Comparativo de los modelos de gestión de la recogida de residuos urbanos mediante criterios de sostenibilidad, Aitor Gómez Lejarcegui	25
Figura 17. Diagrama de flujo Sevilla y área metropolitana. Porcentajes en bases másica y libres de humedad	33
Figura 18. Diagrama de flujo plata incineración para Sevilla y área metropolitana. Datos caudales másicos anuales	38
Figura 19. Corrientes de salida contenedor amarillo. Alternativa número 1	39
Figura 20. Corrientes de salida contenedor gris. Alternativa número 1	40
Figura 21. Diagrama de flujo alternativa número 1	41
Figura 22. Desglose en toneladas de cada tipo de residuo. Alternativa número 1	41
Figura 23. Desglose por contenedor de las cantidades obtenidas para cada residuo y porcentajes de cada uno de los residuos plásticos. Alternativa número 1	42
Figura 24. Diagrama alternativa número 2	43
Figura 25. Balance de materia alternativa número 2	44
Figura 26. Representación ciclo externo sistema SDDR	45

Figura 27. Representación ciclo interno sistema SDDR	46
Figura 29. Balance de materia SDDR. Alternativa número 3	47
Figura 28. Balances de materia modelo 3 fracciones. Alternativa número 3	47
Figura 30. Contribución relativa de las diferentes etapas del SIG al impacto total para las distintas categorías. Fuente: Inédit	50
Figura 31. Contribución relativa de las diferentes etapas del transporte SIG al impacto total por categorías de impacto. Fuente: Inédit	51
Figura 33. Contribución relativa de las diferentes etapas del transporte del SDDR por categorías de impacto. Fuente: Inédit	58

1 ALCANCE Y OBJETIVOS

1.1 Alcance

En este Trabajo Fin de Máster se realiza un análisis de la gestión de los residuos genéricamente denominados como envases en la ciudad de Sevilla y su área metropolitana. La realización de este análisis se ha llevado a cabo para facilitar a los agentes implicados, posibles actuaciones de mejora en la gestión de estos residuos (alternativas de tratamientos, simplificación de procesos, etc.). Dado que el tratamiento de los envases se realiza de forma centralizada en la zona de estudio, la implementación de las alternativas de gestión se asume que afecta a la totalidad de territorio analizado (Sevilla y área metropolitana).

En este estudio, se han considerado las siguientes suposiciones y simplificaciones:

- Sólo se analizan actuaciones sobre el sistema de recogida de residuos y la gestión de los RSU.
- No se analizan los cambios normativos necesarios para la implementación de las acciones de mejora propuestas en el estudio.
- Por envases, se entienden en este estudio los envases que actualmente son depositados en el contenedor amarillo junto con la fracción de restos y corriente de rechazo del contenedor gris.
- La gestión del vidrio se analiza de forma secundaria en función de las alternativas de gestión analizadas.
- En las alternativas de gestión sólo se han tenido en cuenta las mejores tecnologías disponibles, incluyendo aquellas tecnologías en estado de desarrollo (aunque todavía no se encuentren en fase comercial).
- Se asume la máxima cooperación de los agentes involucrados en las alternativas descritas.
- El estudio se centra en el modelo de recogida lateral y recogida trasera, excluyendo el tipo de recogida en la zona centro de la ciudad y el transporte neumático.
- Se ha realizado un estudio básico de los balances de materia y energía de las posibles alternativas planteadas. El estudio ambiental se describe cualitativamente.
- Para la definición y evaluación de las alternativas de gestión se ha asumido su implementación a corto plazo.
- No se ha considerado ninguna evolución en el volumen y composición de los RSU (los datos se han tomado del año 2012).
- No se consideran restricciones físicas o ambientales en la modificación de las instalaciones de gestión de RSU.
- No se ha considerado la venta de CDR (combustible derivado de residuos).
- Se toma como referencia la planta MBT de Montemarta Cónica.

- La composición de los residuos es la misma en Sevilla que en su área metropolitana.
- Para la elaboración de los balances de materia, dada la falta de información, solo se utilizan los valores pertenecientes a Sevilla capital.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este estudio es la mejora de la gestión de los residuos tipo envases en Sevilla y su área metropolitana, que actualmente se están depositando en vertedero (Montemarta Cónica).

En este estudio se entiende por “mejora” aquellas alternativas de gestión que permitan:

- Mejorar la sostenibilidad en la gestión de los RSU en Sevilla.
- Simplificar los procesos actuales.
- Alcanzar mayores y mejores eficiencias en los procesos.
- Disminuir el impacto ambiental.
- Maximizar la cantidad de residuos destinados a reciclaje y/o valorización energética.

2 INTRODUCCIÓN

2.1 Gestión de residuos en Europa

La situación económica actual de los países integrantes de la Unión Europea, ha dado lugar a diferentes desajustes en lo referente al desarrollo sostenible de la sociedad. Uno de los principales problemas a los que se están enfrentando las administraciones de los países de la Unión Europea (UE), es el incremento de la generación de residuos. No obstante, la Unión Europea se ha marcado una serie de metas, a través de la Directiva Marco de Residuos 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos (1). Esta Directiva, tiene como principal objetivo reducir la generación de residuos y su impacto sobre la salud humana y el medio ambiente, para ello establece la siguiente jerarquía: reducir la generación de residuos, reutilizar los objetos o componentes, reciclar los materiales, valorizar energéticamente aquellos materiales que no puedan ser reciclados y por último la eliminación en vertedero de aquellos residuos que no puedan someterse a ninguna de las alternativas mencionadas [Figura1]. Para el año 2020, se pretende que, al menos el 50% del papel, metal, plástico y vidrio procedente de residuos domésticos o asimilables a éstos pueda ser recuperado para su reutilización o reciclado (1). De manera que se genere la mínima cantidad de residuos posible y estos puedan ser utilizados como recursos.

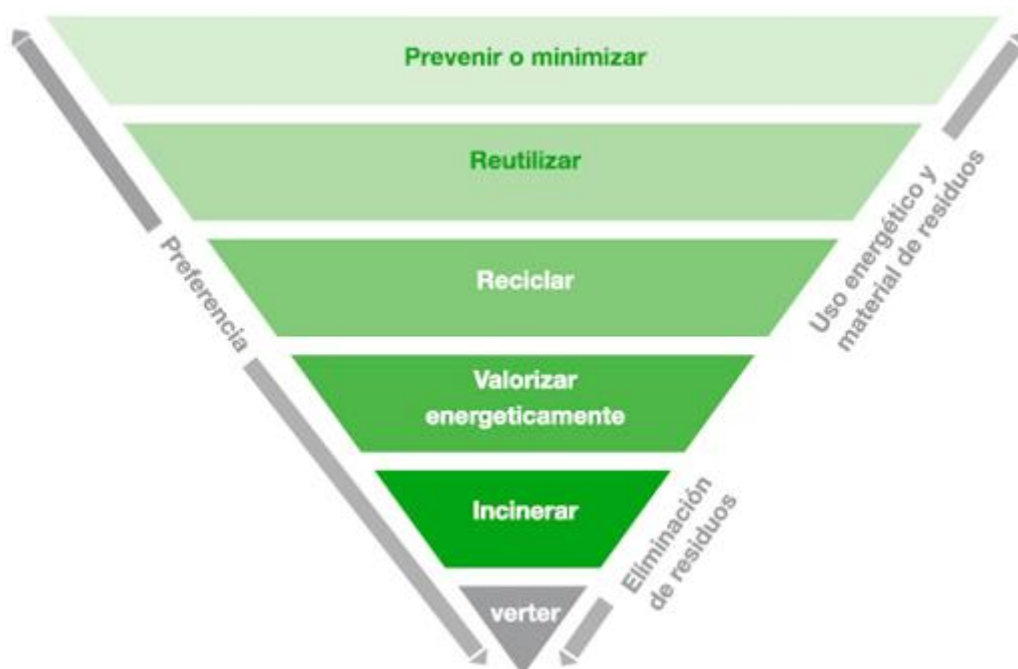


Figura 1. Jerarquía de gestión de residuos según Directiva Marco de Residuos 2008/98/CE. Fuente: Chipala medioambiente

Europa, ocupa el segundo puesto en la producción mundial de plásticos, con una cifra de 46,3 millones de toneladas, situándose tan solo por detrás de China. Dos tercios de la demanda de plásticos en Europa, se concentran en cinco países: Alemania, Italia, Francia, Reino Unido y España [Figura 2].

En 2012, el 26% de los residuos de envases se recuperaron mediante reciclado, el 36% mediante recuperación energética y el 28% fueron depositados directamente en vertedero.

Países como Suiza, Alemania, Austria, Luxemburgo, Bélgica, Dinamarca, Noruega, Suecia y Países bajos logran mayores tasas de reciclaje gracias a la prohibición de vertido de residuos (2).

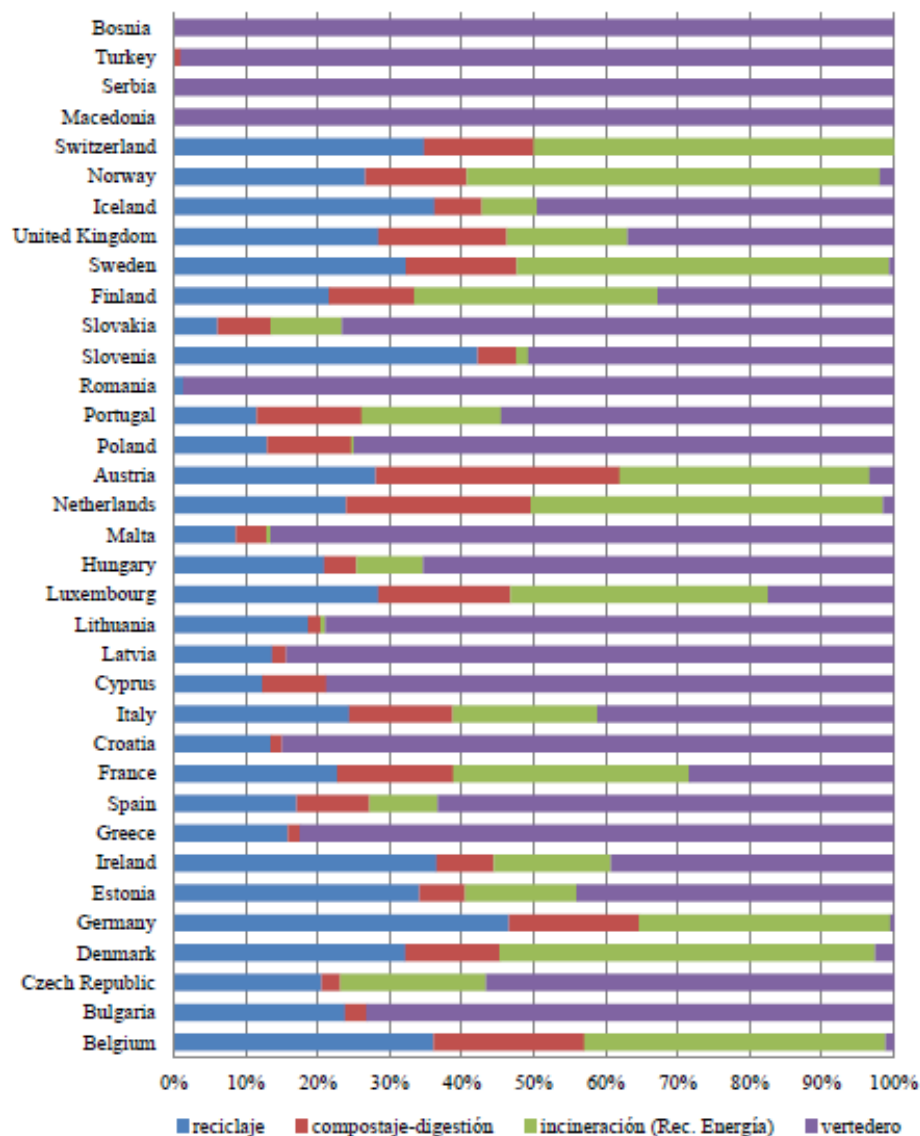


Figura 2. Tratamiento de residuos en Europa en 2012 por habitante. Fuente: EUROSTAT, 2012

En general, el vertido de residuos en depósitos controlados es aún la opción predominante para la gestión de residuos de envase en la Unión Europea, aunque la tendencia es decreciente.

Ya hay países en los que se están llevando a cabo alternativas, con el fin de poder destinar la mínima cantidad de envases plásticos a vertedero. Algunas de las opciones adoptadas han sido: En el caso de Suiza, prohibición de envasado de agua en botellas de PVC, pudiéndose reciclar el 80% de las botellas de PET junto con los envases metálicos, y destinar a incineración con recuperación energética el resto de residuos de envases. En Bélgica, las botellas de PVC tienen una ecotasa. En Viena, diversos hospitales han experimentado con productos alternativos al PVC, sustituyéndolo totalmente en tubos y bolsas de suero y sangre. En España, sin embargo, el PVC es el cuarto tipo de plástico más utilizado, reflejo de todo lo que queda aún por hacer.

2.2 Gestión de residuos en España

En el caso de España, el método más utilizado para gestionar los RSU es el vertido controlado. La incineración, como se puede observar en la siguiente figura [Figura 3], es el método menos utilizado.

Haciendo un ranking entre todos los países Europeos, España se situaba en el año 2012, en el puesto número 19 en cuanto a cantidad de residuos depositados en vertedero se refiere. En primer lugar Suiza, y en el último puesto, Malta, donde el 87% de los residuos son destinados a vertedero.

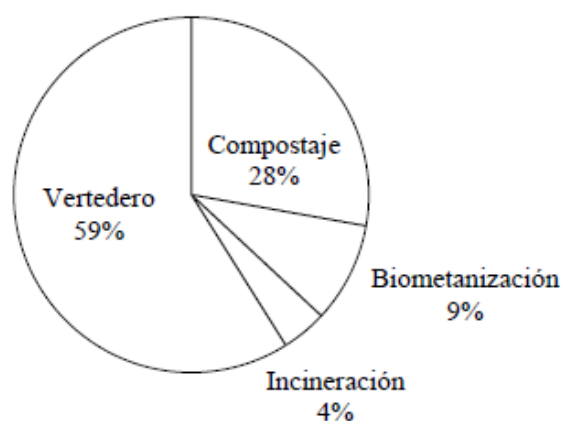


Figura 3. Tratamiento de RSU en España. Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2011

2.3 Gestión de residuos en Andalucía

En Andalucía, el modelo consolidado de recogida selectiva en contenedores en la vía pública se apoya en el de 4 fracciones: vidrio, papel–cartón, envases y fracción resto, en la que se incluye la materia orgánica. Sólo en el área metropolitana de Córdoba, la fracción resto va al contenedor de envases y se recoge selectivamente la materia orgánica.

En cuanto a la tasa de reciclado de envases, entendida como la cantidad reciclada en relación con la cantidad de envases puestos en el mercado, los datos correspondientes al cierre de 2008 sitúan a Andalucía en el 48%, estableciendo la normativa de envases un objetivo del 55%. Por fracciones, se recicla un 45% de envases ligeros, un 58% de papel y cartón y un 43% de vidrio (3).

Analizando los datos de recogida, recuperación y vertido de manera ordeanada, observamos que Sevilla es la segunda provincia de Andalucía que más residuos genera, la quinta en la lista de residuos destinados a recuperación y la cuarta en residuos destinados a vertedero.

Tabla 1. Cantidad de residuos recogidos selectivamente, recuperados y destinados a vertedero por provincias. Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio

RECOGIDA(t)		RECUP+COMPOST (%)		VERTIDO (%)	
MALAGA	1.216.811,6	HUELVA	99,2	MALAGA	62,9
SEVILLA	775.470,6	CORDOBA	91,4	GRANADA	41,6
CADIZ	714.860,1	JAEN	90,4	CADIZ	25,8
GRANADA	690.625,0	ALMERIA	81,4	SEVILLA	20,7
ALMERIA	351.397,2	SEVILLA	79,3	ALMERIA	18,6
CORDOBA	284.004,8	CADIZ	74,2	JAEN	9,6
JAEN	268.515,0	GRANADA	58,4	CORDOBA	8,6
HUELVA	254.309,5	MALAGA	37,1	HUELVA	0,8

2.4 Gestión de residuos en Sevilla

La ciudad hispalense, con 140 km² de superficie, generó en el año 2012 más de 303.255 toneladas de RSU, de las cuales, 7.993 toneladas pertenecían a la recogida selectiva de envases del contenedor amarillo (plásticos, bricks y latas) y más de 1.300 toneladas a la deposición de envases en el contenedor gris (4). Sevilla, cuenta con tres entidades gestoras de residuos:

2.4.1 Lipasam:

Es la empresa municipal de Limpieza Pública del Ayuntamiento de Sevilla, que desde 1986 es responsable de la limpieza de los 1.077 km de viales, la recogida de los RSU y su posterior tratamiento. Para ello, cuenta con vehículos de diferentes tipos, un parque central de maquinaria, seis parques auxiliares de limpieza, cuatro Puntos Limpios, una Estación de Transferencia y cuatro Centrales de Recogida Neumática de Residuos (tres fijas y otra móvil).

Lipasam es la encargada de llevar a cabo la recogida selectiva de los envases (plásticos, bricks y latas), la cual ha experimentado una progresión continua desde su inicio y se lleva a cabo mediante la utilización de contenedores comunitarios instalados de forma equilibrada en toda la ciudad, siendo las cantidades instaladas actualmente 2.224. No fue hasta 1997 cuando se inició la recogida de envases de plástico, completándose la instalación para la recogida selectiva de envases en 2002. Los contenedores para la Recogida Selectiva de los envases ligeros, tienen la tapa de color amarillo y se han instalado dos modelos dependiendo del sistema de recogida empleado en cada zona, bien mediante carga lateral bien mediante carga trasera.

Tabla 2. Evolución recogida selectiva de envases en Sevilla (1.987-2.015). Fuente: Lipasam

Año	Envases	Año	Envases
1987	-	2008	7.021
1992	-	2009	7.398
1997	38	2010	7.789
2000	360	2011	7.220
2002	3.434	2012	7.793
2004	4.586	2013	7.249
2005	4.867	2014	6.495
2006	5.575	2015	5.846
2007	6.185	2016	-

Montemarta-Cónica, es el centro de tratamiento de residuos, incluidos envases. Se localiza en el término municipal de Alcalá de Guadaíra. El conjunto de la finca tiene una superficie en torno a 100 Has y recibe los RSU procedentes de los municipios que constituyen las Mancomunidades de "Los Alcores" y del "Guadalquivir", donde en la actualidad se generan más de 1.000 Tm/día de estos residuos.

La distancia existente desde el núcleo productor de los residuos hasta Montemarta-Cónica, ha hecho necesario instalar un punto de trasvase que permita:

- Racionalizar y optimizar la recogida de los residuos y su eliminación.
- Minimizar el costo del transporte.

Estos puntos de trasvase reciben el nombre de Planta de Transferencia que son unas instalaciones especialmente concebidas para efectuar el trasvase de los residuos desde los vehículos colectores que efectúan la recogida en los núcleos urbanos, a otros vehículos más aptos para el transporte a distancia.

La planta de Transferencia de Sevilla está ubicada junto a la carretera de la Esclusa, sobre una parcela de 16.800 m². Fue diseñada y construida para LIPASAM por la empresa BFI-Transric Andalucía en el año 1991, y puesta en marcha desde 1992. La explotación de la planta la realiza LIPASAM y el transporte de los residuos está encomendado a la UTE Transferencia Sevilla. Los camiones de recogida descargan los residuos en unas tolvas, desde las cuales y mediante unos compactadores son introducidos en unos grandes contenedores de 36 m³ de capacidad que, una vez llenos, son transportados por camiones al Centro de Tratamiento. La configuración actual la convierte en la Planta de Transferencia mayor de España (cuatro unidades de compactación). Esta planta, permite el manejo de doce contenedores de forma continuada, ya que se dispone de cuatro equipos de traslación de contenedores, con tres posiciones por compactador.

2.4.2 Mancomunidad del Guadalquivir:

La Mancomunidad Guadalquivir, se encarga de la gestión de los residuos de 27 Municipios. La zona que abarca, comprende el Aljarafe y parte de la Ribera del Guadalquivir, dando servicio a una población de 247.830 habitantes.

Esta mancomunidad, tiene en su ámbito dos centros de Gestión de Residuos:

-Guadalquivir I. Situado en el término municipal de Espartinas.

-Guadalquivir II. Situado en Bollullos de la Mitación.

En estos centros se produce la recepción de los vehículos recolectores, donde descargan en un habitáculo destinado a tal fin y desde donde se procede a una clasificación primaria y selección de productos recuperables.

Los productos recuperados (entre ellos envases) se compactan y se envían a las empresas dedicadas a la recuperación. El rechazo, es enviado a la planta Montemarta-Cónica (5).

2.4.3 Mancomunidad de los Alcores:

Se encarga del tratamiento y la eliminación de los residuos sólidos generados en los municipios de Alcalá de Guadaíra, Dos Hermanas, Carmona, El Viso del Alcor, Mairena del Alcor y Sevilla (6).

2.4.4 Mancomunidad de la Vega:

Es una Administración Local, una entidad pública nacida en 1998 para la gestión de la recogida y tratamiento de basuras (RSU).

Está compuesta por un total de 17 municipios mancomunados: Alcalá del Río, Alcolea del Río, Brenes, Burguillos, Cantillana, Castilblanco de los Arroyos, Castilleja de la Cuesta, Gerena, Guillena, La Algaba, La Rinconada, Lora del Río, Peñaflor, San Juan de Aznalfarache, Tocina, Villanueva del Río y Minas y Villaverde del Río. Su ámbito de actuación es la Vega del Guadalquivir aunque presta servicios a municipios del Aljarafe y de la Sierra Norte de Sevilla mediante convenios de asociación.

El objetivo de la Mancomunidad de Servicios La Vega es ofrecer servicios de recogida selectiva, gestión de RSU y reciclaje. La planta se encuentra localizada en la carretera de Guillena a Burguillos, en el término municipal de Alcolea del Río y el vertedero, de propiedad pública, en Guillena (7).

El siguiente mapa [Figura 4], muestra como queda repartida la gestión de residuos para las cuatro entidades mencionadas anteriormente. Los municipios marcados representan sus principales ámbitos de actuación, aunque en el caso de las mancomunidades tanto de la Vega como del Guadalquivir, estas amplían su dominio. En el caso de la Mancomunidad de la Vega se amplía a municipios del Aljarafe y de la Sierra Norte de Sevilla y para la mancomunidad del Guadalquivir, desde algunas zonas del Aljarafe sevillano, parte de la ribera del Guadalquivir y el parque del Alamillo.

También se puede apreciar la ubicación del centro de tratamiento de Montemarta-Cónica, localizada en el término municipal de Alcalá de Guadaíra.

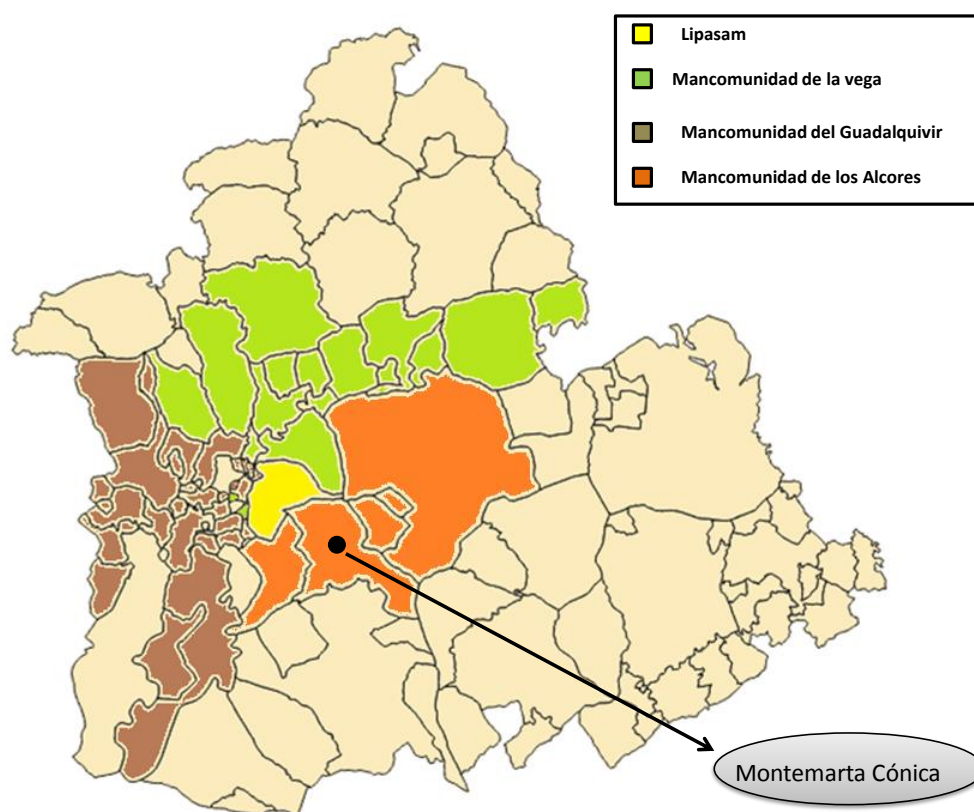


Figura 4. Reparto de la gestión de residuos en Sevilla y área metropolitana. Fuente: Elaboración propia a través de datos obtenidos del Instituto de estadística y cartografía

2.5 Tecnologías de gestión de residuos

2.5.1 Tecnologías de valorización de residuos plásticos

Son tres las tecnologías principalmente utilizadas para la valorización de residuos plásticos, a continuación se detalla cada una de ellas [Figura5].

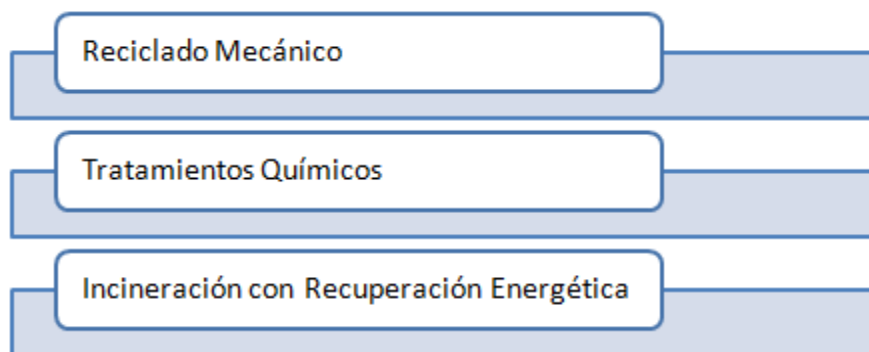


Figura 5. Métodos para la valorización de residuos plásticos

2.5.1.1 Reciclado mecánico

Consiste en trocear el material para introducirlo posteriormente en una máquina extrusora graneadora para moldearse después por los métodos tradicionales [Figura 6]. Solamente puede aplicarse a materiales termoplásticos y a aquellos productos procedentes del consumo, es decir, que ya hayan tenido una primera utilización. Interesa este tratamiento por su precio económico pero presenta dos problemas fundamentalmente. El primero es que el plástico ya utilizado pierde parte de sus propiedades lo que obliga a emplearlos en la fabricación de otro tipo de productos con menos exigencias. El segundo es la dificultad para separar los distintos tipos de envases plásticos.

En España, normalmente se emplea reciclado mecánico, ya que es el que más compensa económicamente, pero analizando los datos de porcentajes de residuos reciclados vemos que este tipo de reciclado no merece la pena, pues la mayoría de los envases de plástico que son recogidos selectivamente vienen mezclados y al final se acaba aprovechando aproximadamente tan solo el 50% de esa corriente de residuos (8).

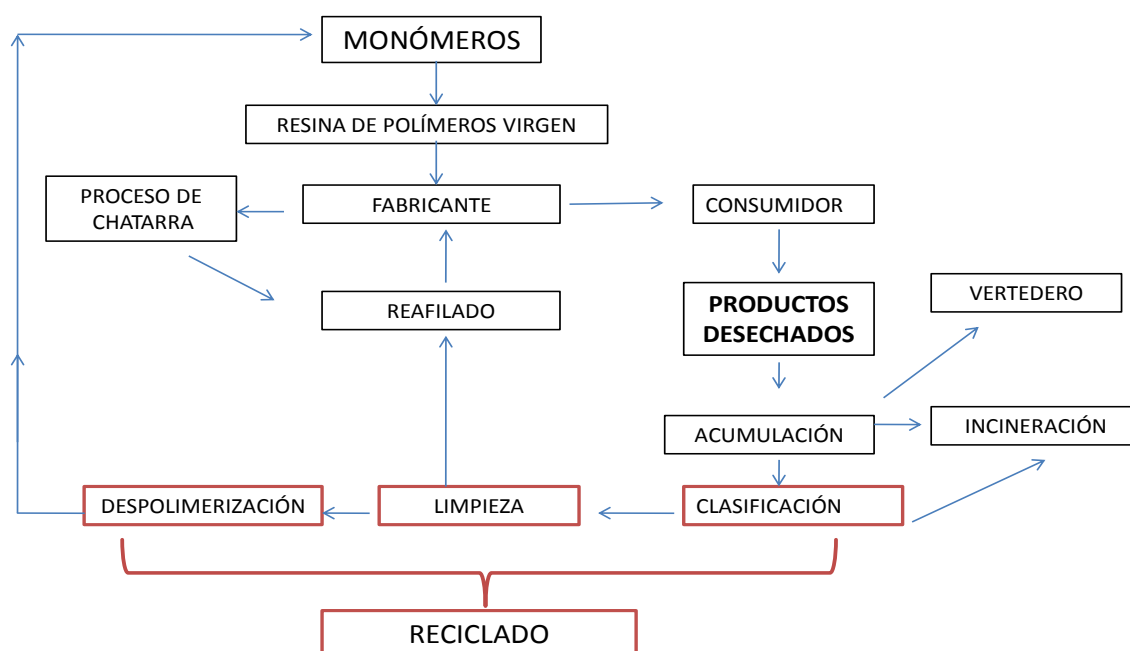


Figura 6. Etapas del proceso de reciclaje. Fuente: Elaboración propia a partir de Kirk-Othmer

2.5.1.2 Reciclados químicos

Consisten en la transformación de los residuos plásticos en productos de interés, que pueden ser los monómeros de partida o mezclas de hidrocarburos (con posibles aplicaciones como combustibles o como materias primas para la industria química). El interés que ha despertado este tipo de tratamientos se debe en parte a las limitaciones que presentan las demás opciones disponibles y a la posibilidad de emplearlo cuando el plástico está muy degradado o es imposible aislarlo de la mezcla en que se encuentra.

La imposición legal de reducir las tasas de deposición en vertedero, la imposibilidad para incrementar la capacidad de incineración en muchos países, debido en gran medida al rechazo social, y ciertas limitaciones del reciclado mecánico, son algunos de los principales motivos que llevaron a buscar otros procesos alternativos para la valorización de los residuos plásticos.

Desde otro punto de vista, el de los productos resultantes, surgen nuevos motivos para desarrollar tratamientos químicos. La creciente necesidad de materias primas para la industria, así como de combustibles, hace necesaria la búsqueda de nuevas fuentes para estos recursos, fuentes que sean accesibles y económicamente competitivas. En este sentido, los residuos plásticos presentan dos grandes ventajas. Por una parte, se generan en elevadas cantidades, y por otra parte son un recurso barato para la industria.

Aunque industrialmente la aplicación de los tratamientos químicos para la valorización de residuos plásticos es aún escasa, su desarrollo se encuentra en una fase avanzada, por lo que es previsible que en un futuro cercano se conviertan en una importante alternativa de gestión de estos residuos (9).

Las diferentes alternativas que se contemplan para el tratamiento químico de residuos plásticos, quedan recogidas en la siguiente figura [Figura 7]:

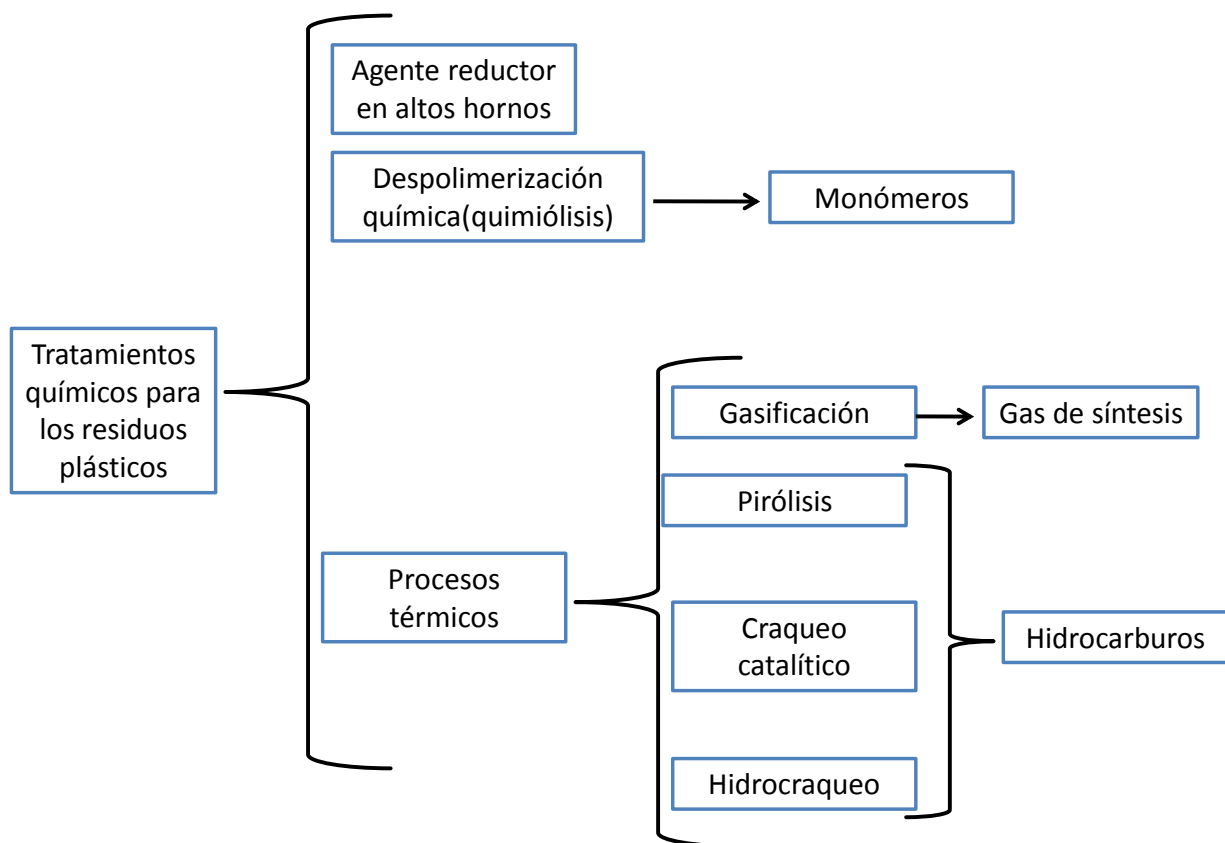
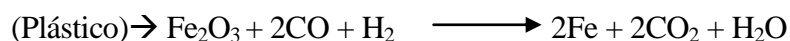
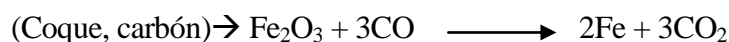


Figura 7. Esquema de los tratamientos químicos existentes para la degradación de plásticos residuales

2.5.1.2.1 Uso de residuos plásticos como agentes reductores en altos hornos

Uno de los tratamientos químicos de residuos plásticos más sencillos y que ya se ha implantado a escala industrial es el uso de estos residuos como agentes reductores para la producción de hierro en altos hornos. Los plásticos contienen una relación H_2/C superior a la del carbón o el aceite mineral y su gasificación da lugar a un gas de síntesis rico en hidrógeno, que le confiere una mayor capacidad de reducción.

A continuación se muestran las reacciones de reducción del óxido de hierro cuando se utiliza carbón y cuando se utiliza plástico como agentes reductores. Cuando se emplea plástico, el hidrógeno contribuye a la reacción de reducción, disminuyéndose la cantidad de CO_2 generada en, aproximadamente, un 30% en comparación con la cantidad obtenida empleando coque o carbón.



2.5.1.2.2 Despolimerización química o quimiólisis

La despolimerización química consiste en la ruptura de las cadenas poliméricas mediante la adición de un reactivo químico, obteniéndose los monómeros originales u oligómeros que se pueden volver a polimerizar, cerrándose así el ciclo, tal como se muestra en la siguiente figura [Figura 8]:

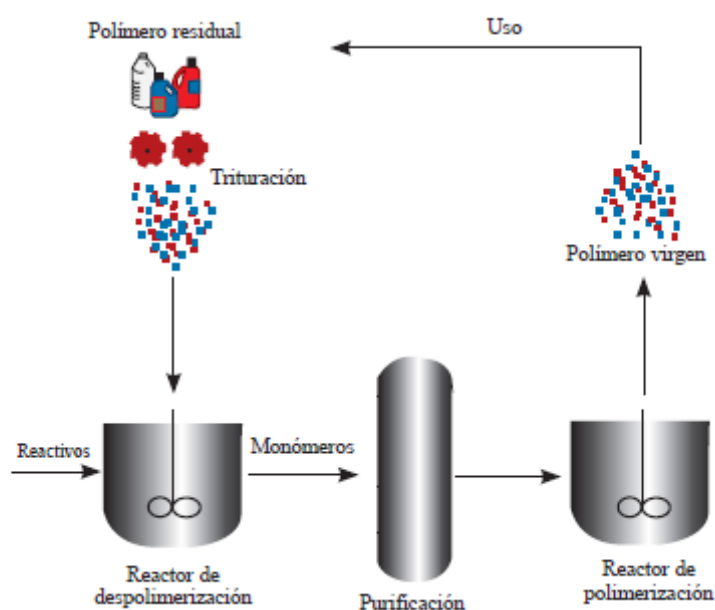


Figura 8. Reciclado de plástico residual mediante quimiólisis para obtener de nuevo polímero virgen

La quimiólisis incluye procesos como hidrólisis, metanólisis, glicólisis y otros procesos menos comunes como puede ser la aminólisis o la saponificación. Estos procesos sólo son aplicables a los polímeros de condensación y existen procedimientos para reciclar poliuretanos (PU), polietilentereftalato (PET), poliamidas, polimetilmetacrilato (PMMA), polietilennaftalato (PEN) o polibutiltereftalato (PBT) (10).

El PET, polímero de condensación de mayor consumo mundial, puede despolimerizarse para recuperar sus monómeros constituyentes (etilenglicol y ácido tereftálico) mediante procesos de hidrólisis, metanólisis, glicólisis, aminólisis y saponificación (11). A nivel comercial, el proceso UNPET20 es el principal proceso hidrolítico de despolimerización de PET. Utilizando NaOH como catalizador, se consiguen elevados rendimientos en etilenglicol y tereftalato disódico.

2.5.1.2.3 Termólisis

Los tratamientos termolíticos degradan los polímeros para dar lugar a mezclas de hidrocarburos que puedan utilizarse como materias primas en la industria química o como combustibles. La siguiente figura muestra un esquema general de este proceso [Figura 9].

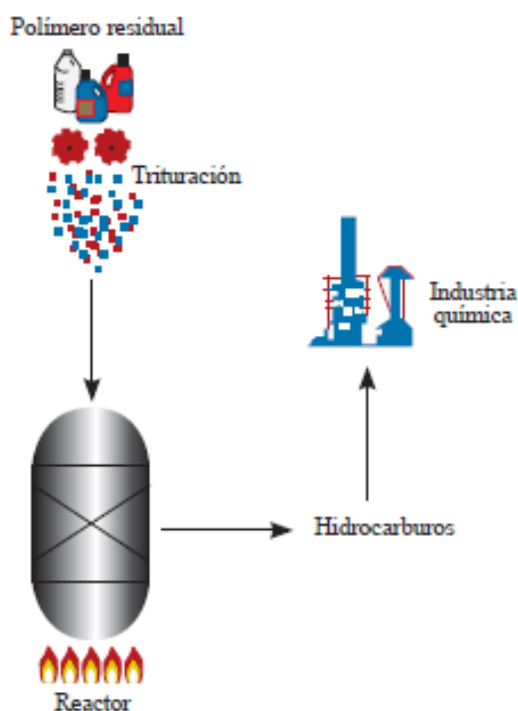


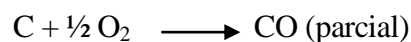
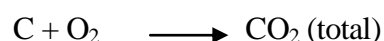
Figura 9. Esquema general de los procesos termolíticos de valorización de plásticos residuales

2.5.1.2.4 Gasificación

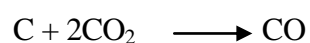
La gasificación consiste en el tratamiento térmico de los materiales a gasificar en presencia de una cantidad controlada de oxígeno y/o vapor de agua, inferior a la estequiométrica, de manera que se produzca una oxidación parcial de los mismos. Es una tecnología madura para el carbón y ampliamente implementada. El producto de estos tratamientos es gas de síntesis ($\text{CO} + \text{H}_2$), lo que requiere necesariamente acoplar estas tecnologías dentro de un complejo químico que permita el aprovechamiento de dicho producto.

Generalmente, los procesos de gasificación de hidrocarburos o biomasa constan de tres etapas: pirólisis del sólido y formación de hidrocarburos volátiles; craqueo secundario de los compuestos no volátiles formados; y gasificación de los productos obtenidos. La gasificación propiamente dicha de la fracción sólida carbonosa ocurre, a su vez, a través de diferentes reacciones, como se muestra en la siguiente figura, teniendo en cuenta que suele emplearse como agente gasificante una mezcla de oxígeno o aire y vapor de agua.

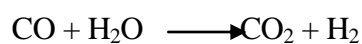
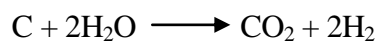
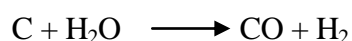
Oxidación



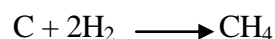
Reacción de Boudouard



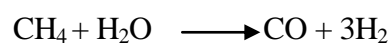
Reacción water-gas shift



Metanación



Reformado con vapor



De entre todos los procesos de gasificación existentes a escala industrial en los que intervienen plásticos residuales, el Texaco Gasification Process (TGP) es uno de los de mayor difusión. El TGP es un proceso en dos etapas, una etapa inicial de licuefacción de los productos alimentados seguida de otra posterior de gasificación propiamente dicha. Durante la licuefacción el plástico es parcialmente despolimerizado en condiciones suaves de craqueo térmico, obteniéndose un aceite pesado y una mezcla de gases compuesta por una fracción condensable y otra no condensable. Los gases no condensables se añaden a una corriente de gas natural para utilizarse como combustible en esta etapa de licuefacción. El aceite y el gas condensable se inyectan a la segunda etapa de gasificación. La gasificación se lleva a cabo con oxígeno y vapor de agua a temperaturas entre 1200-1500 °C. Los productos obtenidos se someten a sucesivas etapas de limpieza, recogiendo al final de los mismos un gas de síntesis limpio y seco formado principalmente por CO y H₂ y, en menor medida, por CH₄, CO₂ y H₂O, así como por algunos gases inertes (12).

2.5.1.2.5 Pirólisis o craqueo térmico

La pirólisis o craqueo térmico se basa en la ruptura de las cadenas poliméricas en atmósfera inerte a temperaturas habitualmente comprendidas entre 400-800°C. Con algunos polímeros de condensación, como PMMA o politetrafluoroetileno (PTFE), o de adición, como el poliestireno (PS), es posible obtener los monómeros originales con un rendimiento superior al 80%. Sin embargo, con la mayoría de los polímeros se obtiene una amplia distribución de productos debido al mecanismo radicalico de la pirólisis térmica.

Los resultados obtenidos por los diferentes autores difieren como resultado del uso de distintos tipos de reactores y condiciones de reacción. Sin embargo, las principales conclusiones son cualitativamente coincidentes. El PS produce elevados rendimientos a productos líquidos, principalmente aromáticos, siendo el estireno y el etilbenceno los mayoritarios, y genera una elevada cantidad de residuo sólido carbonoso, duro y similar al carbón, resultado de la condensación de anillos aromáticos. El PVC genera elevados rendimientos a gases, principalmente por la formación de HCl, y una cantidad destacable de residuos carbonosos. La pirólisis de PET produce también elevadas cantidades de sólidos y gases, principalmente CO y CO₂. Las poliolefinas (PEAD, PEBD y PP) generan menores cantidades de gases y residuos y elevados rendimientos a líquidos y ceras, con ligeras diferencias entre los tres polímeros en función del sistema de reacción (13).

Para la pirólisis de plásticos residuales, uno de los más importantes es el Polymer Cracking Process desarrollado por la compañía BP. El proceso comienza con un tratamiento previo que incluye trituración y eliminación de los compuestos no plásticos. El alimento así preparado se introduce en un reactor de lecho fluidizado precalentado que opera a 500 °C en ausencia de aire. Los productos de reacción abandonan el reactor junto con el gas de arrastre. El HCl formado en la descomposición del PVC se neutraliza haciendo pasar el gas por un lecho de caliza. Alrededor del 85% en peso del plástico que entra en el proceso se transforma en hidrocarburos líquidos aptos para los procesos de refinería. Se obtiene, además, casi un 15% de gases que se emplean como combustible en el propio proceso. Los materiales sólidos (cenizas) se separan como residuos (14).

2.5.1.2.6 Craqueo catalítico

Los plásticos mediante un catalizador, normalmente un sólido con propiedades ácidas (zeolitas, sílice-alúminas, etc.). Las ventajas del uso de un catalizador para la obtención de combustibles a partir de residuos plásticos pueden resumirse en los siguientes puntos (15):

-Reduce significativamente las temperaturas y tiempos de reacción. Se obtienen conversiones mayores con temperaturas y tiempos menores en comparación con el craqueo térmico.

-Proporciona un mejor control sobre la distribución de productos en el craqueo de PEBD, PEAD y PP. Mientras la degradación meramente térmica da como resultado un amplio intervalo de productos, la selectividad hacia determinadas fracciones puede incrementarse mediante la utilización de un catalizador adecuado.

No obstante, el empleo de catalizadores directamente en contacto con los residuos plásticos presenta una serie de problemas operativos, como su posible desactivación por coquización o envenenamiento provocado por la presencia de heteroátomos tales como Cl, N, S y diversos metales presentes en los residuos plásticos. Asimismo, la elevada viscosidad de los polímeros plantea problemas operativos en los reactores. Una de las alternativas que se plantean en la actualidad es la utilización de una etapa previa de craqueo térmico seguida de un reformado catalítico de los productos del craqueo térmico.

2.5.1.2.7 Hidrocraqueo

El hidrocraqueo consiste en la degradación de los polímeros mediante calentamiento en atmósfera de hidrógeno a elevadas presiones y en presencia de catalizadores bifuncionales capaces de promover asimismo la hidrogenación de los productos. Es un tratamiento versátil que permite obtener elevados rendimientos a hidrocarburos líquidos operando a temperaturas entre 300-500 °C. Sin embargo, la necesidad de trabajar con hidrógeno a presiones entre 20 y 100 bares encarece de manera notable el proceso. (16)

Los catalizadores más habituales son sílice-alúminas o zeolitas impregnadas con metales, que pueden ser, tanto metales nobles, generalmente Pt o Pd, como de transición, siendo los más habituales, en este caso, Ni, Mo, W y Co.

2.5.1.3 Incineración con recuperación energética (Valorización energética de baja calidad)

La incineración es un proceso de tratamiento térmico de residuos mediante oxidación completa y a temperaturas superiores a 850°C (según se recoge en la Directiva 2000/76) y su transformación en una corriente gaseosa con o sin recuperación de energía. La incineración con recuperación energética, se realiza en hornos apropiados con aprovechamiento de la energía producida.

Es una idea interesante desde la perspectiva de recuperación de energía de los materiales plásticos, los cuales poseen un elevado poder calorífico (PE, 43 MJ/kg; PP, 44 MJ/kg; PS, 40 MJ/kg; PVC, 20 MJ/kg, etc.) (17).

Este tipo de instalaciones son técnicamente complejas y están diseñadas y explotadas de acuerdo con unos requisitos legales muy estrictos. Se trata de una tecnología de tratamiento de residuos ampliamente contrastada y de elevada fiabilidad. Para obtener los resultados requeridos en la Directiva 2008/98 las infraestructuras de valorización energética deben aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia energética} = (E_p - (E_f + E_i)) / (0,97 \cdot (E_w + E_f))$$

Donde:

- **E_p** es la energía anual producida como calor o electricidad, que se calcula multiplicando la energía en forma de electricidad por 2,6 y el calor producido para usos comerciales por 1,1 (GJ/año).
- **E_f** es la aportación anual de energía al sistema a partir de los combustibles que contribuyen a la producción de vapor (GJ/año).
- **E_w** es la energía anual contenida en los residuos tratados, calculada utilizando el poder calorífico neto de los residuos (GJ/año).
- **E_i** es la energía anual importada excluyendo E_w y E_f (GJ/año).
- **0,97** es un factor que representa las pérdidas de energía debidas a las cenizas de fondo y la radiación.

Esta fórmula se aplica de conformidad con el documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles para la incineración de residuos. En el caso que en la operación de valorización una planta no consiguiera la eficiencia requerida por la normativa, su labor será clasificada como eliminación -similar al depósito en vertedero-, y no de valorización (18).

El proceso de incineración con recuperación energética aplicado a envases en una planta modelo, en este caso para la planta de SOGAMA (A Coruña), es el siguiente:

El material del contenedor amarillo pasa a la planta de automatización de envases ligeros. Los residuos pasan por una primera criba en la que tiene lugar una selección de los mismos según su volumen. Los envases se separan según sean planos o rodantes (ligeros o pesados). Una vez clasificados pasan a nuevos filtros, al mismo tiempo un potente electroimán extrae las fracciones férricas.

Las bolsas de la basura y los envoltorios plásticos se recogen a través de unos grandes aspiradores. En este proceso, también se separan el papel y el cartón (desechos que no deben depositarse en el contenedor amarillo).

A continuación, en el circuito de selección, el material en movimiento se somete a una nueva separación, separándolo en materiales plásticos y no plásticos. Un lector óptico selecciona y separa los bricks. Mediante un separador de Foucault se procede a separar la fracción de aluminio de los residuos. A continuación pasan a una cabina de triaje donde se comprueba la calidad de la selección.

Los envases ligeros o aplanados son separados de nuevo, utilizando un lector óptico que permite identificar al momento los productos o separar. Los envases se clasifican según sean PET o HDPE, el resto de los plásticos son recuperados como una mezcla. De los materiales no plásticos, se extraen los restos de bricks mediante un nuevo lector óptico y los rechazos de la planta automatizada de clasificación de envases ligeros son conducidos hasta la planta de elaboración de combustible.

Con el material seleccionado, agrupado según su tipo de composición, se procede al embalaje para ser remitidos a los correspondientes centros recicladores específicos, donde serán usados como materia prima para producir nuevos productos. Los descartes de envases ligeros junto con la bolsa negra son destinados a la planta de recuperación para la elaboración de combustible. El objetivo de esta planta es la fabricación de CDR (combustible derivado del petróleo) a partir de los desechos no reciclables.

Los residuos se trituran hasta alcanzar un tamaño adecuado, y se extraen los fragmentos de vidrio, cerámica, etc., que puede contener el CDR. Esta separación se lleva a cabo mediante mesas densimétricas.

Los vapores de secado se depuran por medio de ciclones y torres de lavado de gases antes de volver a la atmósfera. Las tres fracciones: gruesa, fina y muy fina, se unen al final de cada uno de sus procesos, constituyendo lo que se denomina el “CDR” que alimenta las calderas de la planta termoeléctrica.

La planta termoeléctrica consta de dos calderas de lecho fluido circulante en las que se pone en contacto una arena en fluidificación a alta temperatura con el CDR para facilitar una combustión de alta eficiencia. Los gases de salida del horno, ceden su calor al vapor que circula por el interior de los tubos que forman los paquetes de sobre calentadores de la caldera. En estos, el vapor alcanza la temperatura adecuada para ser aprovechado en una turbina que mueve a su vez un alternador para producir energía eléctrica de aproximadamente 50MW.

El horno se mantiene a una temperatura superior a 850°C y en presencia de un 6% de oxígeno, con el objeto de asegurar la destrucción de dioxinas y furanos. El vapor que sale de la turbina se enfría en un condensador con capacidad para 162 t/h. El agua se enfría por medio de 5 torres de tiro forzado. Esta agua condensada se aspira por medio de 3 bombas de condensado que la llevan hasta un desgasificador y posteriormente es almacenada. Los gases procedentes de la combustión de las calderas pasan por un sistema de tratamiento semiseco con adición de cal hidratada y carbón activo para su depuración.

En un reactor se produce la neutralización de los compuestos contaminantes para a continuación, ser retenidos en los filtros de mangas.

El ciclo de producción energética se cierra con la recogida de los residuos del horno, que son materiales de dos tipos: escorias y cenizas. Las escorias se almacenan en un vertedero, acompañadas por los inertes separados en la planta de elaboración de combustible. Se trata en su mayor parte de materiales como vidrio, piedras o cerámicas. Por su parte, las cenizas resultantes de la combustión, están catalogadas por la legislación como residuo peligroso, por lo que son envasadas en sacos de protección de 1 tonelada, totalmente impermeabilizadas. Estos sacos se almacenan en un depósito controlado.

Por otro lado, la planta de cogeneración tiene un doble objetivo. Por una parte, producir energía eléctrica y por otra, el calor residual de los gases de salida se aprovecha en los secadores rotatorios de la planta de reciclaje, tratamiento y elaboración de combustible. La planta de cogeneración consta de 6 motores productores de electricidad, alimentados por gas natural, con capacidad para producir 22 MW.

2.5.1.4 Craqueo térmico (Incineración con recuperación energética de alta calidad)

Esta tecnología, patentada por la empresa Plasticenergy, relativamente reciente, se basa en la conversión de residuos plásticos difíciles de reciclar en carburantes sintéticos a través de un proceso versátil y beneficioso para el medio ambiente.

El sistema de Plasticenergy admite todos los tipos y mezclas de plástico de categorías 1-7. No obstante, dependiendo de la mezcla y su composición, la tecnología puede llegar a superar un índice de conversión del 90%. Es decir, de cada 1.000 kg de plástico se pueden llegar a obtener más de 900 litros de carburantes. El proceso es el siguiente:

El material de alimentación, se tritura hasta obtener un diámetro de 15mm, obteniendo un material plástico en escamas. Se lavan las escamas para eliminar las impurezas y se secan para eliminar la humedad. A continuación, las escamas de plástico son introducidas en el sistema de alimentación. El sistema consiste (19):

1- Extrusora: El plástico entra en la extrusora, proceso de Hot Melt.

2-CTA: Se remueve el oxígeno para evitar la combustión (fuego), se eleva la temperatura y se consigue que el plástico se gasifique.

3-Contactor: Fase en la que las cadenas moleculares gaseosas se rompen/craquean.

4-Doble destilación: Tras el enfriamiento, las fracciones líquidas fluyen pasando por un hidrociclón y un tanque de prueba de calidad. Las fracciones gaseosas se reutilizan en la caldera.

5-Almacenamiento: De los hidrocarburos producidos: Cyndiesel+ (diesel sintético), Cynlite (nafta ligera) y Cynkero (queroseno).

No todas las conversiones obtenidas son iguales, debemos tener en cuenta el plástico empleado. En el caso del PET y PVC se producen conversiones del 30%. Cuando se trata de plásticos como poliestireno (PS) y polietileno de baja densidad (LDPE) la conversión aumenta, en el caso del poliestireno se alcanza un 90% y el 70% para el polietileno de baja densidad.

2.6 Modelo de segregación de RSU selectivos

La recogida selectiva consiste en recoger diferentes fracciones de RSU con la finalidad de poder reciclar de la manera más eficiente posible. La recogida selectiva y el reciclaje permiten ahorrar recursos escasos y parte de la energía necesaria para la fabricación de productos a partir de materiales vírgenes. El aspecto básico de la recogida selectiva es la selección que los ciudadanos realizan de productos recuperables y que posteriormente son gestionados por las autoridades competentes.

Las comunidades autónomas o en el caso de Euskadi, las diputaciones forales, son las encargadas de decidir el modelo de segregación que utilizarán según sus necesidades y/o capacidades. Algunos de los modelos estudiados a la hora de proponer las alternativas para la ciudad de Sevilla y su área metropolitana, han sido los siguientes:

2.6.1 Modelo 3 Fracciones

Se constituye por las fracciones: vidrio, papel-cartón y restos. Es un modelo de baja segregación. Eso implica como ventaja, una facilidad por parte de la ciudadanía ya que a la población le es fácil separar los residuos de vidrio y papel-cartón, ya que registran valores bajos de impropios, y el sistema logístico de transporte de residuos es más sencillo. Por contra, se deben separar los residuos de la fracción restos (junto con materia orgánica y envases) en plantas de triaje y eso supondría unos gastos de tratamiento mayores.

En la siguiente figura [Figura 10], se puede observar el modelo de recogida de 3 fracciones implantado en la región alemana de Niedersachsen.



Figura 10. Contenedor papel-cartón (azul), contenedor restos (gris) y contenedor materia orgánica (verde). Fotografía tomadas en el municipio alemán de Göttingen

2.6.2 Modelo 4 Fracciones

Se constituye por las fracciones: vidrio, papel-cartón, envases ligeros y restos [Figura 11]. A diferencia del modelo de *3 Fracciones*, se disgrega los envases ligeros de la fracción restos. Este sistema se ha implantado con mucha fuerza en España, ya que la gestión de recogida de los contenedores (normalmente amarillos) de envases ligeros son competencia de los fabricantes de residuos, y por lo tanto la administración no asume el cargo de los costes de transporte de esta fracción, si no que estos costes de recogida de envases se añaden al precio del producto que paga el consumidor. Por contra, por un lado este sistema no permite optimizar la reutilización de la materia orgánica en compostaje; y por otro lado, los envases no depositados en el contenedor amarillo son responsabilidad del municipio; es decir, si el ciudadano no deposita un envase en el contenedor correspondiente el coste de gestión de recogida de ese envase lo asume la administración y en ese caso no se aplicaría la normativa europea de “quien contamina paga”.



Figura 11. Fracciones del modelo 4 fracciones. Fuente: Ayuntamiento de Granada

2.6.3 Modelo 5 Fracciones

Se constituye por las fracciones: vidrio, papel-cartón, envases ligeros, materia orgánica y restos [Figura 12]. Este modelo tiene como ventaja respecto al *4 Fracciones*, la separación de la fracción orgánica de la fracción restos. De esta forma, con un buen nivel de concienciación de la población permitiría optimizar el reciclaje de materia orgánica en compostaje o valorización energética en digestores anaeróbicos. Por contra, cuanto más se disgrega los residuos, se requiere mayor cantidad de contenedores en la vía pública.



Figura 12. Distintas fracciones del modelo 5 fracciones. Fuente: Ayuntamiento de Barcelona

2.6.4 Residuo Mínimo

Se constituye por 4 fracciones: vidrio, papel-cartón, materia orgánica y materia inorgánica [Figura 13]. A diferencia del modelo *4 Fracciones*, este modelo te permite disgregar la materia orgánica de los restos, y poder utilizarla para compostaje con mayores valores de calidad. A diferencia del modelo de *5 Fracciones*, al unificar la fracción envases con restos (materia inorgánica), permite disminuir la cantidad de contenedores en la vía pública y los envases se separan en las plantas de tratamiento. El nivel de impropios de la fracción envases y el porcentaje de volumen de envases depositados en la fracción restos de otros modelos como el *5 Fracción* suele ser elevado. Este modelo permite optimizar los costes tanto de recogida como de tratamiento de la gestión de reciclaje de envases en el caso que la ciudadanía no deposite correctamente los envases en su fracción correspondiente.

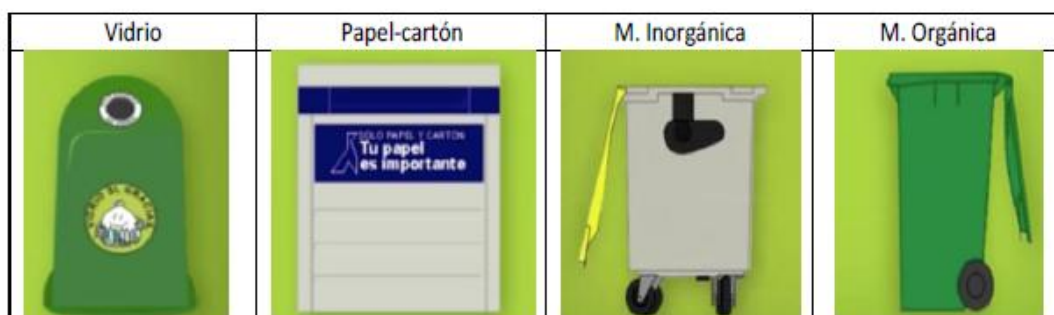


Figura 13. Fracciones modelo residuo mínimo. Fuente: Ayuntamiento de A Coruña

2.6.5 Multiproducto

Se constituye por 4 fracciones: vidrio, papel-cartón-envases ligeros, materia orgánica y restos [Figura 14]. Este modelo a diferencia del modelo de *5 Fracciones*, unifica la fracción papel-cartón y envases ligeros, y de esta forma al segregar en una fracción menos, supone menos contenedores y menos espacio público ocupado. Es un modelo que junta una fracción con bajos niveles de impropios (papel-cartón) con otra de niveles altos de impropios (envases ligeros), por lo que es discutible si con este modelo se permite optimizar la gestión de envases; todo dependerá del nivel técnico que tengan las instalaciones de las plantas de triaje de envases y papel con este modelo y del sistema logístico que tengan en su diputación o conjunto de diputaciones.



Figura 14. Fracciones del modelo Multiproducto

2.6.6 Modelo 3 Fracciones + SDDR

Mediante este modelo, el Ayuntamiento es el responsable de la gestión de 3 fracciones papel-cartón, materia orgánica y restos. El resto de residuos se gestiona mediante un sistema de depósito, devolución y retorno (SDDR) de los envases donde la responsabilidad de la gestión es del fabricante y del consumidor [Figura15].



Figura 15. A la izquierda, fracciones: restos (negro), orgánico (marrón) y papel-cartón (azul). A la derecha, máquina de devolución de envases. Fuente: Ayuntamiento de Munich

Este sistema funciona de la siguiente forma: El consumidor paga una tasa de 0,25€ por cada envase. Para proceder a la devolución de la tasa, el consumidor deberá ir a un punto verde o a un supermercado que disponga de unas máquinas especializadas. Al introducir los envases en la máquina como se aprecia en la figura de arriba, un sensor identifica el tipo de envase y comprueba que pertenece al sistema de depósito. Si es aceptado, la máquina adquiere el envase, compacta el material en su interior e imprime un recibo con el reembolso para el cliente.

En la siguiente tabla [Tabla 3] se presentan las distintas fracciones de los modelos de segregación más utilizados en España y en el siguiente mapa aparecen los modelos de segregación más representativos de las distintas capitales de provincia españolas.

Tabla 3. Fracciones de los modelos de segregación más utilizados en España. Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

5 FRACCIONES	RESIDUO MÍNIMO	MULTIPRODUCTO	4 FRACCIONES	3 FRACCIONES
Vidrio	Vidrio	Vidrio	Vidrio	Vidrio
Papel-cartón	Papel-cartón	Papel-cartón	Papel-cartón	Papel-cartón
Envases ligeros	Envases ligeros	+ Envases ligeros	Envases ligeros	Envases ligeros +
Restos	+ Restos	Restos	Restos +	Restos +
Materia Orgánica	Materia Orgánica	Materia Orgánica	Materia Orgánica	Materia Orgánica

Como podemos observar en la mayoría del país, inclusive Andalucía, el modelo de segregación representativo es el de 4 fracciones. No obstante, debemos tener en cuenta que esta situación está cambiando, ya que en algunas comunidades como Valencia, se está apostando por nuevos sistemas de gestión de residuos como es el SDDR. Este sistema no será sustitutivo sino complementario con los sistemas integrados de gestión actuales (20).



Figura 16. Mapa representativo de los distintos modelos selectivos de segregación de las capitales de provincia españolas. Fuente: Estudio Comparativo de los modelos de gestión de la recogida de residuos urbanos mediante criterios de sostenibilidad, Aitor Gómez Lejarcegui

3 METODOLOGÍA

En este trabajo, se han realizado balances de materia para cada una de las alternativas propuestas y las que ya estaban establecidas en la provincia de Sevilla. A continuación se detallan las fuentes y los pasos seguidos para elaborar cada uno de ellos.

3.1 Balance de material - Sevilla ciudad

Los datos de partida de los residuos, se han obtenido de Lipasam (4) y del Plan Director territorial de Gestión de Residuos no peligrosos de Andalucía 2010-2019, de ahora en adelante, PDTGRU (3). Estos valores vienen dados en masa, sin especificar si son toneladas brutas o sin humedad. Son los siguientes:

Tabla 4. Valores entradas de residuos a las instalaciones de Montemarta Cónica. Fuente: Lipasam

Año	Vidrio(t)	Papel/cartón(t)	Envases(t)
2012	7.724	10.933	7.793

Tabla 5. Valores de entradas de residuos en plantas de recuperación y compostaje, compost producido y rechazo. Fuente: PDTGRU

PRYC	Año	Entrada(t)	Compost (% masa)	Rechazos (% masa)
Montemarta Cónica	2008	200.110	5,40%	88,36%

Para conocer los porcentajes de cada tipo de residuos, se han utilizado datos del artículo “A waste management planning based on substance flow analysis” de Umberto Arena (21) y del Plan director territorial de gestión de residuos no peligrosos de Andalucía (3), en este caso, se utilizan concretamente datos de la planta Montemarta Cónica:

Tabla 6. Valores reciclaje fracción másica seca. Fuente: Perugini et al.(2005); Giugliano et al.(2011)

Plástico	49,7 %
Metal	12,1 %
Aluminio	3,7 %
Rechazo	34,6 %

Tabla 7. Valores en fracción másica a la salida de la planta PRYC. Fuente: PDTGRU de Andalucía para la planta Montemarta Cónica

Materiales recuperados		
Compost	16,0%	82.946 toneladas/año
Papel-cartón	2,0%	10.168 toneladas/año
Vidrios	2,0%	10.168 toneladas/año
Plásticos	0,8%	4.070 toneladas/año
Metales	4,0%	20.340 toneladas/año
Tetrabrik-otros	0,5%	2.540 toneladas/año

Tabla 8. Valores en fracción másica de pérdidas y rechazos a la salida de la planta PRYC. Fuente: PDTGRU Andalucía

Materiales recuperados		
Pérdidas fermentación	22,0%	111.852 toneladas/año
Rechazos	52,7%	266.333 toneladas/año

En el diagrama de flujos, tendremos dos corrientes de entrada. Una perteneciente a la planta de reciclaje, denominada X y otra a la planta de recuperación y compostaje (PRYC), denominada Y.

Los porcentajes de cada corriente de la planta de reciclaje se obtienen del artículo de Umberto Arena. Se utilizan estos datos ya que la gestión de residuos en Nápoles (Italia) es muy parecida a la que se realiza en España, obteniéndose las mismas cantidades de residuos destinadas a recuperación, a reciclaje y a vertedero.

Conociendo ya las toneladas en la corriente de entrada y los porcentajes de cada tipo de residuos que salen de la planta de reciclaje, se calculan las toneladas de cada uno de ellos.

Una vez que se tienen todos los datos de la corriente X, se calculan los datos de la corriente Y. Para este caso, y como se menciona anteriormente, las toneladas en la entrada las obtenemos del PDTGRU.

Finalmente, se calculan cada una de las fracciones y toneladas de residuos a la salida.

3.2 Balance de material - Sevilla provincia

En este balance, también se tienen dos corrientes de entrada, las cuales llamaremos X e Y. Siendo X la corriente de entrada a la planta de reciclaje e Y, la entrada a la planta de recuperación y compostaje (PRYC) respectivamente. Al igual que en el caso de Sevilla ciudad, los valores vienen dados en masa, sin especificar si son toneladas brutas o sin humedad.

Los datos de la corriente X se obtienen del PDTGRU de Andalucía (3):

Tabla 9. Datos de recogida selectiva en contenedores durante el año 2008. Fuente: PDTGRU

Provincia	Población incorporada	Contenedores	Toneladas recogidas	Kg/hab	Hab/contenedor
Sevilla	1.739.214	11.733	15.733	9.0	48

Para la corriente Y, también se utilizan datos procedentes del PDTGRU (3):

Tabla 10. Valores de entradas de residuos en plantas de recuperación y compostaje, compost producido y rechazo. PDTGRU

PRYC	Entrada(t)	Compost (%)	Compost (t)	Rechazos (%)
Total Sevilla	348.820	5,05%	17.632	82,87%

Para ambas corrientes tenemos calculados los porcentajes de cada tipo de residuo del balance de materia de Sevilla Ciudad, por tanto se calculan directamente las toneladas de salida de cada tipo de residuo, tanto de la PRYC como de la planta de reciclaje.

3.3 Balance de materia Incineración

Para realizar este balance, se toma como modelo la planta de incineración con recuperación energética de SOGAMA, situada en el municipio de Cerceda (A Coruña) (18).

Tabla 11. Características planta de SOGAMA. Fuente: Aeversu

Capacidad de incineración	Valorización de RSU	Residuos de combustión	Tipo de residuo
600.000t/a	583.763t	Escorias: 72.463t Férricos: 11.419t Cenizas: 45.452t	CDR

Con los datos anteriores, se calculan los porcentajes que corresponden a cada corriente de residuo de combustión, tomando una entrada de 583.763 t/a (residuo que se valoriza).

A continuación se calcula el porcentaje de residuo convertido.

En tercer lugar, una vez se ha calculado el porcentaje de cada residuo de combustión a la salida de la planta, se representa en el diagrama de flujos.

Por último, se calcula la electricidad consumida a partir de los datos de electricidad producida y exportada. (Todos los datos de caudales másicos son anuales).

3.4 Balance de material- Alternativa número 1

En los balances anteriores hemos calculado las entradas y salidas tanto del contenedor amarillo como del gris. El siguiente paso es identificar el porcentaje de los diferentes tipos de plásticos dentro del contenedor amarillo. Para ello, se han empleado los datos de la publicación “*Plastics-the facts 2015*” (plasticsEurope) (22), aquí aparece la demanda de cada tipo de plástico, lo que nos puede hacer ver el consumo de cada uno de ellos.

Tabla 12. Demanda según tipo de plástico. Fuente: “*Plastics-the facts 2015*” (PlasticsEurope)

PET	7%
PEHD	12,1%
PVC	10,3%
PUR	7,5%
PELD	17,2%
PP	19,2%
PS	7%
OTROS	19,7%

No se considera el poliuretano (PUR) a la hora de realizar el balance, por lo que se deben calcular los nuevos porcentajes.

A continuación, se calculan las toneladas de cada tipo de plástico. Una vez se tienen estos datos, se calculan las toneladas de cada plástico que serán destinadas a: reciclaje, valorización energética de alta calidad, valorización energética de baja calidad (incineración) o vertedero.

Tras evaluar los posibles destinos de cada tipo de plástico, teniendo en cuenta las ventajas e inconvenientes que conllevaría cada una de las opciones planteadas, la distribución queda así:

- Valorización energética de alta calidad: HDPE +LDPE +PS
- Valorización energética de baja calidad: OTROS
- Vertedero: PVC + PET

Una vez visto el reparto, se calcula la cantidad de toneladas de plásticos destinados a cada alternativa, teniendo en cuenta los plásticos del contenedor gris.

Por último, se calcula las toneladas de envases de plástico pertenecientes tanto al contenedor gris como al contenedor amarillo, que serán destinados a reciclaje, valorización energética de alta calidad, de baja calidad y vertedero. Quedando repartido del siguiente modo:

- Reciclaje: PP
- Valorización energética de alta calidad: HDPE +LDPE+ PS
- Valorización energética de baja calidad: OTROS + PLÁSTICOS CONTENEDOR GRIS
- Vertedero: PET+PVC

3.5 Balance de Materia - Alternativa número 2

Los datos utilizados para elaborar este balance han sido obtenidos de la planta de SOGAMA (18):

Tabla 13. Valores planta de SOGAMA.Fuente: Aeversu

Valorización de RSU	Residuos de combustión	Tipo de residuo
583.763t	Escorias: 72.463t Férricos: 11.419t Cenizas: 45.452t	CDR

Para poder obtener la cantidad de residuos que van a ser incinerados, se deben sumar las corrientes de entrada a la planta de incineración, la cual está constituida por las siguientes fracciones: HDPE+ LDPE+ PS+ PP+ OTROS + PLÁSTICOS CONTENEDOR GRIS.

A continuación, se realizan unos cálculos sencillos para poder obtener las cantidades de cada uno de estos residuos de combustión para nuestras nuevas entradas. Una vez se dispone de los datos de residuos de combustión, se calculan los porcentajes que corresponden a cada uno de ellos, tomando una entrada de 1.600,88t /año. Por último, se calculan los porcentajes de residuos convertidos.

3.6 Balance de Materia - Alternativa número 3

Los datos de la corriente de entrada al contenedor papel/cartón se obtienen de Lipasam. Las entradas del contenedor de materia orgánica se han obtenido de los cálculos en balances anteriores, al igual que las corrientes de entrada en el contenedor de restos. A este contenedor destinaríamos los plásticos del tipo (PVC, PELD, PS, PP, OTROS Y MEZCLA PROCEDENTES DEL CONTENEDOR GRIS), METAL y la corriente de RECHAZO DEL RSU. Todos estos residuos se destinarían a incineración con recuperación energética (valorización energética de baja calidad), previamente separaríamos la corriente de metales y se trituraría.

En el caso del balance particular para el sistema de depósito, devolución y retorno, los datos se han obtenido del estudio titulado “*Evaluación de costes de introducción de Depósito, Devolución y Retorno en España*” realizado por Eunomia Research & Consulting Ltd para Retorna (23). Se han tenido en cuenta las siguientes suposiciones:

- Se incluyen:
 - Bricks
 - Corriente de aluminio (suponemos que todo es residuo tipo envase)
 - Plásticos (Botellas PET y HDPE). Se incluyen envases de HDPE porque se sigue el modelo del estudio realizado por EUNOMÍA (23).
 - Vidrio (corriente contenedor gris + contenedor recogida selectiva).

- El índice de devolución del sistema sería de un 89% (En Alemania suele ser >95%)
- Con esta alternativa, ninguna corriente sería destinada a vertedero.
 - El papel/cartón se destina a reciclaje
 - La materia orgánica a compost, en este caso sería de mayor calidad que el obtenido con el actual sistema, pues separamos la materia orgánica de la fracción resto.
 - Los residuos depositados en el contenedor de restos, se destinarían a incineración con recuperación energética
 - Por último, aquellos envases que entran en el SDDR serían reutilizados o reciclados.

4 DESCRIPCIÓN DE LOS CASOS BASE

En este apartado, quedan recogidos los dos principales sistemas de gestión de residuos en España: Sistema Integrado de Gestión (SIG) e Incineración. Ambos se han adaptado a las características en cuanto a cantidad y tipología de los residuos en Sevilla y su área metropolitana.

4.1 Sistema Integrado de Gestión

El sistema integrado de gestión es el que está implantado en Sevilla. En este proyecto se tienen en cuenta tanto los envases depositados en el contenedor amarillo, como aquellos que son depositados en el contenedor gris. En la siguiente figura se pueden observar las fracciones depositadas en cada tipo de contenedor, tanto de envases como del resto de residuos [Figura 17].

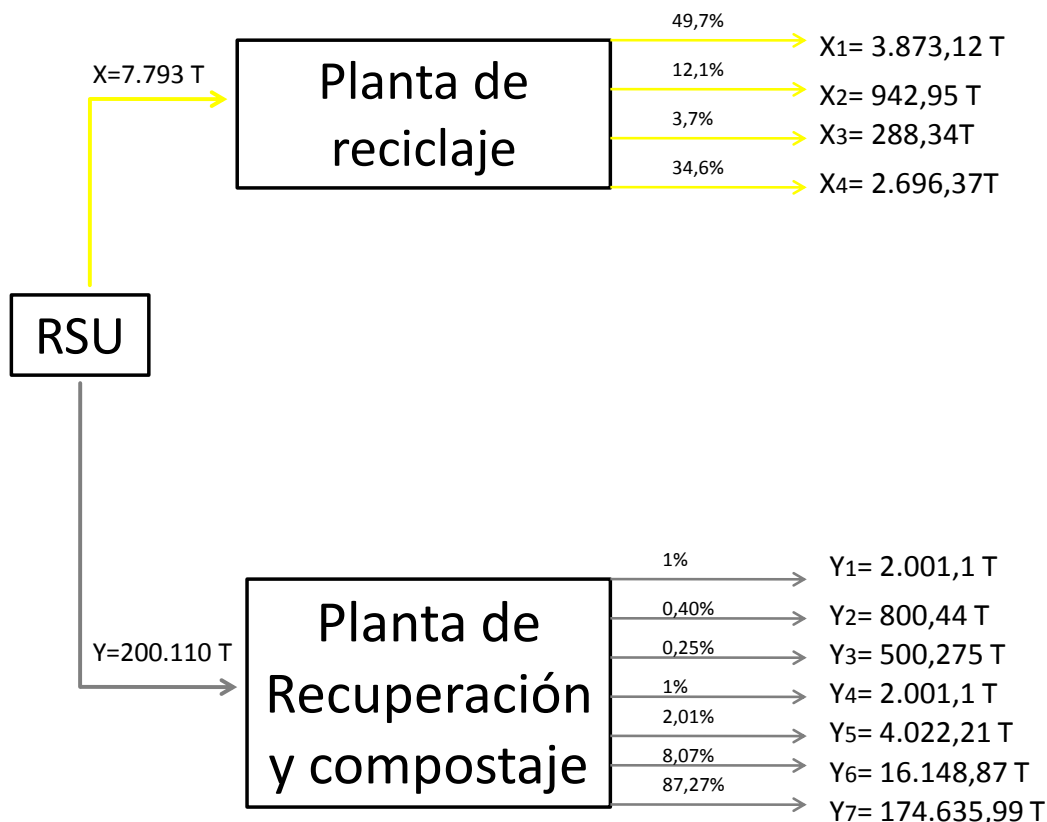


Figura 17. Diagrama de flujo Sevilla y área metropolitana. Porcentajes en bases másica y libres de humedad

A continuación se describen los pasos seguidos para la obtención de los datos anteriores:

Datos de la corriente X, proceden de Lipasam (2012) (4).

Tabla 14. Valores entradas de residuos a la planta de reciclaje. Fuente: Lipasam

Año	Vidrio(t)	Papel/cartón(t)	Envases(t)
2012	7.724	10.933	7.793

Para conocer los porcentajes de cada tipo de residuos, se han utilizado datos del artículo “*A waste management planning based on substance flow analysis*” de Umberto Arena (21) y del Plan director territorial de gestión de residuos urbanos de Andalucía (3), en este caso, se utilizan concretamente datos de la planta Montemarta Cónica:

Tabla 15. Valores reciclaje fracción seca. Fuente: Perugini et al.(2005); Giugliano et al.(2011)

Plástico	49,7 %
Metal	12,1 %
Aluminio	3,7 %
Rechazo	34,6 %

Conociendo ya las toneladas en la corriente de entrada y los % de cada tipo de residuos que salen de la planta de reciclaje, calculamos las toneladas de cada uno de ellos:

Plástico $\rightarrow X_1 = 7793 \cdot 0,497 = 3873,12$ toneladas

Metal $\rightarrow X_2 = 7793 \cdot 0,121 = 942,95$ toneladas

Aluminio $\rightarrow X_3 = 7792 \cdot 0,037 = 288,34$ toneladas

Rechazo $\rightarrow X_4 = 7793 \cdot 0,346 = 2696,37$ toneladas

Una vez que tenemos todos los datos de la corriente X, calculamos los datos de la corriente Y.

En este caso, los datos empleados son del Plan Andaluz de RRNNPP.

Tabla 16. Valores de entradas de residuos en plantas de recuperación y compostaje, compost producido y rechazo. Plan Andaluz de RRNNPP

PRYC	Año	Entrada(t)	Compost (%)	Rechazos (%)
Montemarta Cónica	2008	200.110	5,40%	88,36%

Los porcentajes de cada uno de los tipos de residuos que salen de la planta de PRYC, se han obtenido del PDTGRU de Andalucía de la planta Montemarta Cónica (3):

Tabla 17. Valores a la salida de la planta PRYC. Fuente: PDTGRU de Andalucía para la planta Montemarta Cónica

Materiales recuperados		
Compost	16%	82.946 toneladas/año
Papel-cartón	2%	10.168 toneladas/año
Vidrios	2%	10.168 toneladas/año
Plásticos	0,8%	4.070 toneladas/año
Metales	4%	20.340 toneladas/año
Tetraabrck-otros	0,5%	2.540 toneladas/año

Tabla 18. Valores de pérdidas y rechazos a la salida de la planta PRYC. Fuente: PDTGRU Andalucía

Materiales recuperados		
Pérdidas fermentación	22%	111.852 toneladas/año
Rechazos	52,70%	266.333 toneladas/año

Posteriormente, se calculan cada una de las fracciones de residuos:

Papel

$$\frac{200.110 \cdot 2}{508.417} = \frac{0,787\%}{0,78} = 1\% \rightarrow Y_1$$

Dividimos entre 508.417 toneladas porque son las toneladas de residuos que se trataron en la planta en el 2002 (año del que obtenemos los porcentajes), a continuación el valor que obtenemos lo dividimos entre 0,78 este dato lo obtenemos de restar a todas las corrientes que tenemos en la salida las pérdidas por fermentación $100\% - 22\% = 78\%$

Plásticos

$$\frac{200.110 \cdot 0,8}{508.417} = \frac{0,314\%}{0,78} = 0,40\% \rightarrow Y_2$$

Bricks

$$\frac{200.110 \cdot 0,5}{508.417} = \frac{0,196\%}{0,78} = 0,25\% \rightarrow Y_3$$

Vidrios

$$\frac{200.110 \cdot 2}{508.417} = \frac{0,787\%}{0,78} = 1\% \rightarrow Y_4$$

Metales

$$\frac{200.110 \cdot 4}{508.417} = \frac{01,574\%}{0,78} = 2,01\% \rightarrow Y_5$$

Compost

$$\frac{200.110 \cdot 16}{508.417} = \frac{6,297\%}{0,78} = 8,07\% \rightarrow Y_6$$

Rechazo

$$Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 = 12,73\%$$

$$Y_7 = 100\% - 12,73\% = 87,27\%$$

Una vez que obtenemos los nuevos porcentajes calculamos las toneladas de salida de cada uno de los residuos en la planta de PRYC:

Papel: $200.110 \cdot 1\% = 2001,10 \text{ t}$

Plásticos: $200.110 \cdot 0,40\% = 800,44 \text{ t}$

Bricks: $200.110 \cdot 0,25\% = 500,27 \text{ t}$

Vidrio: $200.110 \cdot 1\% = 2001,10 \text{ t}$

Metales: $200.110 \cdot 2,01\% = 4.022,21 \text{ t}$

Compost: $200.110 \cdot 8,07\% = 16.148,87 \text{ t}$

Rechazo: $200.110 \cdot 87,27\% = 174.635,99 \text{ t}$

Total toneladas= 200.000.000 toneladas

4.2 Incineración

Para el caso de la incineración, se ha utilizado como modelo la planta de SOGAMA. Esta planta cuenta con una capacidad de incineración de 600.000t/a y el tipo de residuo que emplea es el combustible derivado de residuos (CDR). Los valores obtenidos en el diagrama han sido calculados teniendo en cuenta la tipología y cantidad de residuos generados en Sevilla.

- Capacidad de incineración: 600.000t/a
- Valorización de RSU: 583.763t
- Residuos de combustión:
 - Escorias: 72.463t
 - Férricos: 11.419t
 - Cenizas: 45.452t
- Tipo de residuo: CDR

El proceso seguido para la obtención de los valores en Sevilla, ha sido el siguiente:

1º). Se calculan los porcentajes que corresponden a cada corriente de residuo de combustión, tomando una entrada de 583.763t (residuo que se valoriza).

-Escorias (X_1):

$$\frac{72.463}{583.763}=12,41\%$$

-Férricos (X_2):

$$\frac{11.419}{583.763}=1,95\%$$

-Cenizas (X_3):

$$\frac{45.452}{583.763}=7,78\%$$

-Residuos valorizados (%):

$$\frac{583.763}{600.000}=97,29\%$$

2º). Calcular el % de residuo convertido (X_4):

$$\Sigma X_1 + X_2 + X_3 =22,14\%$$

$$100\%-22,14\%=77,86\%$$

$$22,14\% + 77,86\%= 100\%$$

$$77,86\% \times 583.763= 454.517,87t$$

3º). Una vez se conoce el porcentaje de cada residuo de combustión en la salida de la planta, lo representamos en el diagrama de flujo [Figura 18]:

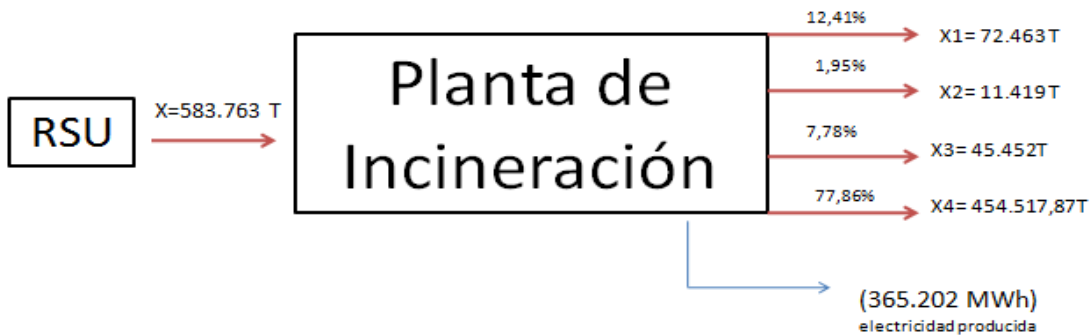


Figura 18. Diagrama de flujo planta incineración para Sevilla y área metropolitana. Datos caudales máxicos anuales

- Electricidad producida: $365.202 \text{ MWh} = 365.202 \text{ MWh} / 3600 \text{ s} = 101,445 \text{ MJ/año}$
- Electricidad exportada: $362.684 \text{ MWh} = 100,745 \text{ MJ/año}$

Calculamos electricidad consumida:

$$E.\text{exportada} = E.\text{producida} - E.\text{autoconsumo}$$

- Electricidad autoconsumo: $365.202 - 362.684 = 2.518 \text{ MWh}$
- Canon incineración = $51,40 \text{ €/t}$

5 ALTERNATIVAS PROPUESTAS

En este apartado, se analizan las tres alternativas propuestas en este proyecto para la gestión de los residuos de envases en Sevilla.

5.1 Alternativa número 1

Conlleva actuar tanto en el contenedor amarillo como en el contenedor gris.

En el contenedor amarillo, se pretende alcanzar el máximo reciclaje, para ello se seguirán las siguientes cuatro vías de actuación [Figura 19]:

- Los plásticos que no presentan incompatibilidades entre ellos serán destinados a **reciclaje**, quedando incluidos únicamente envases de polipropileno (PP).
- Aquellos plásticos que presentan dificultad para ser reciclados pero cuya composición es conocida, se destinarían a **valorización energética de alta calidad**. La finalidad de esta valorización es la de crear combustibles a partir de residuos plásticos. Ejemplo: Tecnología de Cynar. Aquí se incluyen los envases fabricados con HDPE, LDPE, PS.
- Serán destinados a **valorización energética de baja calidad**, aquellos residuos que al presentarse mezclados no permitan ser gestionados por ninguno de los dos métodos anteriores (reciclaje y valorización energética de alta calidad). Esta corriente se destinaría a la elaboración de combustibles derivados de residuos plásticos, que se emplearían para alimentar las plantas de incineración con recuperación energética. Se incluyen las mezclas de envases cuya composición es desconocida o descartes de envases ligeros.
- Por último, habrá una fracción depositada en vertedero. Será aquella que por su composición química no permita ninguna de las opciones planteadas más arriba. Incluye el tereftalato de polietileno (PET) y al policloruro de vinilo (PVC). Estos dos tipos de plásticos no pueden reciclarse puesto que presentan densidades muy similares, lo que los hace difíciles de separar. No pueden destinarse a valorización energética de alta calidad, ya que presentan conversiones muy bajas si se emplearan para elaborar combustibles y tampoco pueden ser incinerados mediante recuperación energética, debido a que el PVC al quemarse libera dioxinas, ácido clorhídrico y metales pesados.

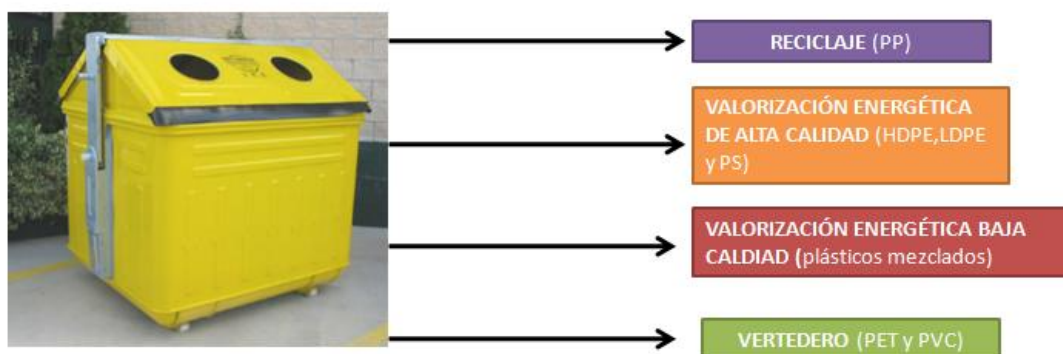


Figura 19. Corrientes de salida contenedor amarillo. Alternativa número 1

En el contenedor gris, se obtendrían las siguientes corrientes de residuos [Figura 20]:

- Una primera corriente de residuos orgánicos, esta sería destinada a compost.
- Una segunda corriente de vidrio, la cual sería separada para destinarla a reciclaje.
- Una tercera corriente de plásticos, que se destinaría a valorización energética de baja calidad. Sería tratada junto con la tercera corriente del contenedor amarillo.
- Una cuarta corriente formada por rechazo y voluminosos, esta sería la única corriente destinada a vertedero.



Figura 20. Corrientes de salida contenedor gris. Alternativa número 1

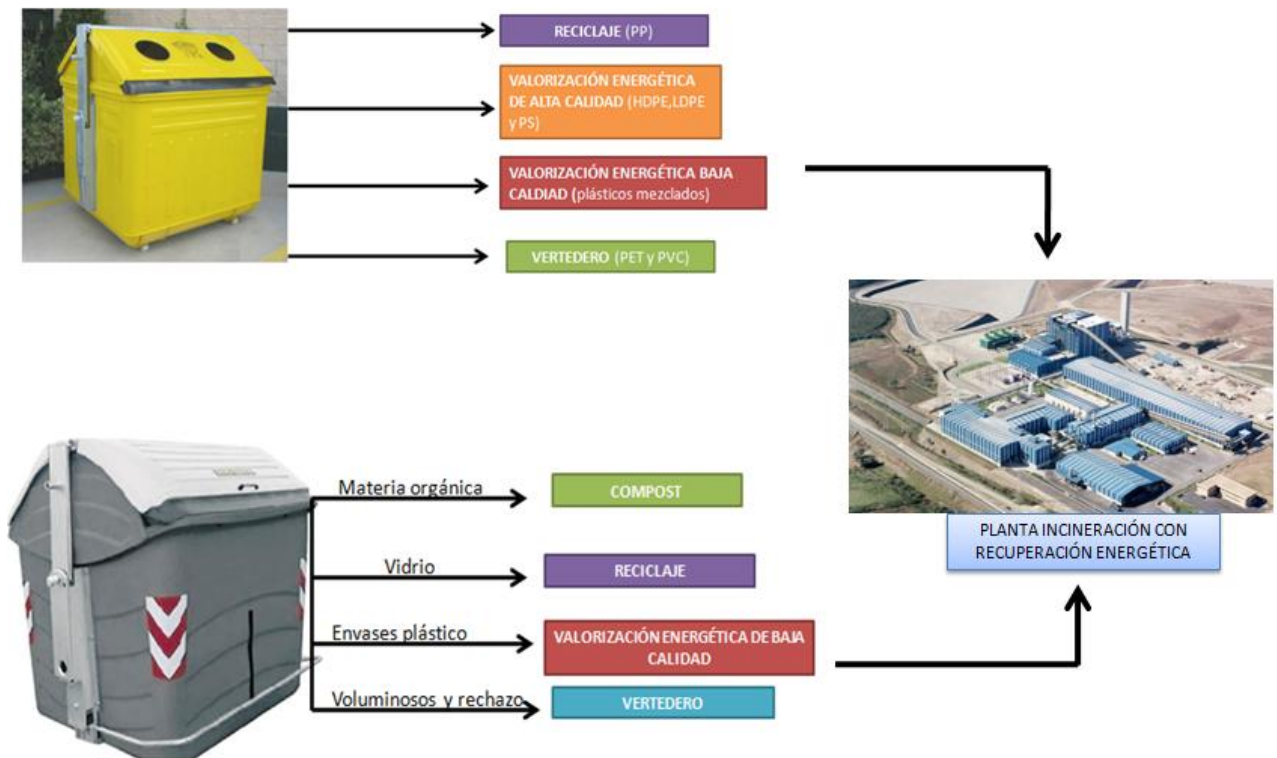


Figura 21. Diagrama de flujo alternativa número 1

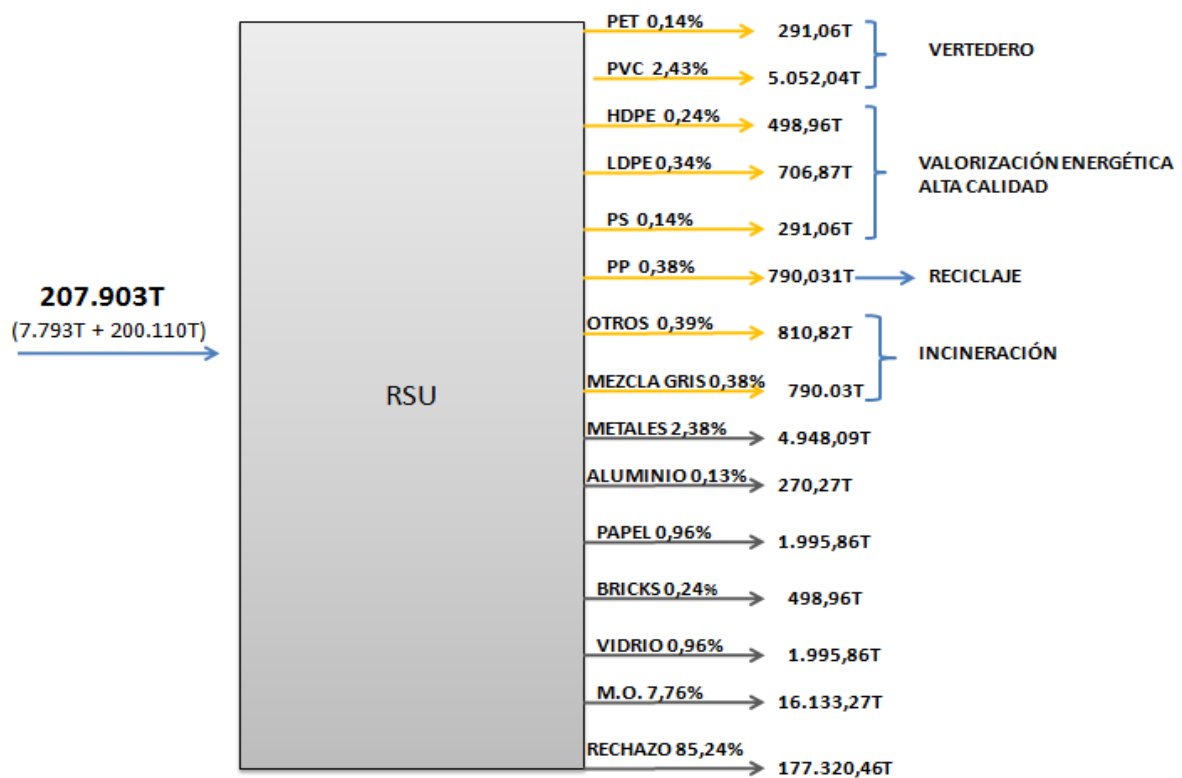


Figura 22. Desglose en toneladas de cada tipo de residuo. Alternativa número 1

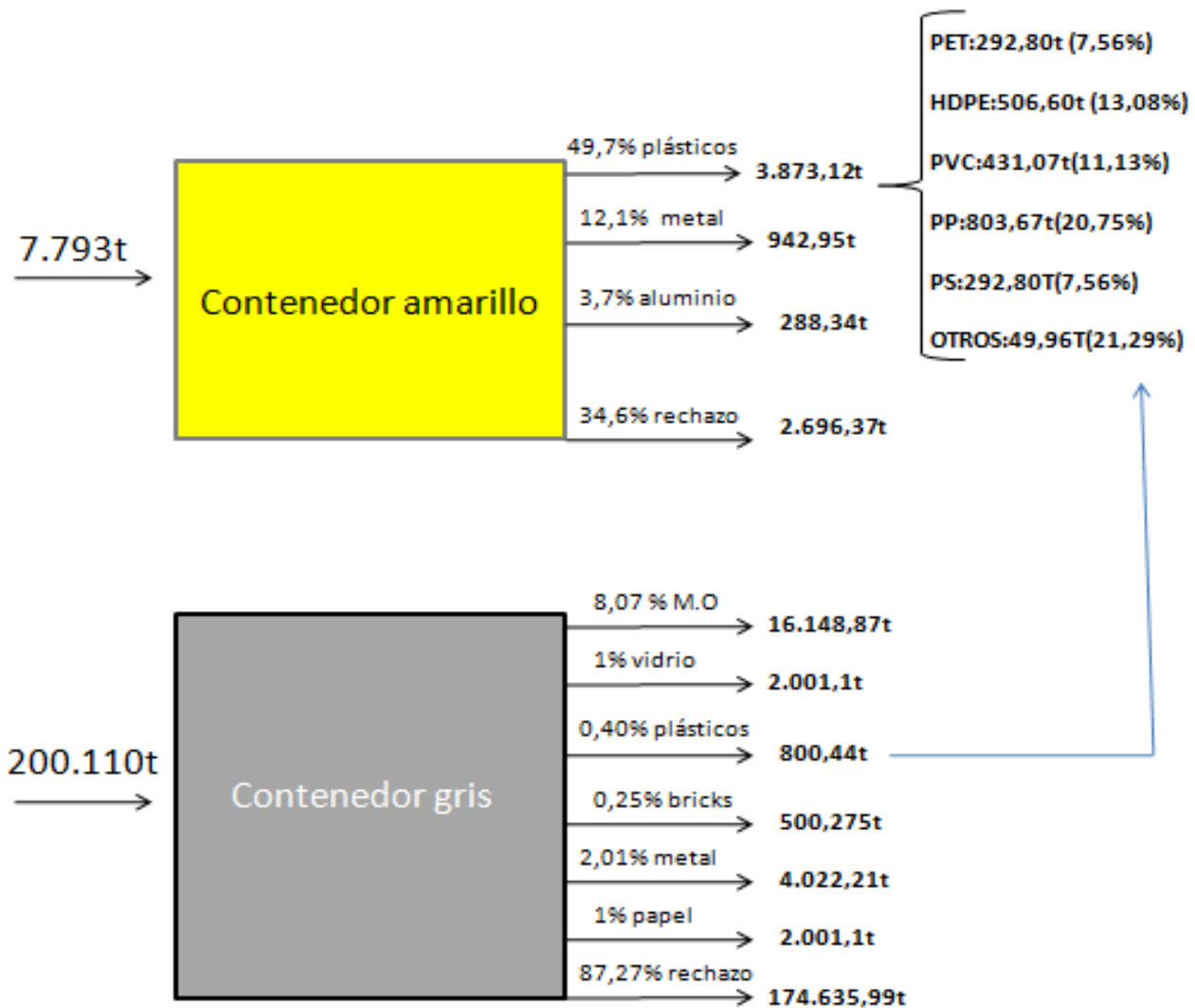


Figura 23. Desglose por contenedor de las cantidades obtenidas para cada residuo y porcentajes de cada uno de los residuos plásticos. Alternativa número 1

5.2 Alternativa número 2

Esta alternativa consiste en incinerar recuperando energéticamente tanto los envases depositados en el contenedor gris, como aquellos depositados en el contenedor amarillo, excluyéndose de este último dos únicas fracciones: PET y PVC [Figura 24]. La descripción del proceso es la siguiente:

Una vez se realizan los procesos de separación oportunos, los envases ligeros junto con la fracción de envases procedentes del contenedor gris son destinados a la planta de recuperación para la elaboración de combustible. El objetivo de esta planta es la fabricación de CDR a partir de residuos mencionados.

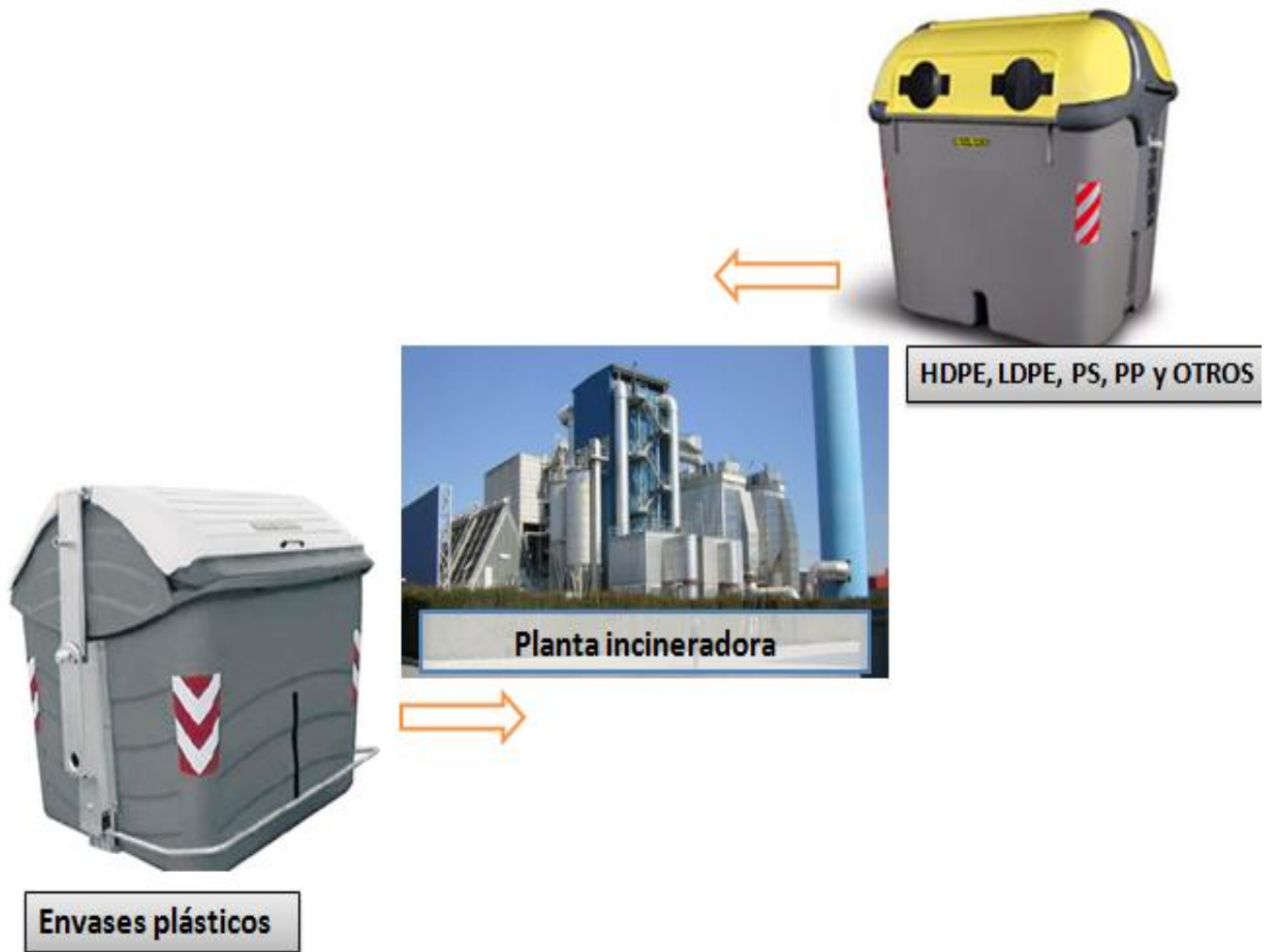


Figura 24. Diagrama alternativa número 2

A continuación se representan los balances de materia correspondientes a esta alternativa [Figura 25]:

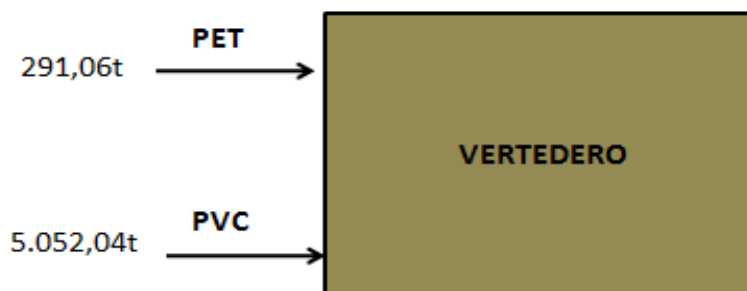
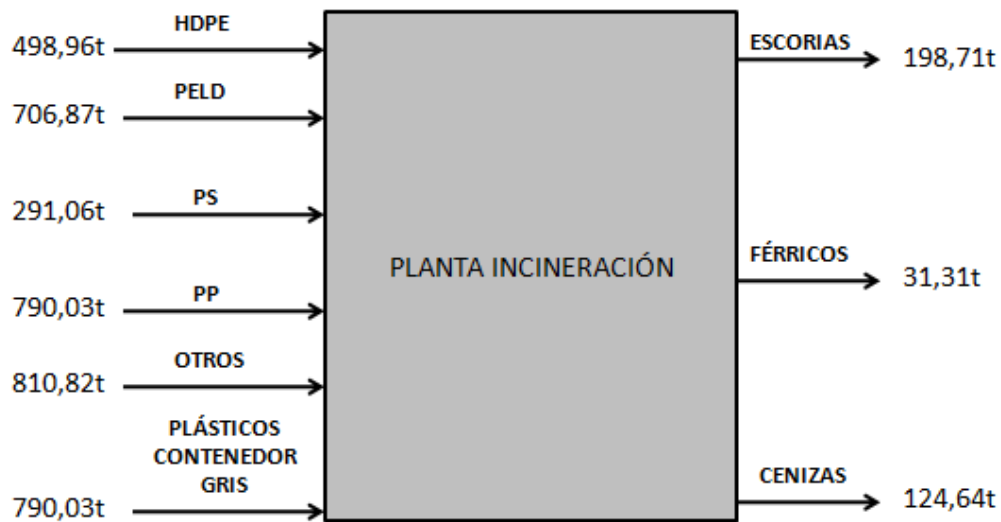


Figura 25. Balance de materia alternativa número 2

5.3 Alternativa número 3

Mediante este modelo, Lipasam es la entidad encargada de la gestión de las fracciones papel-cartón, materia orgánica y restos. El resto de residuos se gestiona mediante un SDDR, donde la responsabilidad de la gestión es del fabricante y del consumidor. Este sistema de Depósito, Devolución y Retorno, engloba envases de PET, HDPE, botellas de vidrio, bricks y envases de aluminio.

Hay dos tipos de recogida para el SDDR, manual y mecanizada. En la recogida manual no se realiza una separación por tipo de material y tampoco se procederá a la compactación de estos envases. Desde los comercios serán transportados hasta las plantas de selección de envases donde se efectuará la separación para su transporte hasta los centros de reciclaje de las tres fracciones de envases.

Por otro lado, en las máquinas específicas de retorno, los residuos de envases se separan según tipología de material y se compactarán para disminuir su volumen.

Una vez recogidos serán transportados hasta los centros logísticos propios de cada supermercado o gran superficie mediante logística inversa. Desde aquí serán llevados hasta los centros de reciclaje.

En general, este sistema funciona de la siguiente forma: El sistema de depósito de envases de bebida, se basa en asociar un pequeño depósito a cada envase (0,25€) para asegurar su recuperación. El ciclo del depósito tiene dos partes, la externa, entre consumidor y comercio y la interna, entre los envasadores, comercios y recuperadores. El balance final entre los dos ciclos compensa a todas las partes que intervienen.

Ciclo externo (consumidor-comercio). El consumidor compra bebidas, paga al comercio el precio de las bebidas y deja al comercio un depósito de 20-25 céntimos por cada envase, datos calculados en 2012 (24). Cuando ha consumido la bebida, devuelve los envases vacíos al comercio, al mismo donde compró los envases o a cualquier otro punto de venta. El comerciante, devuelve al consumidor los 0,25€ por envase retornado. Si un consumidor no retorna los envases, no recupera la cantidad depositada, así se cumple el principio europeo de “quien contamina, paga”. Esta cantidad, se destina a la financiación del sistema de reciclado [Figura 26].



Figura 26. Representación ciclo externo sistema SDDR

Ciclo interno (envasador, comercio, gestor, reciclador). El comercio, entrega los envases vacíos que ha acumulado a la entidad que gestiona el sistema. Esta entidad, entrega al comercio 0,25€ por envase retornado, más una compensación por la gestión de cada envase [Figura 27].

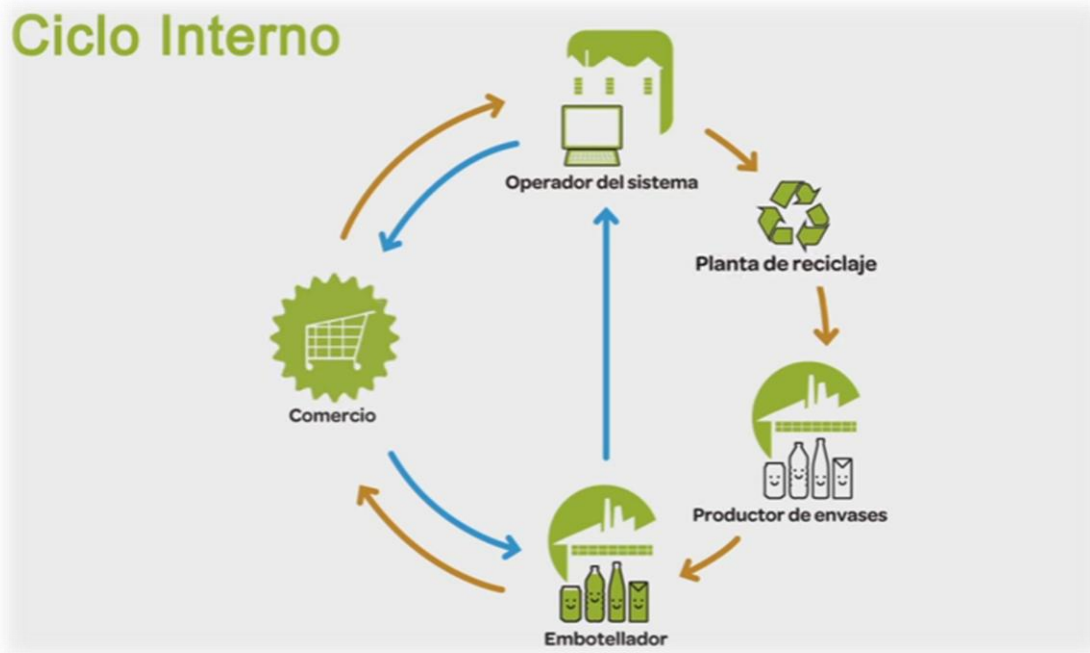


Figura 27. Representación ciclo interno sistema SDDR

La entidad que gestiona el sistema, vende los envases vacíos no retornables que le han entregado los comercios a los recicladores. Por los ingresos de la venta, también se financia el sistema.

Los recicladores, procesan los envases vacíos, y los venden a los fabricantes de envases o de otros productos. El fabricante de envases, vende los envases al embotellador (estos pasos van independientemente del depósito).

El embotellador, vende la bebida al comercio, y le cobra el precio del producto más un depósito de 0,25€ por unidad. El depósito que recibe el embotellador por unidad, es entregado al gestor del sistema, que usará esa cantidad para devolver a los comercios los depósitos entregados a los consumidores.

Este sistema asegura un índice de reciclaje o reutilización muy elevado, en torno al 99%. Y se podrán alcanzar e incluso superar, los objetivos europeos de reciclaje, para avanzar hacia una sociedad más sostenible (24).

Para implantar esta metodología de gestión de residuos, deberíamos empezar por concienciar a los más pequeños de la población. Ya que esta requiere adquirir unos hábitos para que el ciudadano se sienta responsable de gestionar o de colaborar en la gestión de aquellos envases que este adquiera.

En las siguientes figuras se pueden observar los balances pertenecientes a cada uno de los contenedores del sistema de 3 fracciones [figura 28], junto con el SDDR [Figura 29].

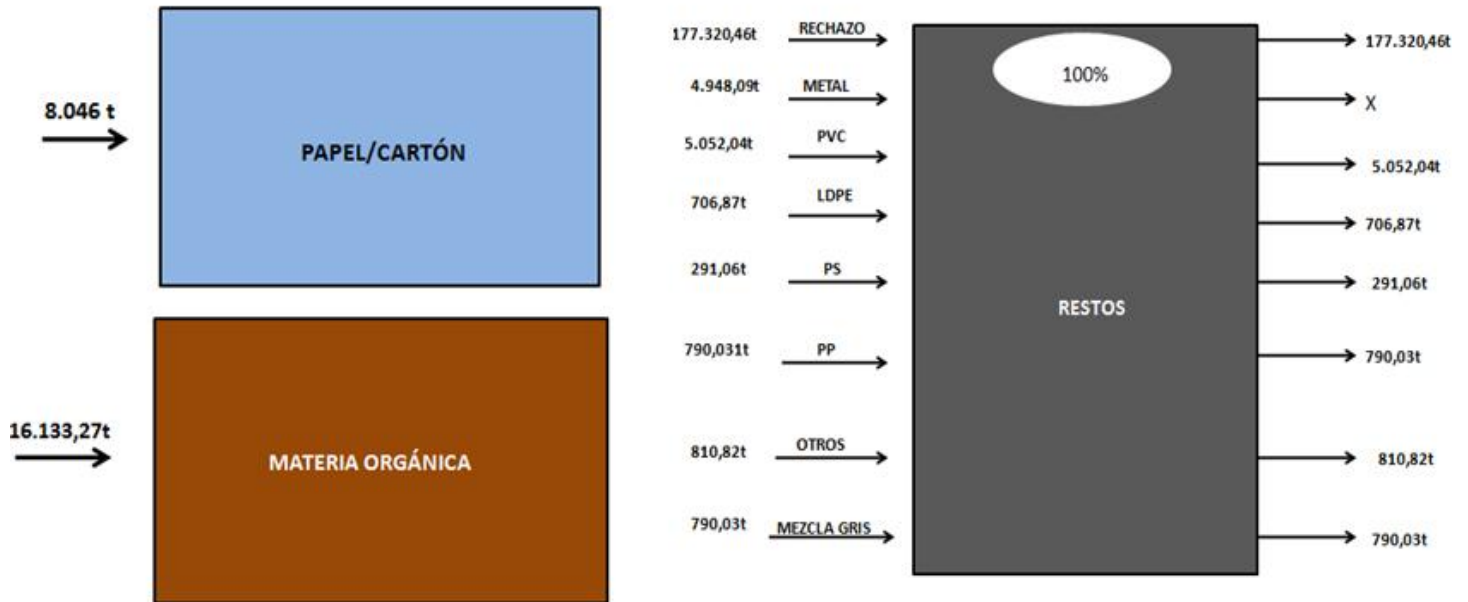


Figura 28. Balances de materia modelo 3 fracciones. Alternativa número 3

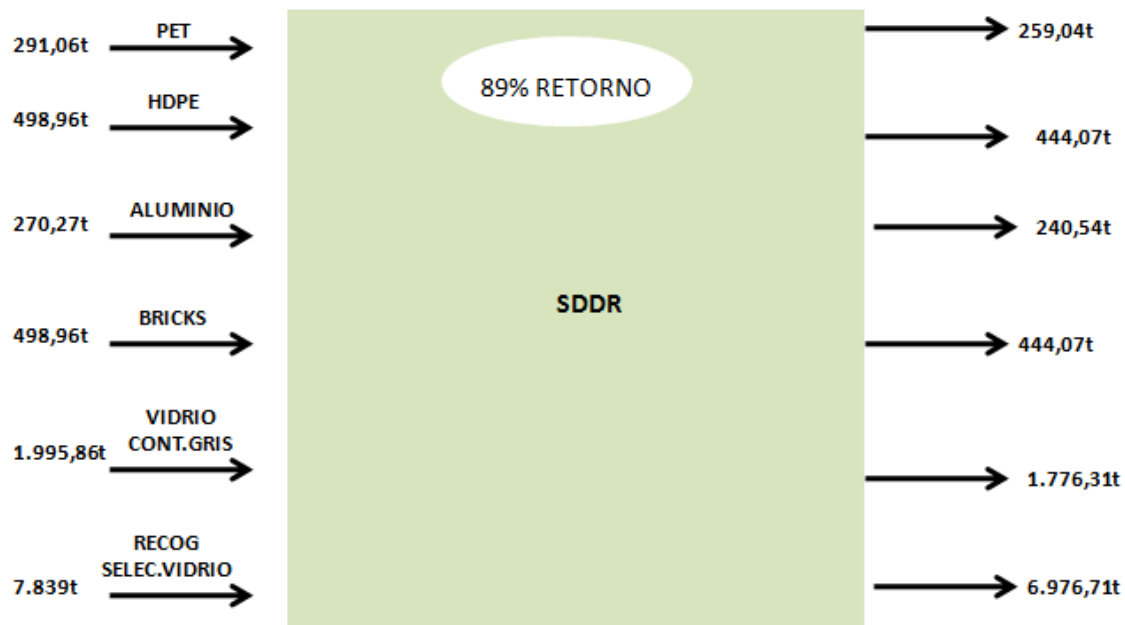


Figura 29. Balance de materia SDDR. Alternativa número 3

6 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Analizadas las tres propuestas, podemos concluir que la más adecuada para el escenario actual de la ciudad de Sevilla, sería la alternativa número 1. Esta es la única alternativa que nos permite obtener la máxima minimización de vertido, tiene menores repercusiones ambientales, no implicaría cambios en los hábitos de los ciudadanos y tampoco supondría grandes modificaciones en las plantas de residuos.

No obstante, la alternativa número 3, no debe dejarse al margen y la tendríamos que valorar en un periodo a medio-largo plazo en nuestra ciudad. Considero que el problema de esta, reside en la gran variedad de tipos de envases que son depositados en el contenedor amarillo y la exclusividad que deben presentar los envases destinados a SDDR.

En cuanto a la incineración con recuperación energética propuesta, al ser destinados a incineración todos los residuos de envases, no hay posibilidad de reciclar aquellos envases que por su calidad lo permitan. Por tanto, esto hace que rechace esta alternativa para implantarla en nuestra ciudad.

A continuación se describe las repercusiones que tendría cada alternativa en los escenarios técnico, económico, ambiental, social y normativo.

Tabla 19. Efectos asociados a cada alterna

	Cambios hábitos consumidor	Modificar cambios sistema recogida	Cambios sistema de tratamiento	Simplificación de procesos	Máximo reciclaje	Complejidad procesos	% envases aprovechados	Coste implantación sistema	Cambios estructura plantas reciclaje	Efectos medioambientales
<i>Propuesta contenedor amarillo/gris</i>			-	+	+++		++		--	-
<i>Incineración con recuperación energética</i>			-	+++			-		-	-
<i>3 fracciones + SDDR</i>	--	--	-	--	+	-	-	--	-	--

6.1 Alternativa seleccionada. Propuesta contenedor amarillo y gris

6.1.1 Escenario técnico

No se vería modificado el actual sistema de recogida de residuos, ni el número o tipo de contenedores en las vías públicas. Por el contrario, sí que tendríamos cambios en el sistema de tratamiento, pues algunos de los residuos se destinarían a reciclaje y otros a valorización energética de alta calidad. Esto conlleva convertirlos en CDR y posteriormente destinarlos a una planta adecuada para realizar el tratamiento al igual que la incineración con recuperación energética, pero en esta última la incineración se realizaría en la propia planta, en este caso Montemarta Cónica por lo que habría que realizar las modificaciones pertinentes para adecuarla a este tipo de tratamientos.

Los procesos, en comparación con las otras alternativas propuestas, se verían simplificados ya que todos los residuos serían gestionados a través de un mismo sistema.

6.1.2 Escenario económico

La implantación de esta alternativa no supondría un coste de inversión adicional para las plantas actuales. Los costes de operación son también similares. Sin embargo, sí que existe un coste elevado en la construcción de la planta de incineración y de valorización energética de alta calidad. Este coste debería ser amortizado con los beneficios del aprovechamiento energético. Si bien, la planta incineradora requiere necesariamente de una inversión específica. En el caso de la valorización energética de alta calidad, se podrían aprovechar plantas que se encuentran operando actualmente como es el caso de la empresa CYNAR.

Los costes asociados a este sistema, principalmente son:

- 0,008 céntimos de euro/envase, es el importe que el ciudadano paga por cada envase para que este sea reciclado en un “punto verde” (ECOEMBES) y 0,005 céntimos de euro/envase para los envases de vidrio (ECOVIDRIO) (25).
- Coste inicial de inversión a nivel estatal, alrededor de 450 millones de euros (SIG ECOEMBES) (25).

6.1.3 Escenario ambiental

Se obtendría la máxima minimización de vertido con esta alternativa, pues, tan solo el 2,57% (valor calculado en la sección “*Alternativas propuestas*”) del total de residuos sería depositado en vertedero.

En la siguiente tabla se recogen los impactos ambientales por subcategorías de impacto, suponiendo un sistema de recogida selectiva del 55%: Agotamiento de los recursos abióticos(AD), acidificación (AC), eutrofización(EP), calentamiento global(GW), agotamiento de la capa de ozono(ODP), toxicidad humana(HT), formación de oxidantes fotoquímicos(PO) (26).

Tabla 20. Impacto del SIG para cada categoría ambiental como resultado de la etapa de caracterización del ACV para la recuperación del 55%. Fuente: Inédit

Categoría de impacto	Unidades	SIG
AD	kg Sb eq	2,90
AC	kg SO ₂ eq	2,34
EP	Kg PO ₄ -3 eq	0,378
GW	kg CO ₂ eq	522
ODP	kg CFC-11 eq	0,0000796
HT	kg 1,4-DB eq	143
PO	kg C ₂ H ₄	0,297

Analizando las contribuciones de las diferentes etapas de SIG obtenemos el siguiente gráfico [Figura 30]:

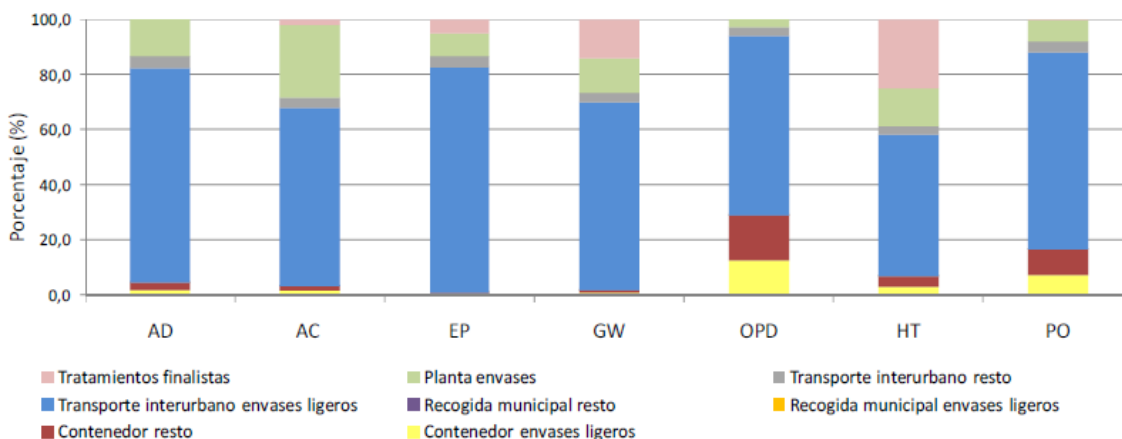


Figura 30. Contribución relativa de las diferentes etapas del SIG al impacto total para las distintas categorías. Fuente: Inédit

Para este sistema, los mayores impactos son debido a la etapa de transporte interurbano del PET, latas y bricks recogidos selectivamente, con contribuciones comprendidas entre el 51,6% y el 77,8% para las categorías de HT y AD respectivamente. La categoría de GW supone la emisión de 354 kg de CO₂ eq. y la etapa de tratamientos finalistas supone la emisión de 74 kg de CO₂ eq (26).

El transporte interurbano de PET, latas y bricks en la fracción resto supone el 2,7% de los impactos en la categoría de HT y el 4,2% en la de EP. En la siguiente figura, se muestra un desglose de las diferentes etapas del transporte interurbano [Figura 31]:

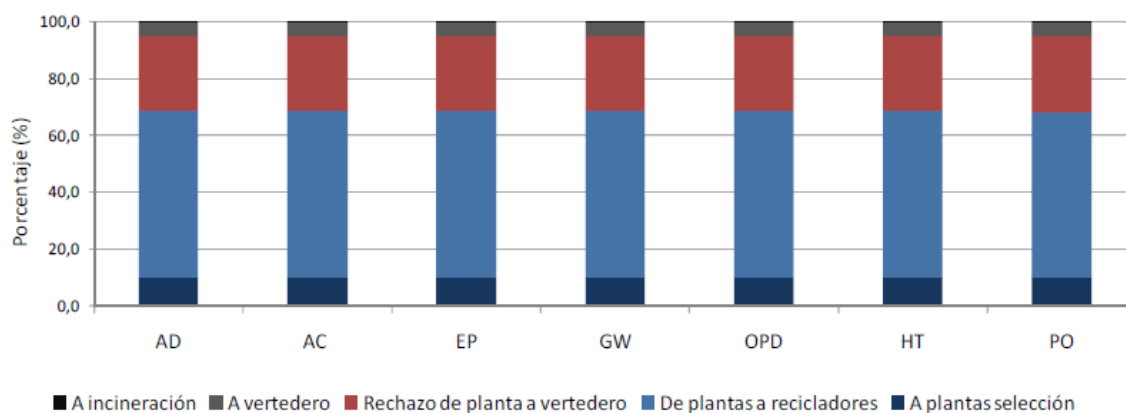


Figura 31. Contribución relativa de las diferentes etapas del transporte SIG al impacto total por categorías de impacto. Fuente: Inédit

La etapa de selección de envases es la segunda con mayores contribuciones comprendidas entre 4,4% para ODP y 26,5% para AC. El consumo eléctrico de las planta de selección de envases del SIG es inferior al consumo de las plantas del SDDR pero debido a que en las plantas del SIG se produce un rechazo del 33%, para la recuperación de una tonelada de PET, latas y bricks, la cantidad de envases a gestionar es mayor y por tanto se incrementa el consumo de la planta de selección de envases del SIG. Con el SDDR la planta supone la emisión de 18 kg de CO₂ eq. frente a 65 kg de la planta del SIG por cada tonelada para reciclar de PET, latas y brick (26).

Como consecuencia del uso de polietileno de alta densidad para la producción de los contenedores de envases ligeros y de resto, la contribución en la categoría de ODP de ambas etapas es de 12,5% y un 16,3% respectivamente.

Las etapas con menos impactos ambientales del SIG son las correspondientes a las recogidas de los envases dentro de los municipios, tanto de contenedores de envases ligeros como de resto, no suponiendo en ninguna categoría de impacto una contribución superior al 0,001%. Los mayores impactos son debidos al transporte de los envases de PET, latas y bricks desde las plantas de selección de envases hasta los centros de reciclaje debido a la distancia (26).

6.1.4 Escenario social y normativo

No supondría cambios en los hábitos actuales del consumidor, por tanto los ciudadanos no tendrían que adaptarse a un nuevo modelo de separación de envases. Tampoco sería necesario implantar nuevas leyes reguladoras de la gestión de residuos de envases.

Dentro del marco legal del Estado Español, la ley vigente en relación a los residuos sólidos urbanos es la **Ley 22/2011** del 28 de julio de Residuos y suelos contaminados. Esta ley impone que las administraciones competentes aplicarán la jerarquía de residuos con el fin de conseguir el mayor

resultado ambiental global. Además, las administraciones públicas publicarán como mínimo un informe sobre la situación de la producción y gestión de residuos, incluyendo datos de recogida y tratamiento desglosados por fracciones y procedencia.

En relación a los costes de gestión de residuos, se rige de acuerdo con el principio de “quien contamina paga”, es decir los costes relativos a la gestión de los residuos tendrán que correr a cargo del productor inicial de residuos, del poseedor actual o del anterior poseedor de residuos. En la determinación de los costes de gestión de residuos domésticos deberán incluirse el coste real de las operaciones de recogida, transporte y tratamiento de residuos, vigilancia y mantenimiento posterior al cierre de los vertederos.

Además, deberán seguirse por parte de las distintas comunidades, planes y programas impuestos como el Plan Nacional Integrado de Residuos (PNRI) y El Programa Estatal de Prevención de Residuos 2014-2020.

En relación a los envases, en el ámbito estatal, encontramos la **Ley 11/97** de 24 de abril.

En la siguiente tabla, se recogen las principales fortalezas y debilidades del Sistema Integrado de Gestión (SIG):

Tabla 21. Fortalezas y debilidades del SIG

FORTALEZAS	DEBILIDADES
Existe, es viable y tiene continuidad.	El trabajo que se realiza por el SIG sigue siendo desconocido y se hace necesario un esfuerzo de comunicación en lo que a las actividades del sistema se refiere.
Está controlado por la Administración para que le asegure el mayor ingreso posible y por los asociados para que tenga el menor coste.	Depende de la voluntad de los ciudadanos
El sistema implica a muchos actores, ayuntamientos, recicladores, Ecoembes, plantas de tratamiento de los envases, etc., que participan del sistema, regulándolo y velando por su correcto funcionamiento.	No funciona igual en todo el territorio. Las infraestructuras son diferentes.
Es un sistema colectivo. Busca la eficiencia en el conjunto de los materiales: envase metálico, envase de plástico, etc.	Falta de Información efectiva sobre cómo reciclar y donde. Dar más facilidad al ciudadano para que pueda reciclar.
Socialmente equilibrado: tiene unos costes económicos, beneficios medioambientales e incomodidades para la sociedad aceptables. No se le está imponiendo una carga de quitar el tapón, la etiqueta, etc.	
Da valor al envase como recurso.	

6.2 Alternativa número 2. Incineración con recuperación energética

6.2.1 Escenario técnico

Esta última alternativa, supondría pequeños cambios en el sistema de gestión de los residuos con respecto a la incineración llevada a cabo actualmente en España (caso base SOGAMA). Sin embargo, su implantación en Sevilla supondría afrontar mayores cambios, puesto que la incineración de residuos es muy controvertida en la Comunidad Autónoma de Andalucía.

Serían destinados a incineración aquellos envases depositados en el contenedor gris y los envases de contenedor amarillo, excepto las fracciones PET y PVC, estas serían depositadas en vertedero. De manera que con esta alternativa, no se valorizarían aquellos envases que por la calidad o pureza de su material podrían ser valorizados de algún otro modo (reciclaje, valorización energética de alta calidad). Sin embargo, se simplificaría mucho el proceso de la gestión y tratamiento de estos residuos, pues únicamente se separarían dos fracciones, las cuales, incluso, podrían ser depositadas en un tipo de contenedor adecuado para ellas. El resto de envases, serían incinerados.

6.2.2 Escenario económico

El presupuesto general de una planta de incineración de RSU con tecnología de parrilla y recuperación energética, queda recogido en la siguiente tabla:

Tabla 22. Presupuesto parcial de la construcción de una planta de incineración con recuperación energética diseñada con una capacidad de incineración de 225.360ton/año. Fuente: Planta de recuperación de residuos sólidos urbanos con recuperación energética, Alberto Romero Sánchez, 2007

CONCEPTO	COSTE(Euros)	CONCEPTO	COSTE(Euros)
INFRAESTRUCTURA	8.796.933,84	SISTEMA DE CENIZAS Y ESCORIA	1.556.714,51
OBRA CIVIL Y SERVICIOS	11.637.937,83	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA	541.856,40
ESTRUCTURA METÁLICA	2.706.288,31	BÁSCULA DE CAMIONES	67.357,84
HORNO	6.292.719,05	PUENTE – GRÚA Y PULPO	405.643,88
CALDERA	7.172.861,48	SISTEMA ELÉCTRICO	7.307.577,17
LIMPIEZA DE GASES	4.533.931,02	INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL	5.412.576,61
AEROCONDESADORES	3.653.788,58	CHIMENEA	1.353.144,15
SISTEMA AGUA-VAPOR	2.706.288,31	SISTEMAS AUXILIARES	947.500,27
TURBOALTERNADOR	9.337.293,40	PRUEBAS Y PUESTA EN MARCHA	541.856,40

El canon de incineración de una planta de residuos de envase con recuperación energética, como es el caso de la planta SOGAMA, es de: 51,41€/T (18).

6.2.3 Escenario ambiental

Si comparamos esta alternativa con el actual sistema de incineración en España, resulta más ventajosa, ya que estaríamos aprovechando casi la totalidad de residuos de envase para obtener energía, y no serían depositados en vertedero.

6.2.4 Escenario social y normativo

Socialmente, es una alternativa que puede no resultar muy convincente entre los ciudadanos, debido al desconocimiento que tiene sobre este tipo de tecnología. Por otro lado, tampoco se dispone hoy en día de algún tipo de normativa reguladora al respecto, puesto que es una tecnología que no ha sido nunca implantada en la comunidad autónoma de Andalucía, por lo que se debería avanzar mucho en lo que respecta a este ámbito para que esta alternativa propuesta en la ciudad de Sevilla, pudiese ser implantada con éxito y sin ningún tipo de oposición al respecto.

A continuación, se comparan las fortalezas y debilidades tanto del actual tipo de incineración como del modelo de incineración propuesto en este proyecto:

Tabla 23. Fortalezas y debilidades sistema de incineración actual

FORTALEZAS	DEBILIDADES
Sistema ya implantado	Baja aceptación social
Aprovechamiento de residuos para obtener energía, lo que hace disminuir el consumo de la planta o incluso hacerlo negativo	Fuerte oposición de la sociedad y la administración

Tabla 24. Fortalezas y debilidades sistema de incineración con recuperación energética

FORTALEZAS	DEBILIDADES
Se incinerarían todos los envases, a excepción de la fracción PET y PVC, pudiendo así obtener una mayor recuperación energética.	No hay legislación que permita llevarse a cabo en la comunidad de Andalucía
Aprovechamiento de residuos para obtener energía, lo que hace disminuir el consumo de la planta o incluso hacerlo negativo	Ampliación, modificación o construcción de nuevas plantas de incineración
Con respecto al modelo de incineración con recuperación energética implantado actualmente, este permite valorizar no solo los envases depositados en el contenedor gris, sino también, los depositados en el contenedor amarillo	No se reciclaría aquellos envases que por sus características lo permitan

6.3 Alternativa número 3. SDDR +3 fracciones

6.3.1 Escenario técnico

Llegados a este punto, es necesario indicar que para que esta alternativa pudiese ser implantada con éxito, se necesitaría un cambio a nivel nacional. No siendo posible implantar el sistema SDDR únicamente en la provincia de Sevilla.

En cuanto al sistema de recogida de residuos tendríamos dos vías:

-Una primera vía, que sería la recogida convencional de tres contenedores: papel/cartón, restos y materia orgánica, de la cual se haría cargo LIPASAM.

-Una segunda vía, para aquellos envases destinados a SDDR. En la recogida manual no se hará una separación por tipo de material y tampoco se procederá a la compactación de estos envases. Desde los comercios serán transportados hasta las plantas de selección de envases donde se efectuará la separación para su transporte hasta los centros de reciclaje de las tres fracciones de envases. No se espera rechazo en las plantas de selección debido a que los comercios sólo aceptarán los tipos de materiales considerados.

Por otro lado, en las máquinas específicas de retorno, los residuos de envases se separan según tipología de material y se compactarán para disminuir su volumen.

Una vez recogidos serán transportados hasta los centros logísticos propios de cada supermercado o gran superficie mediante logística inversa. Desde aquí serán transportados hasta los centros de reciclaje.

6.3.2 Escenario económico

Se analiza de manera general los costes que supondría implantar este sistema. Datos obtenidos de estudio realizado por Eunomía para Retorna (23) y del estudio realizado por la plataforma Envase y Sociedad por la Universidad de Alcalá de Henares y la Universidad Politécnica de Madrid, 2015 (25).

-El coste inicial de inversión oscila sobre unos 970 millones de euros.

-Cada máquina de retorno o RVM (Reverse Vending Machine) tiene un precio de unos 20.000 euros, siendo necesario implantar unas 24.103 máquinas.

- Existe un coste anual neto para los productores de 120 millones de € (0,007 € por envase comercializado) en toda España.

- Con un índice de devolución global del 89%, el coste para el consumidor sería de 385 millones de € al año, que pagarían aquellos consumidores que prefieran no devolver sus envases al SDDR y que, de este modo, renuncien a su depósito.

- El impacto económico global resultante de la introducción de un SDDR en España tiene un coste neto que se cifra entre 389 y 429 millones de € al año (en función del coste de eliminación). El coste global de la recogida de envases se traslada específicamente a los fabricantes y consumidores, por lo que la población en general dejaría de pagarlo a través del sistema municipal de recogida y tratamiento de residuos.

-Los ciudadanos pagarían unos 0,20-0,30 céntimos por envase recuperado que le sería devuelto una vez se retornase el envase (el importe del depósito debe ser lo suficientemente alto como para incentivar al consumidor a retornar el envase).

-La pérdida de espacio de venta que le supone al comercio la instalación de las máquinas RVM o las big bags para almacenar los envases manualmente, además del tiempo/personal dedicado a la aceptación de los envases retornados/devolución de los depósitos y el mantenimiento de las máquinas, implica también considerables costes que deben asumir los establecimientos.

-Los envases retornados mediante máquinas RVM serán recogidos y transportados mediante logística inversa. Los recuperados por vía manual deben transportarse hasta una planta de conteo donde serán contabilizados, clasificados y compactados antes de trasladarlos al reciclador. Se calcula que serán necesarias entre 60 y 65 plantas de conteo para poder gestionar la cantidad de envases que se recogerían vía manual en todo el territorio nacional y alrededor de 150 plantas de transferencia.

-La introducción del sistema de depósito para envases de bebida de un solo uso requeriría de un nuevo etiquetado (símbolo acreditativo) que indicara de forma clara que dichos envases se encuentran incluidos dentro del sistema de depósito. Por otra parte, actualmente los códigos EAN (código de barras) tan solo contienen información relacionada con el producto, por lo que sería necesario modificarlos incluyendo información sobre el envase para que las máquinas RVM los identifiquen de forma correcta. Eunomia establece un coste de 1,7 M€.

Un estudio pormenorizado de esta alternativa permite concluir que:

Todos los estudios coinciden en que no sería un sistema universal, sino que sólo incluiría un porcentaje de los envases de bebida y debería coexistir con el sistema colectivo actual.

Uno de los factores más importantes a tener en cuenta es la gran implicación que conllevaría para el sector comercial y de distribución, que tendría que destinar espacio comercial, tiempo de trabajo y fondos para la recogida de los envases retornables de un solo uso. Por otra parte, sería imprescindible un nuevo etiquetado con el logo que identificase al envase que está sometido al sistema de depósito y una modificación de los códigos EAN para incluir información sobre el envase, con los costes que ello conlleva.

En cuanto a la estimación de los costes anuales del sistema: Eunomia estima 795 M€, para envases de bebida de un solo uso de PET, HDPE, acero, aluminio, vidrio y cartón bebida. Estas cifras superan los costes de los sistemas colectivos actuales (450 M€ para Ecoembes y 68 M€ para Ecodrío en el año 2013). Hay que tener en cuenta que, a diferencia de los actuales sistemas colectivos de responsabilidad ampliada del productor, el SDDR no gestionaría la totalidad de los envases, por lo que seguiría siendo necesaria la existencia de un SCRAP¹ que gestionara el resto de envases que no se incluyen en el sistema de depósito. Los costes totales derivados de la gestión de residuos de envase tras la implantación de un sistema de depósito se corresponderían con la suma de los costes del sistema de depósito más los costes del sistema colectivo de responsabilidad ampliada del productor resultante.

¹ Sistema colectivo de responsabilidad ampliada del productor

6.3.3 Escenario ambiental

Con este sistema no se obtendría la máxima minimización de vertido, pues se desaprovecharía la mayor cantidad de los residuos de envases, los cuales serían destinados al contenedor de restos y posteriormente incinerados o depositados en vertedero.

A la hora de hablar de los posibles impacto ambientales, al igual que en el caso del SIG, se utilizan datos del estudio realizado por Inédit para Retorna, donde se analizan 7 categorías de impacto ambiental tanto para el SIG como para SDDR: (AD), (AC), (EP), (GW), (ODP (HT), (PO). Para el sistema de depósito, devolución y retorno se establecen tres posibles escenarios:

SDDR: 20% manual y 80% automatizado

SDDR: 50% manual y 50% automatizado

SDDR: 80% manual y 20% automatizado

Para los dos primeros escenarios los impactos ambientales son menores que en el caso del SIG, sin embargo, para el tercer escenario (80% manual y 20% automatizado) los impactos ambientales serían mayores que en el sistema integrado de gestión. En este punto debemos comparar el sistema integrado de gestión con la tercera opción de SDDR, pues es la alternativa más conservadora. Hay que tener en cuenta que la superficie media de los establecimientos en España, es menor que en otros estados miembros, ya que existe una elevada presencia del pequeño comercio tradicional. Esto implica que el porcentaje de recogida manual en España, será mayor que en otros países con SDDR donde la gran mayoría de establecimientos presentan máquinas RVM².

A continuación se observan los impactos obtenidos para cada categoría:

Tabla 25. Impacto del SDDR para cada categoría ambiental como resultado de la etapa de caracterización del ACV para la recuperación del 55%. Fuente: Inédit

Categoría de impacto	Unidades	SDDR
AD	kg Sb eq	1,90
AC	kg SO ₂ eq	1,52
EP	Kg PO ₄ -3 eq	0,254
GW	kg CO ₂ eq	332
ODP	kg CFC-11 eq	0,00000463
HT	kg 1,4-DB eq	93,8
PO	kg C ₂ H ₄	0,110

² Máquinas de retorno (Reverse Vending Machine, RVM): es un dispositivo o máquina que acepta envases de bebida usados y vacíos y devuelve dinero al usuario.

Si analizamos las contribuciones relativas de los diferentes procesos implicados en el sistema bajo estudio para cada una de las categorías de impacto del SDDR, observamos que la etapa correspondiente al transporte interurbano de residuos de envases de PET, latas y bricks recogidos mediante máquina supone los mayores impactos para las 6 primeras categorías consideradas con contribuciones comprendidas entre el 29,01% para la categoría de toxicidad humana (HT) y el 44,8% para la categoría de eutrofización (EP). El transporte interurbano de los envases de PET, latas y bricks recogidos manualmente supone impactos comprendidos entre el 23,7% (HT) y 38,6% (EP) (26).

En cuanto a la infraestructura requerida para la recogida, las máquinas de retorno debido al consumo eléctrico que supone su utilización, constituyen una contribución entre un 2,4% para ODP y un 12,6% para AC. Mientras que la etapa de los contenedores de resto, implica en la categoría de ODP una contribución del 16,8% y un 15,2% en la categoría de oxidación fotoquímica (OP) debido al uso de polietileno de alta densidad para su producción (26).

Finalmente, las etapas que tienen menos impacto son las que corresponden a las recogidas dentro de los municipios de los envases de PET, latas y bricks (con contribuciones inferiores al 0,01% para todas las categorías de impacto).

En la siguiente figura se observa la contribución relativa de las diferentes etapas de transporte de SDDR por categorías de impacto [Figura 33]:

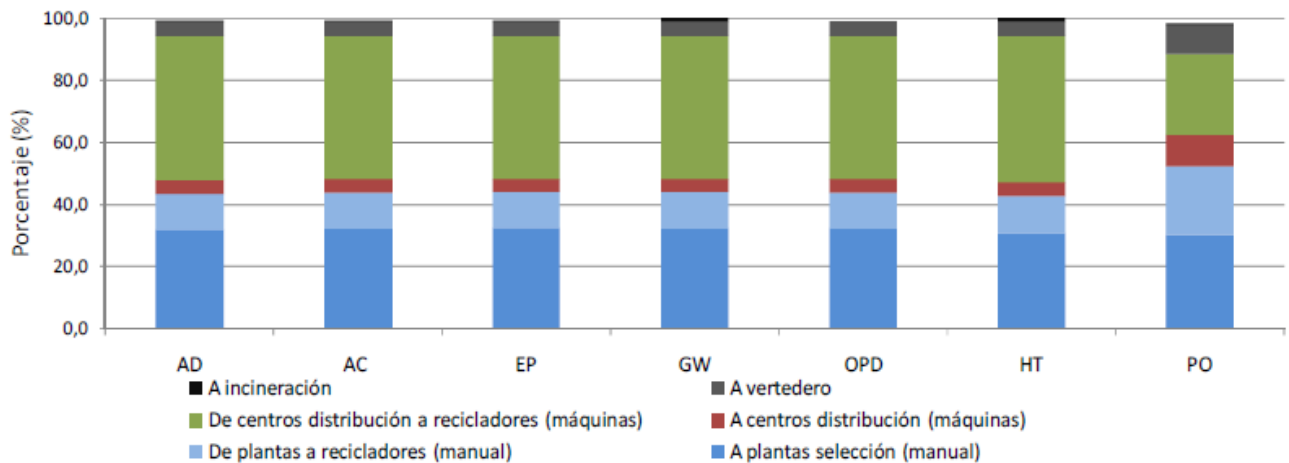


Figura 32. Contribución relativa de las diferentes etapas del transporte del SDDR por categorías de impacto. Fuente: Inédit

Como se señalaba anteriormente, los mayores impactos son debidos al transporte de los envases de PET, latas y bricks recogidos mediante máquinas desde los centros de distribución logística hasta los recicladores debido a la distancia que tienen que recorrer. El transporte de los recogidos manualmente hasta las plantas de selección también tiene contribuciones altas debido a que no se han compactado.

6.3.4 Escenario social y normativo

Con este sistema, el consumidor se vería obligado a modificar sus hábitos actuales en el reciclado de los residuos, ya que los envases PET y HDPE junto con botellas de vidrio, bricks y envases de aluminio serían depositados en el sistema de retorno, mientras que el resto de envases se depositarían en el contenedor de restos (gris).

Por otro lado, sería necesario implantar nueva legislación mediante la cual se puede regular este sistema, puesto que al no ser un sistema implantado ni a nivel provincial, de comunidad autónoma o estatal, no se dispone de normativa reguladora.

En la siguiente tabla, quedan recogidas las principales fortalezas y debilidades de este sistema [Tabla 26]:

Tabla 26. Fortalezas y debilidades. Sistema SDDR + 3 fracciones

FORTALEZAS	DEBILIDADES
Amplia presencia en Europa.	Requiere de una transformación a nivel nacional para su implementación en Sevilla.
Mejora en la calidad de la fracción recuperada.	Supone una inversión en un sistema nuevo.
El ciudadano reciclador se ve menos perjudicado que el que no recicla. Ya que el que recicla recupera su depósito y el que no recicla, pierde su dinero	Sólo gestiona una parte de los residuos de envase. Aquellos que contienen los materiales más valiosos y más limpios.
El sistema quita carga económica al Ayuntamiento, ya que no es necesario que este se encargue de la gestión de los residuos destinados al SDDR.	Cuantos menos envases se retornan, más ingresos recibe la entidad gestora (depósitos no devueltos).
Mejora la limpieza urbana	El funcionamiento en otros países es muy complejo (Alemania por ejemplo).
	Las características sociodemográficas de España y en particular Sevilla, son muy diferentes a las de otros países europeos donde el sistema ha alcanzado altos porcentajes de retorno.
	Incómodo para el comercio, especialmente para el pequeño comercio por el espacio y coste.
	Dificultad de logística por cambio del sistema y resistencia al cambio.
	Necesidad de cambios en la cadena de producción (modificación del código de barras de los envases)
	No ofrece una solución para el sector HORECA

7 CONCLUSIONES Y ESTUDIOS FUTUROS

La alternativa número 1 es la mejor opción para ser implantada a corto plazo en la ciudad de Sevilla y su área metropolitana porque permite alcanzar el mínimo vertido, menores repercusiones ambientales, mínimos cambios en los hábitos de los ciudadanos y menor coste de inversión.

Como recomendación a la gestión de los RSU en esta zona, encuentro lo siguiente:

En primer lugar, sería necesario profundizar en el estudio de la alternativa seleccionada en este proyecto, con el fin de poder ser implantada, no solo en la ciudad de Sevilla, si no en el resto de municipios españoles, en el caso de que el tipo de residuos y la gestión de los mismos en cada comunidad lo permitiera

Además, en un escenario largo plazo, la alternativa número 3, podría ser una opción a considerar para la gestión de residuos de envases.

En segundo lugar, plantearía una serie de medidas legales a llevar a cabo por parte de la Administración correspondiente:

- Reducir el exceso de envases en los productos comerciales, para poder minimizar la gestión de residuos que debe ser asumida por parte de la Administración. Lo que permitiría reducir gastos.
- Eliminar la comercialización de materiales no reciclables, particularmente de PVC, debido a la gran problemática medioambiental que tiene asociado su uso. Con esta medida se reduciría el número de envases destinado a vertedero, pudiéndose aprovechar los envases de PET.

Por último, creo que se deberían dedicar mayores recursos en el ámbito educativo, con el fin de poder concienciar y formar desde los primeros niveles educativos al sector más joven de la población. Con esto no solo se estaría creando conciencia sobre las repercusiones ambientales que tiene asociada la gestión de residuos, también, las repercusiones económicas y sociales.

8 REFERENCIAS

1. Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del consejo de 19 de noviembre de 2008 sobre residuos y por la que se derogan determinadas directivas. 2008.
2. Eurostat. [En línea] 2012.
3. Plan Director Territorial de Gestión de Residuos No Peligrosos de Andalucía. 2010-2019.
4. Lipasam. [En línea] 2016. [Citado el: 12 de Febrero de 2016.] <http://www.lipasam.es/>.
5. [En línea] [Citado el: 2 de abril de 2016.] <http://www.manguadalquivir.com/>.
6. [En línea] [Citado el: 5 de abril de 2016.] http://www.aborgase.com/nuestras_actividades.html.
7. [En línea] [Citado el: 5 de abril de 2016.] <http://web.lavegamacomunidad.es/>.
8. **Spain, Invest in.** *Tratamiento de residuos plásticos procedentes de RSU.* 2015.
9. *El papel de la Química en la valorización de los residuos plásticos.* **José Aguado, David P. Serrano, José María Escola, Laura Briones.** Madrid : s.n., 2011.
10. *Waste Management.* **S. M. Al-Salem, P. Lettieri, J. Baeyens.** 2009, 29, 2625–2643.
11. *Recycling and Recovery of plastics.* **J. Brandrup, M. Bittner, W. Michaeli, G. Menges.** Munich, 1996, 499–500.
12. *Texaco Gasification Process.* s.l. : Agencia de protección medioambiental de los Estados Unidos (EPA), 1995.
13. *FuelProcess.Technol.* **J. M. Encinar, J. F. González.** 2008, 89, 678–686.
14. **A. Tukker, H. de Goot, L. Simons, S. Wieggersma, Chemical recycling of plastic wastes: PVC and other resins.** Netherlands Organization for Applied Scientific Research, para la Comisión Europea. 1999.
15. **J. Aguado, D. P. Serrano, J. M. Escola.** *Ind. Eng. Chem. Res.* 2008, 47,7982–7992.
16. *Ind.Eng. Chem.*40, 2220–2225. **G. Manos, I. Y. Yusof, Y. N. Papayannakos, N. H. Gangas.** 2001.
17. *Reciclado de residuos plásticos.* **José M Arandes1, Javier Bilbao1, Danilo López Valerio2.** 1, 2004, Vol. 5.
18. AEVERSU. [En línea] [Citado el: 1 de abril de 2016.] <http://www.aeversu.org/>.
19. *Case Study 3 .Cynar Plastics to Diesel.* **Ricardo-AEA.** 1, s.l. : ZWSA, 2013.
20. **Iresiduos.** <http://www.iresiduo.com/>. [En línea] 5 de julio de 2016. [Citado el: 20 de octubre de 2016.] <http://www.iresiduo.com/noticias/espana/generalitat-valenciana/16/07/05/implantacion-sddr-comunidad-valenciana-proceso>.
21. *waste management planning based on substance flow analysis.* **Umberto Arena, Fabrizio Di Gregorio.** Napoles : Resources, Conservation and Recycling, 2013.
22. *An analysis of European plastics production, demand and waste data.* **PlasticsEurope.** 2015.
23. **Dr. Debbie Fletcher, Dr. Dominic Hogg, Maxine von Eye, Timothy Elliott y Leila Bendali.** *Evaluación de costes de introducción de un sistema de depósito, devolución y retorno en España.* s.l. : EUNOMÍA research & consulting, 2012.

-
24. youtube. [En línea] Tv Retorna, 19 de diciembre de 2010. [Citado el: 2016 de junio de 13.] <https://www.youtube.com/watch?v=XmU1w0tyvi0>.
25. **Henares, Universidad Politécnica de Madrid y por la Universidad de Alcalá de.** *Estudio comparativo de los modelos de gestión de envases domésticos en España, Bélgica, Alemania y Noruega.* 2015.
26. **sostenibilitat), INÉDIT (inovación per a la.** *Análisis de Ciclo de Vida de la gestión de residuos de envases de PET, latas y bricks mediante SIG y SDDR en España.* 2011.

