

Diagnóstico de la gestión de residuos de competencia municipal. Caso 2: modelo 4 contenedores. Aplicación del programa SIMUR

Diciembre 2011
Informe de resultados



Agència
d'Ecologia Urbana
de Barcelona

Documento elaborado por:
Agència d'Ecologia Urbana de Barcelona

Estudio encargado por el MARM



Dirección	
	Salvador Rueda
Coordinación	
	Marta Vila Gemma Nohales
Técnicos	
	Alicia Grima Montse Masanas Mariona Morera Gemma Nohales Miguel Angel Pérez

INDICE

1. Introducción	5
2. Análisis de la gestión de residuos	5
2.1. Datos básicos del ámbito de estudio	5
2.2. Descripción del modelo de gestión de residuos	5
2.3. Resultados del análisis del escenario actual	8
2.3.1. Indicadores de servicio.....	8
2.3.2. Balance de masa.....	9
2.3.3. Balance energético.....	14
2.3.4. Impactos ambientales.....	18
3. Anexo	22
3.1. Anexo balance de masa	22
3.2. Anexo balance energético	23
3.3. Anexo impactos ambientales	25
3.3.1. Inventario de emisiones.....	25
3.3.2. Metodología de cálculo de los potenciales de impacto.....	27

INDICE TABLAS

TABLA 1. Residuos recogidos y gestionados.....	8
TABLA 2. Indicadores de servicio ámbito domiciliario casco urbano.....	8
TABLA 3. Producción de residuos.....	12
TABLA 4. Indicadores de recogida separada bruta, neta y nivel de impropios..	12
TABLA 5. Balance energético inicial.....	14
TABLA 6. Balance energético final municipal.....	16
TABLA 7. Indicador de consumo de los servicios de recogida.....	17
TABLA 8. Perfil ambiental de la gestión de los residuos municipal.....	19
TABLA 9. Recogida Punto Limpio.....	22
TABLA 10. Definición de los indicadores de recogida separada.....	22
TABLA 11. Fuentes de los datos de las plantas de tratamiento.....	22
TABLA 12. Definición de los indicadores de primer destino.....	23
TABLA 13. Definición de los indicadores de destino final utilizados.....	23
TABLA 14. Metodología y criterios de cálculo del balance energético.....	24
TABLA 15. Inventario emisiones al aire.....	25
TABLA 16. Inventario emisiones al agua.....	26
TABLA 17. Metodología y criterios de cálculo del balance de emisiones.....	27
TABLA 18. Resumen de indicadores de impacto ambiental.....	30

INDICE FIGURAS

FIGURA 1. Instrumentos técnicos 2010.....	7
FIGURA 2. Esquema del proceso.....	10
FIGURA 3. Balance Sistema-Entorno.....	11
FIGURA 4. Bolsa tipo municipal.....	12
FIGURA 5. Indicadores de Primer destino.....	13
FIGURA 6. Indicadores de destino final.....	13
FIGURA 7. Balance energético final parar etapas y plantas de tratamiento.....	17
FIGURA 8. Balance energético final parar etapas y plantas de tratamiento sin crédito energético.....	17
FIGURA 9. Balance energético de la recogida.....	17
FIGURA 10. Perfil ambiental de la gestión de los residuos del municipio (contribuciones relativas).....	19
FIGURA 11. Potenciales de impacto normalizados.....	20
FIGURA 12. Potenciales de impacto normalizados (sin ahorro por reciclaje)....	21
FIGURA 13. Potenciales de impacto normalizados (sin ahorro por reciclaje ni depósito controlado).....	21

ACRÓNIMOS

ACV: Análisis de Ciclo de Vida	RPM: Residuo Peligroso de competencia Municipal
BM: Balance de Masa	RPPQ: Residuo Peligroso de competencia municipal en Pequeñas Cantidades
BE: Balance de Energía	RSU: Residuo Sólido Urbano/residuos sólido de competencia municipal
BI: Balance de Emisiones/Impactos	RV: Residuo Verde o Vegetal
CCAA: Comunidad Autónoma	RS: Recogida Separada
CDR: Combustible Derivado de Residuos	RSB: Recogida Separada Bruta
DC: Depósito Controlado o Vertedero	RSN: Recogida Separada Neta
E: Energía	SDDR: Sistema de Depósito, Devolución y Retorno
EE: Energía Eléctrica	SIG: Sistema Integrado de Gestión de Residuos (denominados en la nueva Ley como sistemas colectivos de responsabilidad ampliada del productor)
EELL: Envases Ligeros	TMB/TBM: Tratamiento Mecánico-Biológico o Tratamiento Biológico-Mecánico
FO: Fracción Orgánica	TTO: Tratamiento
FORS: Fracción Orgánica de residuos de competencia municipal Recogida Separadamente	V: Vidrio
FI: Fracción Inorgánica o seca de residuos de competencia municipal	VFU: Vehículos Fuera de Uso
FV: Fracción Verde o Vegetal de los residuos de competencia municipal	VMP: Valorización Material Primaria
GEI: Gases Efecto Invernadero	VMS: Valorización Material Secundaria
GN: Gas Natural	VOL: Residuo Voluminoso de competencia municipal
GNL: Gas Natural Licuado	
IT: Instrumentos Técnicos	
MF: Metales Férricos	
MNF: Metales no Férricos	
MO: Materia Orgánica	
MOFR: Materia Orgánica contenida en la Fracción Resto	
NFU: Neumáticos Fuera de Uso	
PC: Papel y cartón	
PA: Potencial de Acidificación	
PCG: Potencial de Calentamiento Global	
PCI: Poder Calorífico Inferior	
PE: Potencial de Eutrofización	
PEC ad: Potencial de Ecotoxicidad al agua dulce	
PEC am: Potencial de Ecotoxicidad al agua marina	
PEC t: Potencial de Ecotoxicidad terrestre	
PF: Plástico Film	
PNIR: Plan Nacional Integral de Residuos	
PR: Plástico Rígido	
PTH: Potencial de Toxicidad Humana	
R: Rechazo	
RAEE: Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos	
RCD: Residuos de la Construcción y Demolición	
RD: Residuo Doméstico	
RM: Residuo de competencia Municipal	
RMB: Residuos de competencia Municipal Biodegradables	

1. Introducción

Los sistemas urbanos son sistemas abiertos, es decir, que necesitan explotar otros sistemas (entorno) para mantenerse organizados, y necesitan, también, proyectar sobre este entorno los residuos generados fruto de su actividad. En el caso del flujo de materiales dependerá del modelo de gestión urbana que se adopte (en este caso el modelo de gestión de residuos) que el impacto por explotación o contaminación sobre los sistemas de apoyo (entorno) sea mayor o menor. Respecto a los flujos de materiales, esta consideración adquiere gran relevancia porque consumimos productos que pueden venir de cualquier parte de nuestro planeta y los efectos también pueden tener un ámbito global y no sólo local o regional.

De esta visión de los sistemas urbanos surge el modelo analítico sistema-entorno, que establece un análisis de la gestión de los flujos materiales a partir de una aproximación de los flujos de residuos urbanos. Así, este modelo permite llevar a cabo un análisis integrado de los diferentes factores que inciden o son causados por el modelo de organización de los flujos de materiales. Permite tener en cuenta hechos tan distintos como su integración en el modelo energético (p. e. aprovechamiento del biogás), las repercusiones en el cambio climático (como las emisiones de metano y dióxido de carbono) o la fertilidad del suelo (o la falta de materia orgánica en él).

Las estrategias de los entes locales tienen que centrarse en potenciar la prevención y reutilización de residuos, la preparación para la reutilización, la recogida separada, la valorización de los residuos separados en origen y de aquellos contenidos en la Fracción Resto y la desviación de materiales valorizables, especialmente biodegradables, de los vertederos.

Con el fin de determinar los resultados de los modelos de gestión y establecer sus puntos fuertes y débiles y las posibles actuaciones de futuro, se lleva a cabo la presente evaluación ambiental y de gestión, partiendo del modelo desarrollado en el ámbito de estudio y sus resultados correspondientes al año 2010.

El análisis del modelo de gestión de residuos se lleva a cabo mediante la aplicación del programa de simulación de la gestión de residuos SIMUR (Sistema de Información y Modelización Urbana de Residuos) creado por la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. El SIMUR simula la gestión de residuos a lo largo de todo su ciclo, es decir, desde que se generan hasta su deposición final. A partir de su aplicación se obtienen:

- Indicadores de servicio
- Balance de masa e indicadores relacionados
- Balance energético e indicadores relacionados

- Balance de emisiones, potenciales de impacto e indicadores relacionados

2. Análisis de la gestión de residuos

2.1. Datos básicos del ámbito de estudio

Para determinar posibles relaciones entre el modelo de gestión elegido y desarrollado en un ámbito concreto y sus resultados, se debe tener en cuenta, además de todos los instrumentos de gestión, el contexto territorial y socioeconómico y el perfil urbanístico de dicho ámbito.

[...]

2.2. Descripción del modelo de gestión de residuos

Organización de la gestión de residuos

En la actualidad, la recogida de competencia municipal de residuos afecta a los Residuos Domiciliarios (RD) producidos en el municipio y a los Residuos comerciales y otros similares a los domésticos producidos en los comercios y otras actividades económicas del término municipal.

La recogida de competencia municipal de los RD se realiza de manera separada, con un modelo de segregación de cuatro fracciones, que no incluye la separación en origen de la Fracción Orgánica, tal y como se detalla en la tabla de los instrumentos técnicos (ver página 7). La recogida de las actividades económicas está integrada en los contenedores y servicios domiciliarios, con la excepción de papel y cartón comercial que dispone de un servicio específico en fin de semana.

La recogida de todas las fracciones en contenedores, la recogida de voluminosos y podas, la recogida comercial de cartón y la gestión del punto limpio (Ecoparque) se lleva a cabo a través de una contrata municipal del servicio adjudicada a XXX. Por su parte, el servicio de recogida del textil, pilas en vía pública y establecimientos se llevan a cabo mediante otros convenios con empresas específicas y, en el caso de las pilas en comercios con la Diputación.

Instrumentos técnicos de la gestión actual

En el siguiente diagrama se resume, a partir de los instrumentos técnicos desplegados, el modelo de gestión de residuos del municipio. Únicamente se ha diferenciado un ámbito de recogida municipal que engloba todos los servicios de recogida prestados, e incluye el único servicio diferenciado de papel-cartón comercial.

Las etapas que se muestran son:

- Recogida: fracciones recogidas separadamente, tipos de sistemas utilizados, frecuencia de recogida,...
- Transporte: tipo de camiones utilizados para la recogida y transporte al primer destino.
- Tratamiento: planta o plantas de destino de los residuos (si existe, transferencia de residuos)
- Destino final: materiales resultantes de la gestión o rechazo final a vertedero.



























DOMICILIOS Y COMERCIOS SIN RECOGIDA ESPECÍFICA							
 1100 Contenedor c. lateral y trasera para Resto de 1000L 7 veces por semana	 89 Contenedores iglú para Envases Ligeros de 3000 L (metálicos, de fibra o de poliestireno) 1 vez por semana (julio y agosto 2 veces por semana)	 97 Contenedores iglú para papel y cartón de 3000 L (metálicos, de fibra o de poliestireno) 1 vez por semana (julio y agosto 2 veces por semana)	 Puerta a puerta Papel y cartón comercial Recogida junto a los contenedores 1 vez por semana (sábados)	 92 Contenedores iglú para vidrio de 3000 L (metálicos, de fibra o de poliestireno) 1 vez por semana	 Voluminosos junto a las fachadas de los peticionarios previa llamada telefónica y junto a los contenedores de calle 7 veces por semana	 Punto limpio fijo 1 Ecoparque Entrega de peligrosos, voluminosos, restos vegetales y otros valorizables	RECOGIDA
 3 camiones compactadores c. lateral 22 m³	 1 camión carga trasera 22 m³	 1 camión con pluma carga superior 22 m³	 1 Camión con pluma carga superior 22 m³	 1 Camión con pluma carga superior 22 m³	 Volquete con plataforma (equipo viaria)	 Varios vehículos	TRANSPORTE
 Planta de Tratamiento Mecánico-Biológico Línea de selección de materiales Línea de compostaje	 Planta de selección envases	 Planta selección de papel y cartón	 Planta selección de vidrio	 Planta de tratamiento voluminosos	 Plantas de tratamiento de especiales y otros Voluminosos y poda	TRATAMIENTO	
 Vertedero	 Vertedero	 Vertedero	 Vertedero	 Vertedero	 Vertedero	DESTINO FINAL	
Materiales reciclados	Materiales reciclados	Papel y cartón reciclado	Vidrio reciclado	Materiales reciclados	Materiales reciclados	MATERIALES	
Recogida de residuos de limpieza viaria, limpieza playas y mercados.	TEXTIL recogida en 5 contenedores metálicos de 4m³ en la vía pública y 1 en Ecoparque (3 veces semana).	PILAS recogida en contenedores instalados en expositores publicitarios (MUPIS) y contenedores en establecimientos especializados (convenio con Diputación).	PODA recogida junto a las fachadas de los peticionarios, previa llamada telefónica y junto a los contenedores de calle (servicio conjunto con voluminosos). Recogida de poda municipal.	FARMACOS recogida en los establecimientos especializados gestionada por SIGRE.			

FIGURA 1. Instrumentos técnicos 2010

En la tabla siguiente se detallan los datos de recogida de residuos del año 2010, que son los datos de base utilizados para llevar a cabo el análisis del balance de masa¹.

Fracciones recogidas	Tm 2010
Fracción Resto contenedores	12.232,780
Residuos voluminosos y poda a demanda	2.540,580
Papel y cartón contenedores	316,246
Vidrio contenedores	376,900
Envases ligeros contenedores	159,910
Poda de Llovellús	139,600
Residuos de limpieza viaria	231,700
Residuos de mercados	1,000
Residuos de limpieza de playas	73,980
Textil contenedores	26,289
Pilas establecimientos esp.	0,635
Pilas MUPIS vía pública	9,500
Voluminosos Ecomarque	134,820
Poda Ecomarque	105,500
No definidos Ecomarque	7,100
Resto de residuos Ecomarque	1.609,387
TOTAL	17.965,927

TABLA 1. Residuos recogidos y gestionados
Fuente: Ayuntamiento de XXX

¹ Para los residuos del Ecomarque englobados en la categoría "Resto de residuos del Ecomarque" se ha estimado su peso ya que los datos de partida eran en litros/m³ a partir de factores de conversión estándares. Las cantidades de cartón de la recogida comercial se contabilizan conjuntamente con la recogida en contenedores.

2.3. Resultados del análisis del escenario actual

2.3.1. Indicadores de servicio

Al valorar los resultados de un modelo es necesario tener en cuenta los indicadores de servicio que determinan el alcance y las características del servicio que se está prestando al ciudadano para la correcta gestión de sus residuos.

Fracción	Nº contenedores	Indicador dotación de contenedores Habitantes servidos/contenedor	Indicador capacidad de recepción L/habitante/mes
Papel y cartón	97	187,69	69,45
Envases ligeros	89	204,56	63,73
Vidrio	92	197,89	65,87
Resto	1.100	16,56	1.837,76
Textil	6	3.034,33	2,39E-04
TOTAL	-	-	2.036,83

TABLA 2. Indicadores de servicio ámbito domiciliario casco urbano²

Los indicadores resultantes de habitantes/contenedor presentan unos valores muy adecuados, e incluso inferiores a los valores comunes para los sistemas de recogida en contenedores en la vía pública de acera para la Fracción Resto (se establece un ratio de 100 hab/cont) y de áreas de aportación para el papel, vidrio y envases (se establece un ratio de 300 hab/cont). Especialmente destaca la gran dotación de contenedores de Resto, que deriva de un diseño del sistema pensado para dar también servicio a la población estacional que se suma durante las épocas de afluencia de turismo y que más que triplica los usuarios servidos.

La capacidad de recepción obtenida está muy por encima de los valores habituales de otros sistemas de gestión (entre 600 y 1.200 L/hab/mes), debido a los motivos comentados anteriormente.

El número de entradas al punto limpio por cada mil habitantes es de 210, de manera que la participación en esta recogida no es muy destacada.

² No se contabilizan los contenedores de pilas. No se dispone de datos sobre el tipo de usuarios que acceden a los puntos limpios fijos.

2.3.2. Balance de masa

Los datos de recogida de los residuos y las caracterizaciones de los residuos recogidos³, junto con los datos de los procesos que se llevan a cabo en las plantas de destino, sirven para calcular los resultados del balance de masa que se detallan a continuación:

a) Esquema proceso y balance sistema-entorno

Las figuras que se exponen a continuación muestran el Esquema del Proceso de gestión de residuos que reproduce el balance de masa completo en las diferentes etapas de gestión para todos los residuos que se generan anualmente y el Balance Sistema Entorno que sintetiza el primer esquema.

³ Las composiciones de la fracción Resto proceden de estudios de caracterización de los residuos generales entrados a la planta de TMB. La composición de los envases procede de los estudios de caracterización de Ecoembes específicos para el flujo procedente del municipio. Las composiciones utilizadas del vidrio y el papel-cartón corresponden a valores estándares (Anexo 3.1). Por sus características no se ha considerado impropios en el resto de recogidas específicas (papel y cartón comercial, voluminosos, poda, pilas, textil y punto limpio).

b) Producción y composición de los residuos

A partir de los residuos recogidos y de sus composiciones se obtiene la generación total de residuos que permite calcular el índice de generación por habitante y la generación de cada fracción específica que corresponde a la bolsa tipo municipal.

Índice de producción por habitante	
Municipal Kg./hab./día	2,704

TABLA 3. Producción de residuos

La producción de residuos por habitante y día resulta muy superior al valor medio español para el 2009 (1,499 kg/hab./día, MARM).

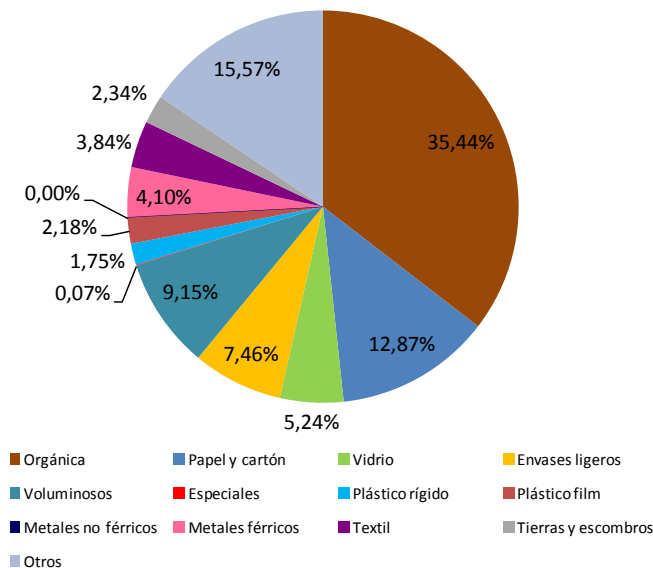


FIGURA 4. Bolsa tipo municipal

En la composición de los residuos, la proporción de Fracción Orgánica resulta inferior al valor promedio español (composición PNIR), incluso teniendo en cuenta la gran producción de restos vegetales del municipio. Los valores para el vidrio son algo inferiores a las proporciones comunes, al igual que el de los envases, pero destaca la

reducción en las proporciones de papel-cartón. En cambio tienen un peso muy notable especialmente la fracción Otros y en segundo lugar los voluminosos.

c) Niveles de recogida separada

A partir de los resultados del balance de residuos recogidos y su contenido en impropios se obtienen los siguientes indicadores relacionados con los niveles de recogida separada (ver definiciones en Anexo 3.1) expresados para el global del municipio:

Recogida Separada	Recogida separada bruta Tm	% sobre generado	% impropios ⁴	Recogida separada neta Tm	% sobre generado
Papel y cartón	344,47	14,90%	5,13%	328,25	14,20%
Envases ligeros	159,91	11,93%	21,35%	125,77	9,38%
Vidrio	382,15	40,62%	2,47%	372,84	39,63%
Metales férricos	561,12	76,22%	-	561,12	76,22%
Textil	26,289	3,81%	-	26,29	3,81%
RAEE*	280,56	100,00%	-	280,56	100,00%
Voluminosos	1207,78	89,00%	-	1207,78	89,00%
Escombros	421	100,00%	-	421	100,00%
Poda	2.023,51	70,23%	-	2.023,51	70,23%
Peligrosos*	11,68	100,00%	-	11,68	100,00%
Otros ⁵	7,99	0,29%	-	7,99	0,29%
TOTAL	5.426,47	30,20%		5.366,82	29,87%

TABLA 4. Indicadores de recogida separada bruta, neta y nivel de impropios

*Cabe apuntar que las recogidas que resultan del 100% de captura del material están supeditadas a la no detección o especificación de dichos materiales en la composición promedio de la Fracción Resto.

Los niveles de recogida separada no son destacables para un modelo de recogida en contenedores. Estos niveles se podrían incrementar si se desarrollaran más recogidas comerciales diferenciadas y la recogida separada de Fracción Orgánica la cual favorece la creación de sinergias que refuerzan el resto de recogidas.

A nivel de detalle, se contraponen el importante porcentaje de recogida de vidrio con casi el 40% de captura respecto al generado, por lo que este servicio tiene éxito, aunque no permite la consecución de los objetivos para este material de la normativa de envases (60% de reciclado). Para el papel se está muy por debajo de dichos

⁴ Proporción de materiales no solicitados en los sistemas de recogida en contenedores.

⁵ Incluye la recogida de aceites y fracción otros del punto limpio.

objetivos (60% de reciclado) ya que los niveles de recogida separada son reducidos y no siguen la tendencia general de estar en rangos parecidos, aunque inferiores, a los del vidrio.

Para los envases ligeros se debe aumentar los resultados de captura de esta fracción ya que la recogida separada actual es poco destacada, por lo que a nivel de materiales, no permite alcanzar los objetivos de la normativa (obj. de reciclado de plástico 22,5% y metales 50%)⁶. El nivel de impropios de los envases ligeros resulta ser un valor muy aceptable para las recogidas en contenedores, aunque siempre mejorable.

Para el resto de fracciones minoritarias, la tendencia general para estos materiales es tener una captura elevada, especialmente verificada para los voluminosos, la poda y los metales. A pesar de ello como los datos para los peligrosos, escombros y RAEE están supeditados a la no detección en la composición de la Fracción Resto, no permite sacar conclusiones más precisas. Finalmente los textiles obtienen unos niveles muy bajos de recogida separada.

d) Indicadores de primer destino

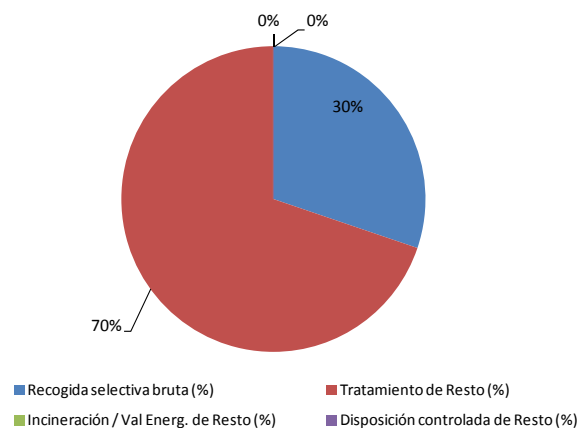


FIGURA 5. Indicadores de Primer destino

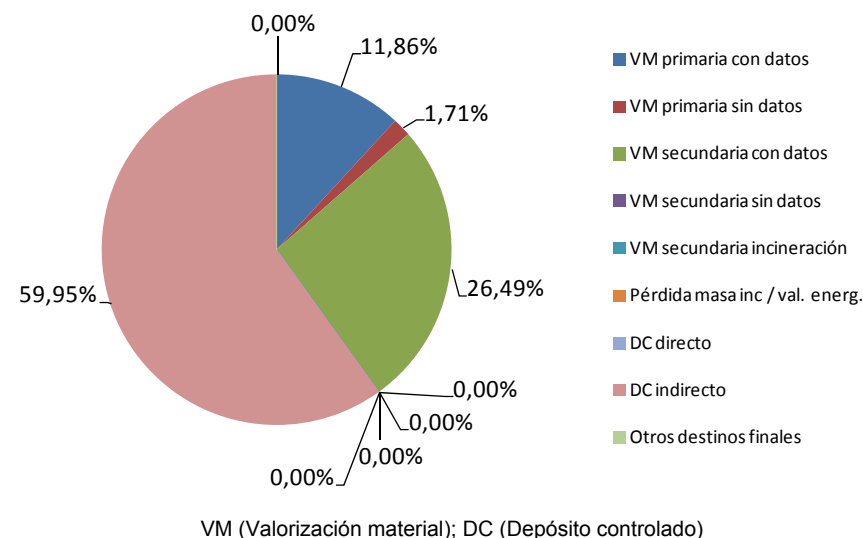
Los indicadores de primer destino muestran cómo se recogen los residuos y cuáles son los destinos iniciales que se les asigna (ver definiciones en Anexo 3.1).

⁶ La nueva Directiva 98/2008 establece como objetivo una valorización (reciclaje y reutilización) del 50% de los materiales para el 2020, por tanto, por el momento no se alcanza el cumplimiento de este objetivo.

El análisis de la gestión actual muestra unos indicadores de primer destino con un 30% de los residuos gestionados a través de la recogida separada y un 70%, que corresponde a la Fracción Resto, destinada a tratamiento.

d) Indicadores de destino final

Los indicadores de destino final (ver definiciones en Anexo 3.1) muestran los resultados de gestión de todo el proceso de tratamiento de los residuos, especificando si se obtienen materiales recuperados (materiales para reciclar -valorización material primaria o secundaria), pérdidas de masa de residuos durante los tratamientos (valorización energética o fabricación de CDR), o bien, si los residuos se destinan a depósitos controlados (de forma directa o indirecta como rechazos de plantas).



VM (Valorización material); DC (Depósito controlado)

FIGURA 6. Indicadores de destino final

Como destino final destacado pero no mayoritario, con un 60%, aparece el vertido en depósito controlado indirecto resultante de la gestión de los rechazos de plantas, principalmente de la instalación de tratamiento mecánico-biológico. Según esto, la gestión favorece la desviación de materiales del vertedero y la reducción del vertido de flujos biodegradables. A pesar de ello, los rechazos de la planta de Resto especialmente (y de la planta de voluminosos donde se separan de la poda), contienen cierto porcentaje de materiales biodegradables.

La valorización material primaria finalmente corresponde a un 12% de los residuos gestionados, que sumada a la importante valorización material secundaria derivada de la recuperación de materiales del Resto en la planta de TMB, que supone un 26,5% (y a el pequeño porcentaje de valorización sin datos), se obtiene una valorización total de un 40% que resultará un valor muy destacable.

Cabe añadir que la recuperación de metales en la planta TMB permite aumentar los valores de recuperación de la recogida separada, de manera que para los metales casi permite alcanzar los objetivos de la normativa de envases.

2.3.3. Balance energético

El cálculo y la evaluación del coste/generación energética que se produce desde que los generadores acuden al punto de recogida hasta que los residuos acaban en su destino final se han diferenciado en 5 etapas del proceso de gestión de los residuos

- **Consumo energético de disposición de los residuos en el punto de recogida**, calculado a partir de las entradas que se hacen en vehículo privado al punto limpio y la distancia media de éste al centro del municipio.
- **Coste energético de la recogida de los residuos**, donde se realiza una estimación del consumo asociado a la recogida de los residuos generados a partir de los datos reales disponibles de consumos de cada servicio.
- **Coste/generación energética de los tratamientos y disposición final**, donde se cuantifica el consumo y la generación energética una vez los residuos entran a las pertinentes plantas de tratamiento (planta de selección envases, planta de tratamiento mecánico-biológico, vertedero...) a partir del consumo/generación de combustibles y electricidad por tonelada tratada de las plantas consideradas;
- **Consumo energético de los transportes intermedios**, donde se determina el combustible utilizado por las flotas encargadas de efectuar los transportes entre dos plantas y las transferencias, a partir de una matriz de distancias⁷.
- **Crédito energético o Ahorro debido al reciclaje**, donde se calcula el ahorro energético que supone la recuperación de los materiales para ser reciclados⁸.
- Para más información sobre la metodología consultar el [Anexo 3.2](#)

⁷ Incorpora los traslados de rechazos desde las principales plantas de tratamiento hasta su destino final en el vertedero.

⁸ Los datos de MJ/Tm recuperada que se ahorra por el reciclaje de materiales proceden de BUWAL 250 (1998). Este ahorro energético corresponde a la diferencia de consumo entre la producción de una tonelada de papel, vidrio, textil, metal, plástico a partir de materias primas vírgenes o a partir de materiales reciclados. Hay que recordar que no se contabiliza por falta de datos el ahorro por reciclaje de obtener compost.

De esta manera, se determina para cada una de las etapas del proceso de gestión de los residuos municipales, el consumo y la generación energética, en relación a los combustibles y electricidad⁹.

Hay que tener presente que todos los datos están expresados en función del consumo/generación energéticos derivados de la gestión de la cantidad de residuos anuales que se producen (no corresponden a un consumo o generación de energía anual).

	Consumo gasolina (L)	Consumo diesel (L)	Consumo GN (Nm³)	Consumo eléctrico (kWh)	Gen. biogás como GN (Nm³)	Gen. electricidad (kWh)
Punto limpio fijo	1.225,92	1448,12				
Contenedores Acera - Resto		55.888,51				
Contenedores A. Aportación - Papel y cartón		6.334,84				
Contenedores A. Aportación - Vidrio		2.443,41				
Contenedores A. Aportación - Envases ligeros		5.411,91				
Total recogida y primer destino	1.225,92	7.1526,78				
Transporte entre plantas		63,19				
Planta reciclaje aceites vegetales		15,26		8,99		
Planta reciclaje RCD		244,18		467,31		
Planta selección envases ligeros		174,30		11.625,46		
Planta reciclaje voluminosos		3.718,81		22.125,56		
Depósito controlado		3.796,57				
Planta de TMB		30.572,07		545.820,13		
TOTAL	1.225,92	110.111,16		580.047,45		

TABLA 5. Balance energético inicial¹⁰

⁹ Tal y como se puede observar, dentro del balance energético global no se ha tenido en cuenta el coste energético derivado de la etapa de producción de bienes y productos consumidos que posteriormente se convierten en residuos.

¹⁰ Por las características de las recogidas no se ha podido contabilizar los siguientes consumos: pilas, voluminosos y poda a demanda y textil. El consumo de la recogida comercial de cartón está agregado con la de contenedores. Los transportes entre plantas incluyen los transportes de rechazos de las plantas de papel vidrio y envases. Para más información sobre los datos de consumo/generación de la plantas ver Anexo.3.2

Con el fin de obtener un balance energético global que se pueda comparar, se aplican a los valores de consumos/generación de la tabla anterior, los porcentajes de eficiencia en la producción, transporte y suministro de los combustibles y de la electricidad. En este último caso se considera el perfil eléctrico español para calcular la eficiencia promedio de consumo/producción de electricidad a partir de las diferentes fuentes. Asimismo, se incluye en el balance el ahorro por reciclaje resultante de la recuperación de materiales¹¹

¹¹ No se incluye el ahorro energético derivado del uso de compost generado debido a la falta de datos comparativos en este sentido respecto de la producción y uso de fertilizantes químicos u otras enmiendas orgánicas. Los materiales que más contribuyen a aumentar el crédito energético son los plásticos y los metales, puesto que, su factor de ahorro energético por tonelada es muy importante, cosa que compensa también la costosa recogida de estos envases ligeros.

		Balance gasolina (MJ)	Balance diesel (MJ)	Balance GN (MJ)	Biogás como GN (MJ)	Balance eléctrico (MJ)	Balance energético neto (MJ)	Residuos gestionados (Tm/año)	Indicador (MJ/Tm)
Recogidas	Punto limpio fijo	60.906,64	67.707,63				128.614,26	1.856,81	69,27
	Contenedores Acera - Resto		2.613.100,70				2.613.100,69	12.232,78	213,62
	Contenedores A. Aportación - Papel y cartón		296.189,04				296.189,04	316,25	936,58
	Contenedores A. Aportación - Vidrio		114.243,30				114.243,30	376,90	303,11
	Contenedores A. Aportación - Envases ligeros		253.036,963				253.036,96	159,91	1582,37
	Total recogida y primer destino	60.906,64	3.344.277,62				3.405.184,25	17.965,93	189,54
Plantas y destino final	Transporte entre plantas		2.954,36				2.954,36	67,20	43,96
	Planta reciclaje aceites vegetales		713,65			69,67	783,32	0,89	880,14
	Planta reciclaje RCD		11.416,78			3.621,93	15.038,71	421,00	35,72
	Planta selección envases ligeros		8.149,59			90.104,11	98.253,70	159,91	614,43
	Planta reciclaje voluminosos		173.875,00			171.486,04	345.361,05	2.675,40	129,09
	Depósito controlado		177.510,79				177.510,79	10.770,40	16,48
	Planta de TMB		1.429.415,34			4.230.425,95	5.659.841,29	12.791,66	442,46
	TOTAL 1	60.906,64	5.148.313,14			4.495.707,70	9.704.927,47	17.965,93	540,19
	Crédito energético por reciclaje						-21.142.708,20	1.575,31	-13.421,29
	TOTAL 2						-11.437.780,74	17.965,93	-636,64

TABLA 6. Balance energético final municipal

El balance energético final resulta positivo debido a que no se da ningún tipo de recuperación de energía en el modelo (la planta TMB dispone de un proceso de compostaje y en el vertedero no se realiza recuperación ni aprovechamiento de biogás), por lo que únicamente se contabilizan costes energéticos de la recogida y transportes (con consumos de diésel destacados) y el consumo de las plantas de tratamiento (la planta TMB tiene el mayor consumo registrado) y selección. Al añadir el crédito energético derivado de la recuperación de materiales el balance final pasa a ser negativo, ya que este ahorro de energía es tan importante como para compensar los costes de gestión.

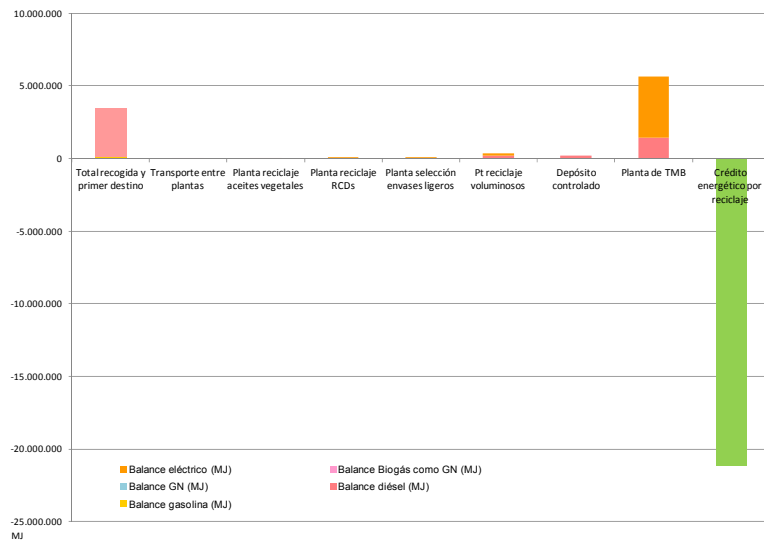


FIGURA 7. Balance energético final para etapas y plantas de tratamiento

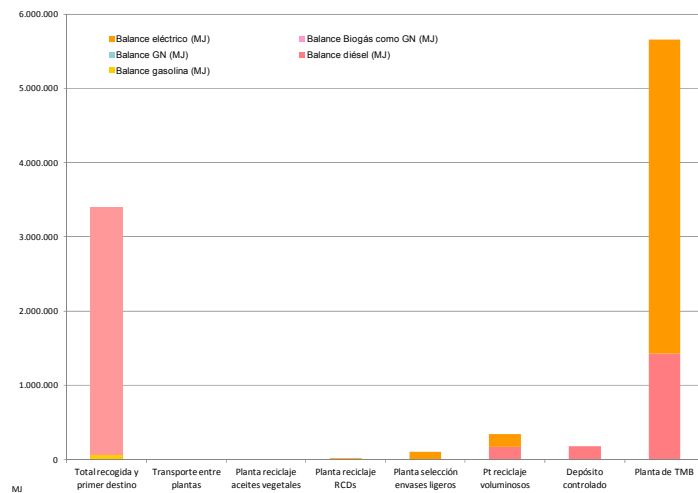


FIGURA 8. Balance energético final para etapas y plantas de tratamiento sin crédito energético

El consumo energético asociado a la recogida y primer destino, se puede desagregar en los costes energéticos específicos vinculados a casa uno de los servicios de recogida de las diferentes fracciones. En el siguiente gráfico y tabla se presentan estos resultados expresados mediante valores absolutos (litros consumidos) y el indicador de MJ por tonelada recogida, que permite analizar la eficiencia de cada servicio y comparar su impacto relativo.

	MJ/TM
Punto limpio	69
Contenedores Acera - Resto	214
Contenedores Acera - Papel y cartón	937
Contenedores Acera - Vidrio	303
Contenedores Acera - Envases ligeros	1.582

TABLA 7. Indicador de consumo de los servicios de recogida

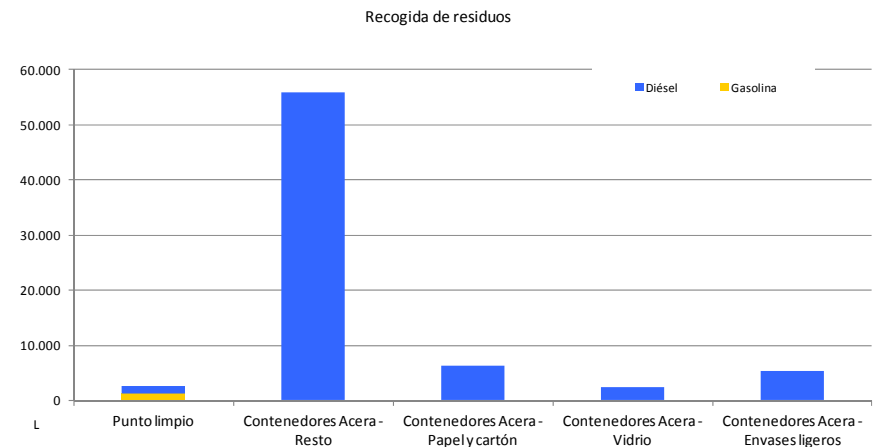


FIGURA 9. Balance energético de la recogida

El servicio de recogida en general se considera eficiente ya que obtiene un consumo por tonelada de tan solo 190 MJ/Tm recogida, aunque cabe recordar que hay algunos servicios complementarios que no se ha podido considerar (los valores más comunes suelen estar entre 600-1200 MJ/Tm en función de la configuración de las recogidas y el urbanismo).

- La fracción que comporta un coste global más importante es la recogida de la Fracción Resto debido a las grandes cantidades gestionadas, aun así, es un servicio energéticamente eficiente según indica su indicador por tonelada gestionada.
- La fracción envases ligeros y el papel tienen consumos similares (aunque los envases algo inferiores). Sus indicadores resultan en valores muy elevados debido a las cantidades capturadas no destacadas. Para los envases este indicador aun es mayor por las mismas características de los materiales que los conforman (mucho volumen y poco peso). Adicionalmente el vidrio comporta el menor consumo absoluto y su indicador resulta bastante reducido.
- Las recogidas a demanda específicas como la de los voluminosos y poda suelen comportar gastos energéticos destacados (aunque no se han podido contabilizar al estar incluidos dentro de consumos de limpieza viaria) por la misma configuración del servicio.
- De forma general, las recogidas comerciales y otros servicios como las recogidas de pilas de establecimientos al prestarse en la modalidad puerta a puerta tienen asociado un consumo por tonelada elevado (aunque no se han podido establecer).

2.3.4. Impactos ambientales

Toda gestión de residuos municipales lleva asociado un conjunto de impactos sobre el medio exportados de muy diversas maneras. En este caso los impactos de mayor magnitud que se tienen en cuenta son:

- Impacto sobre medio atmosférico: emisiones directas e indirectas de gases a la atmósfera.
- Impacto sobre el medio acuático: vertido y/o lixiviación de sustancias contaminantes sobre ríos, acuíferos y el mar.
- Impactos sobre el suelo: emisiones en el medio terrestre, ya sea suelo agrícola, forestal, industrial ...

Estas tipologías de impacto pueden tener un origen en los procesos por los cuales pasan los residuos (emisiones de las plantas de tratamiento, incineración, disposición, utilización del compost, escorias, etc.), o pueden estar asociados al consumo de electricidad y combustible durante la recogida y tratamiento¹².

¹² Como en el balance energético, dentro del balance global de emisiones no se han considerado las emisiones generadas en el proceso de producción de bienes y servicios, que finalmente se convierten en residuos.

También se han tenido en cuenta las emisiones *ahorradas* debido a la producción propia en algunos tratamientos de electricidad y las derivadas de la recuperación de materiales. En cuanto a la obtención de compost, únicamente se dispone de datos del ahorro de emisiones en el aire asociado al uso de compost en sustitución de los fertilizantes químicos y/o otras enmiendas orgánicas.

a) Inventario, clasificación y caracterización

El inventario de las emisiones al aire y agua resultantes de la gestión de residuos se detalla en las tablas del Anexo 3.3. Las fuentes de los datos utilizados para el cálculo del inventario también se detallan en el mencionado Anexo 3.3.

Estas emisiones se han caracterizado empleando metodología de Análisis de Ciclo de Vida¹³. Los impactos de las emisiones a la atmósfera, medio acuático y suelo pueden resumirse, pues, en toda una serie de parámetros que indican o estiman el impacto potencial que cada especie puede causar. Se definen ocho potenciales de impacto indicativos y de tipo global, regional o local:

I. Impactos ecológicos.

- Potencial de Calentamiento Global (PCG).
- Potencial de Acidificación (PA).
- Potencial de Eutrofización (PE).
- Potencial de Formación de Oxidantes Fotoquímicos (POFQ).
- Potencial de Ecotoxicidad en el agua dulce (fresh water) (PEC fw).
- Potencial de Ecotoxicidad en el agua marina (marine water) (PEC mw).
- Potencial de Ecotoxicidad terrestre (PEC t).

II. Impactos sobre la salud humana.

- Potencial de Toxicidad Humana (PTH).

Las especies incluidas en cada una de las categorías de impacto son las que producen directamente una carga ambiental en esta categoría.

Cabe recordar que las unidades de las emisiones a partir de las cuales se han calculado los potenciales de impacto son Tm (no Tm/año) correspondientes a las

¹³ Metodología de agregación de emisiones desarrollada por el Centro de Estudios Ambientales de Leiden (CML 2001 y revisiones posteriores) y aplicada en el SIMUR. Ver más información sobre la metodología en el Anexo 3.3.

emisiones que se producen en las diferentes etapas de gestión por cada tonelada/año de residuo generado¹⁴.

A continuación se muestran la tabla con el perfil ambiental del municipio:

Potenciales de impacto	PCG total ¹⁵	PCG no renovable	POFQ	PE	PA	PTH	PEC fw	PEC mw	PEC t
Unidades	Tm CO ₂ equiv.	Tm CO ₂ equiv.	Tm C ₂ H ₄ equiv.	Tm PO ₄ ³⁻ equiv.	Tm SO ₂ equiv.	Tm 1,4-diclorobenzeno equiv.	Tm 1,4-diclorobenzeno equiv.	Tm 1,4-diclorobenzeno equiv.	Tm 1,4-diclorobenzeno equiv.
Punto limpio fijo	8,30E+00	8,30E+00	6,66E-03	1,50E-02	7,21E-02	5,57E-01	8,01E-02	3,86E+02	1,14E-03
Contenedores Acera - Resto	1,74E+02	1,74E+02	1,23E-01	3,98E-01	1,82E+00	1,10E+01	1,66E+00	7,20E+03	1,51E-02
Contenedores A. Aportación - Papel y cartón	1,98E+01	1,98E+01	1,40E-02	4,51E-02	2,06E-01	1,25E+00	1,88E-01	8,17E+02	1,72E-03
Contenedores A. Aportación - Vidrio	7,63E+00	7,63E+00	5,39E-03	1,74E-02	7,96E-02	4,81E-01	7,26E-02	3,15E+02	6,62E-04
Contenedores A. Aportación - Envases ligeros	1,69E+01	1,69E+01	1,19E-02	3,85E-02	1,76E-01	1,07E+00	1,61E-01	6,98E+02	1,47E-03
Total recogida y primer destino	2,27E+02	2,27E+02	1,61E-01	5,14E-01	2,36E+00	1,44E+01	2,16E+00	9,42E+03	2,01E-02
Transporte entre plantas	1,97E-01	1,97E-01	1,39E-04	4,50E-04	2,06E-03	1,24E-02	1,88E-03	8,14E+00	1,71E-05
Planta reciclaje aceites vegetales	5,12E-02	5,12E-02	3,43E-05	1,10E-04	5,10E-04	3,23E-03	5,01E-04	3,11E+00	6,46E-06
Planta reciclaje RCD	9,45E-01	9,45E-01	5,71E-04	1,79E-03	8,60E-03	5,97E-02	9,73E-03	9,06E+01	1,87E-04
Planta selección envases ligeros	5,09E+00	5,09E+00	1,20E-03	2,52E-03	2,16E-02	3,23E-01	6,67E-02	1,49E+03	3,06E-03
Planta reciclaje voluminosos	2,03E+01	2,03E+01	9,75E-03	2,89E-02	1,52E-01	1,28E+00	2,28E-01	3,28E+03	6,74E-03
Depósito controlado	4,93E+03	4,49E+03	1,18E+00	1,19E+00	1,24E-01	3,52E+02	3,86E+03	2,55E+06	3,33E-03

¹⁴ No se pueden contabilizar como Tm/año para algunos procesos de tratamiento y especialmente para los vertederos, donde durante años se irá emitiendo biogás.

¹⁵ Potencial de Calentamiento Global (PCG), Kg/Tm CO₂ equivalente. Para el cálculo del Potencial de Calentamiento Global se ha diferenciado entre emisiones de CO₂ total (CO₂ renovable y CO₂ no renovable) y emisiones de CO₂ de origen no renovable (emisiones de CO₂ que proviene de fuentes consideradas de origen fósil que contabilizan en el protocolo de Kioto). El CO₂ de origen renovable considera las emisiones de CO₂ provenientes de fuentes consideradas de origen orgánico que generan un balance de CO₂ neutro y por lo tanto no contabilizan en el cálculo de emisiones que contribuyen al cambio climático (descomposición de la materia orgánica para generar compost y bioestabilizado, el CO₂ emitido al vertedero directamente o proveniente del biogás quemado en las antorchas o motores, CO₂ emitido en el proceso de incineración de materia orgánica, papel, etc.).

Potenciales de impacto	PCG total ¹⁵	PCG no renovable	POFQ	PE	PA	PTH	PEC fw	PEC mw	PEC t
Planta de TMB	1,48E+03	3,09E+02	1,06E-01	2,78E-01	1,75E+00	1,96E+01	3,80E+00	7,30E+04	1,50E-01
SUBTOTAL	6,67E+03	5,06E+03	1,46E+00	2,02E+00	4,41E+00	3,88E+02	3,87E+03	2,63E+06	1,83E-01
Crédito de emisiones por reciclaje	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	4,93E+03	3,32E+03	8,17E-01	1,41E+00	2,33E+00	1,02E+04	2,02E+04	1,38E+07	4,86E+01
INDICADORES	274,55	184,97	45,49	78,44	-129,89	-567,47	-1.124,85	-768,72	-2,71
	Kg/Tm	Kg/Tm	g/Tm	g/Tm	g/Tm	Kg/Tm	Kg/Tm	Tm/Tm	Kg/Tm

TABLA 8. Perfil ambiental de la gestión de los residuos municipal



FIGURA 10. Perfil ambiental de la gestión de los residuos del municipio (contribuciones relativas)

En los resultados obtenidos para el balance de emisiones de la gestión de residuos destaca las emisiones relacionadas con el depósito en vertedero de residuos, seguido de las aportadas por el consumo de combustible en la recogida de residuos y las asociadas a la planta TMB de Resto. Por el contrario, existe una importante reducción de emisiones derivadas del reciclaje de materiales, que permite compensar los balances de algunos de los potenciales.

El vertido de residuos en el depósito controlado es el proceso que tiene una mayor contribución al potencial de calentamiento global (PCG) y al POFQ, en ambos casos, debido las emisiones de metano a la atmósfera, más acentuadas a causa de que no se recupera ni aprovecha el biogás generado. Esta instalación también tiene una contribución elevada en el PE y en menor medida sobre el potencial de ecotoxicidad en agua marina y dulce.

La reducción en concepto de reciclaje es de una magnitud importante, sobre todo en los potenciales de PTH, PA, PECad y PECam, PECt, gracias al reciclaje neto de papel, vidrio, plásticos y metales, favorecido por la recogida separada de estos materiales y especialmente por la recuperación de materiales del Resto en la planta de selección. La reducción de los potenciales de impacto derivados del ahorro de emisiones por el reciclaje viene favorecida por la no generación de nuevos materiales con un proceso de producción generalmente más impactante.

La recogida de residuos destaca en la emisión de dióxido de carbono y monóxido de carbono, que contribuyen de forma muy importante en el POFQ, aunque su efecto proporcional se ve paliado por las emisiones del vertedero. Las emisiones de los carburantes también impactan positivamente y de forma acentuada sobre el PA y PE. Las emisiones de la planta TMB también afectan positivamente al PE y al PA¹⁶.

Las emisiones de CO₂ equivalente no biogénico de todo el proceso de gestión son de 5.057 Tm y, a pesar de que el reciclaje conlleva el ahorro de 1.733 Tm, éstas todavía no son suficientes para contrarrestar las emisiones de CO₂ equivalente emitidas. Por tanto, la contribución final al calentamiento global del planeta resulta ser de unas 3.323 Tm de CO₂ equivalente no renovable.

El simulador de forma complementaria también calcula el PCG total, que informa de todas las emisiones de CO₂ (además de las de origen no renovables generadas en el modelo, incluye también las renovables). Este indicador tiene un valor más elevado que el PCG no renovable ya que además incorpora las emisiones de CO₂ directo a la atmósfera en el vertedero y las de los tratamientos biológicos.

De la misma manera, el PE y el POFQ son otros de los potenciales que no quedan compensados, aunque sus valores son muy bajos, a causa de la contribución del vertido especialmente y de las recogidas que en este caso son muy importantes. Para el resto de potenciales, en cambio, los resultados son negativos de forma que se compensan los impactos derivados de la gestión, básicamente por la contribución negativa del ahorro de emisiones debidas del reciclaje de materiales resultante de este modelo de gestión.

¹⁶ El uso del compost puede tener cierta incidencia sobre los suelos, pero no se ha incluido las emisiones potenciales en la simulación ya que a la vez proporciona unos beneficios tal y como se explica Anexo 3.3.

b) Normalización de los potenciales

Para poder comparar los potenciales entre sí, se hace necesario normalizar los datos obtenidos, es decir, se deben ponderar en función de su contribución relativa en relación a un marco territorial determinado, en este caso, el resto de la Unión Europea¹⁷.

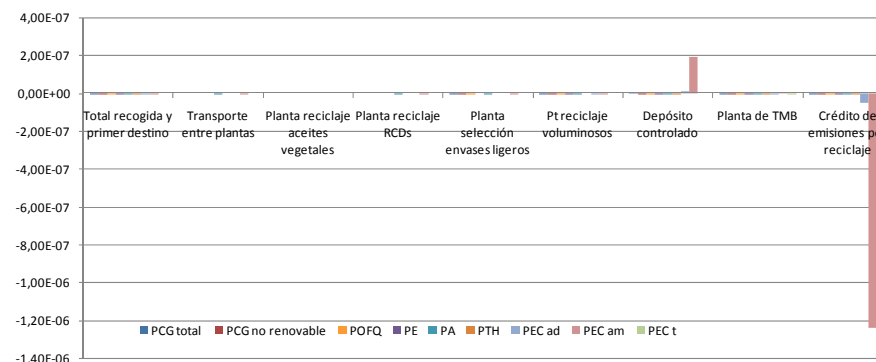
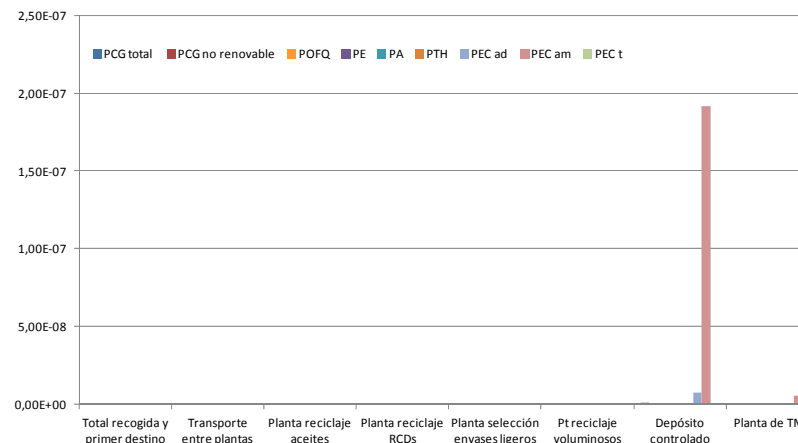


FIGURA 11. Potenciales de impacto normalizados



¹⁷ EU25+3, 2000 (Sleeswijk et al., 2007)

FIGURA 12. Potenciales de impacto normalizados (sin ahorro por reciclaje)

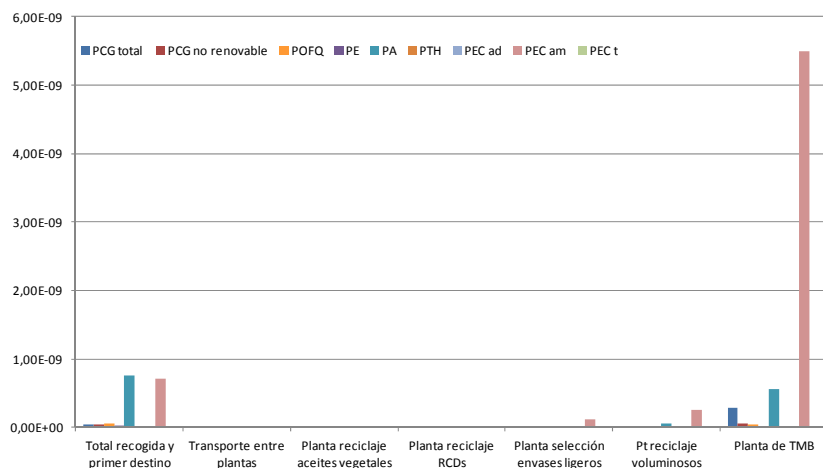


FIGURA 13. Potenciales de impacto normalizados (sin ahorro por reciclaje ni depósito controlado)

Con los potenciales normalizados se observa la importancia de la contribución del ahorro por reciclaje en la reducción de los potenciales de impacto y, sobre todo, en el potencial de ecotoxicidad en el agua marina (PECam) y en menor medida al de agua dulce. En este sentido, también destaca la contribución de la recogida, de la planta TMB y especialmente del vertedero en el PECam, por la emisión de ácido fluorhídrico (HF) resultado de la combustión.

La recogida principalmente y la planta TMB, por su importancia en consumo de combustibles también contribuye de forma muy notable en el potencial de acidificación. Por su parte, para el vertedero se observa de nuevo una aportación destacable en el PCG y al PECad.

3. Anexo

3.1. Anexo balance de masa

Recogida puntos limpios	
Escombros	421,0
Maderas	310,8
Papel y Cartón	28,224
Chatarra	561,12
RAEE	280,56
Envases plásticos cont.	0,514
Envases metales cont.	0,852
Vidrio plano	5,25
Aceite vegetal	0,89
Fluorescentes	0,177
TOTAL	1.609,39

TABLA 9. Recogida Punto Limpio

Definición de los indicadores de recogida separada	
Recogida separada neta (RSN)	La recogida separada neta que contabiliza sólo las fracciones solicitadas en los sistemas de recogida separada, excluyendo los impropios que las acompañan.
Recogida separada bruta (RSB)	La recogida separada bruta tiene en cuenta el total recogido en los sistemas de recogida separada y, por lo tanto, incluye la fracción solicitada y los impropios que la acompañan.

TABLA 10. Definición de los indicadores de recogida separada

Balance de masa de las plantas de tratamiento	
Planta de selección de envases	Datos de explotación del 2010 (eficiencias de recuperación aportadas). El rechazo se destina al vertedero.
Planta de TMB	Datos de explotación del 2010. El rechazo se destina al vertedero del complejo. Se desarrollo un pretratamiento del residuo entrado con la selección y recuperación de materiales valorizables (metales únicamente, eficiencias de recuperación aportadas) y posteriormente un compostaje de la Fracción Orgánica contenida en el residuo (parámetros del proceso aportados).

Planta de selección voluminosos	Datos de explotación del 2010 (eficiencias de recuperación aportadas). El rechazo se destina un vertedero externo (por falta de datos se ha simulado como destino de este flujo el vertedero del complejo).
Vertedero del complejo	El simulador calcula una estimación de producción de biogás en función del material biodegradable entrado al vertedero según los resultados de gestión del modelo: cantidad de rechazos generados y su contenido en material biodegradable según tipo de planta y proceso. Los valores utilizados son: 250 m3 biogás/Tm material biodegradable fresco y 100 m3 biogás/Tm material biodegradable estabilizado (White et. al., 2001).
Otras instalaciones	<ul style="list-style-type: none"> – Papel y vidrio recogida separada: se estima que los materiales que pasan a reciclaje corresponden a las cantidades recogidas descartando los impropios correspondientes en la planta de separación. Por falta de datos específicos los valores utilizados son datos estándares promedio de Cataluña procedentes de estudios de la Agencia de Residuos de Catalunya (ARC). – Planta de aceites vegetales: por falta de datos se ha tenido en cuenta una planta estándar a partir del estudio Análisis de ciclo de vida de combustibles alternativos para el transporte (Ciemat, 2006). – Planta de escombros: por falta de información se ha tenido en cuenta una planta estándar a partir los datos de explotación de la otra planta similar, 2008. – Planta de textiles: por falta de datos se ha tenido en cuenta los datos generales de gestora de textil. – No se han obtenido los datos sobre las plantas clasificadas en la modelización como "desconocidas".

TABLA 11. Fuentes de los datos de las plantas de tratamiento

Definición de los indicadores de primer destino

Indicadores de primer destino	<p>El primer destino corresponde a cómo se recogen los residuos y cuáles son los destinos iniciales que se les asigna. Como primer destino encontramos la Recogida Separada Bruta (residuos recogidos separadamente incluyendo los impropios que les acompañan). A esta se destina principalmente a las plantas de selección, reciclaje y tratamiento de residuos peligrosos.</p> <p>El otro primer destino de los residuos es la Recogida de Resto. Ésta se divide en la Fracción Resto que se destina directamente a depósito controlado, la que va a incineración y la que recibe tratamiento previo.</p>
--------------------------------------	--

TABLA 12. Definición de los indicadores de primer destino

Definición de los indicadores de destino final utilizados

Valorización material primaria (VMP)	Contabiliza la cantidad recuperada de materiales que entra en procesos de reciclaje de cada una de las fracciones, a partir de la recogida separada que le es propia (para los envases depende de la eficiencia de selección de las plantas). También contabiliza la cantidad efectivamente reciclada de materia orgánica y poda en el proceso de compostaje/digestión de la Fracción Orgánica recogida separadamente
Valorización material secundaria (VMS)	Contabiliza los materiales recuperados que tienen como destino el reciclaje mediante las plantas de tratamiento de la Fracción Resto y la selección y recuperación en las plantas de impropios reciclables que acompañan a las fracciones. Contabiliza también la cantidad efectivamente reciclada de materia orgánica en el proceso de compostaje/digestión de los biorresiduos en el Resto.
Valorización material sin datos	Incluye todos aquellos materiales procedentes de la recogida separada que se destinan a plantas de tratamiento y/o reciclaje ya que parte de los cuales son recuperables (brics, residuos peligrosos, algunos voluminosos, textiles,...) pero no se dispone de datos de qué parte exactamente se recicla, reutiliza o va a un tratamiento finalista.
Perdidas de masa proceso	Las pérdidas de masa en el proceso se refieren tanto a los procesos de incineración u otras valorizaciones energéticas y a la producción de CDR.
Residuos a depósito controlado	Incluye los residuos que como destino final se depositan en vertederos. Estos residuos provienen del vertido indirecto de los rechazos de las diferentes plantas de tratamiento de residuos recogidos separadamente o de las plantas de Resto, o bien, del vertido directo de residuos sin tratar.

TABLA 13. Definición de los indicadores de destino final utilizados

3.2. Anexo balance energético

Metodología de cálculo del balance energético

Consumo energético de la recogida de residuos y transportes a planta	<p>Se han utilizado los consumos reales de la recogida y el transporte para el 2010 de las 5 fracciones principales recogidas en contenedores proporcionados por la empresa de recogida.</p> <p>Por las características de las recogidas no se ha podido contabilizar los siguientes consumos: pilas, voluminosos y poda a demanda (se desarrolla con los servicios de limpieza) y textil.</p> <p>El consumo de la recogida comercial de cartón está agregado con la de contenedores.</p>
Consumo/generación energética de los tratamientos y disposición final	<ul style="list-style-type: none"> - Planta de envases: datos de explotación del consumo de combustible y electricidad de 2010. - Planta de selección de voluminosos: datos de explotación del consumo de combustible y electricidad de 2010. - - Planta de TMB: datos de explotación del consumo de combustible y electricidad de 2010. - Vertedero: <p>Estimación de la generación de biogás durante el ciclo de vida de las toneladas estimadas de material biodegradable procedentes del rechazo de cada planta (y aportadas directamente) depositado en el vertedero durante el 2010.</p> <p>La instalación no está preparada para la captación y aprovechamiento del biogás por lo que todo se escapa a la atmósfera.</p> <p>El consumo de combustible de la instalación procede de datos de explotación de 2010 (no se dispone de datos de electricidad).</p> - El consumo de las plantas de reciclaje, al contabilizar en el balance energético el ahorro por reciclaje no es necesario añadirlo puesto que estos valores se tienen en cuenta en el cálculo de la diferencia entre utilizar materias primas vírgenes o materiales reciclados (incluye los costes energéticos del proceso de reciclado de estos materiales, incluye selección papel y vidrio). - Planta de aceites vegetales: por falta de datos se ha tenido en cuenta una planta estándar a partir del estudio Análisis de ciclo de vida de combustibles alternativos para el transporte (Ciemat, 2006). - Planta de escombros: por falta de información se ha tenido en cuenta una planta estándar a partir los datos de explotación de otra planta similar, 2008. - No se han obtenido los datos sobre las plantas clasificadas en la modelización como “desconocidas”, ni para la planta de textil.

Metodología de cálculo del balance energético	
Consumo energético de los transportes entre plantas	<p>Se estima a partir de los km entre plantas (matriz de desplazamientos) y una capacidad y consumo estándar del vehículo. Incluye los transportes de los principales rechazos de planta a vertedero:</p> <p>Planta envases ligeros →Vertedero 24 km Planta papel-cartón →Vertedero 33 km Planta vidrio → Vertedero 42 km</p> <p>(por falta de datos de los destinos de estos rechazos de papel y vidrio se asume su destino al vertedero principal utilizado en el modelo que es el mismo que para el resto de fracciones).</p>
Crédito energético o Ahorro derivado del reciclaje	<p>Para completar el balance energético de la gestión de los residuos municipales, es necesario tener en cuenta que la recuperación de los materiales de los desechos también supone un ahorro, debido a la reducción de producción de materias primas, puesto que estos materiales recuperados son reinsertados en el proceso productivo.</p> <p>Los datos de MJ/Tm recuperada que se ahorra por el reciclaje de materiales proceden de White et al., 2001 (elaboradas a partir de BUWAL 250, 1998). Este ahorro energético corresponde a la diferencia de consumo entre la producción de una tonelada de papel, vidrio, textil, metal, plástico a partir de materias primas vírgenes o a partir de materiales reciclados. Hay que recordar que no se contabiliza el ahorro por reciclaje de obtener compost (no existen datos contrastados disponibles).</p>
Eficiencias de producción de energía aplicadas	<p>Con el fin de obtener un balance energético global que se pueda comparar, se aplican los porcentajes de eficiencia de producción y suministro de los combustibles (BUWAL 250, 1998) a los datos del balance energético inicial.</p> <p>En el caso de la electricidad se aplica un rendimiento promedio por kWh utilizado/generado en función del perfil eléctrico estatal, 2010 (REE) y de las eficiencias de extracción, producción y transporte de cada fuente de generación de electricidad (BUWAL 250, 1998). PCI del resto de combustibles (BUWAL 250, 1998).</p>

TABLA 14. Metodología y criterios de cálculo del balance energético

3.3. Anexo impactos ambientales

3.3.1. Inventario de emisiones

Tm	Partículas	CO	CO ₂ total	CO ₂ no renovable	CH ₄	NOx	N ₂ O	SOx	HCl	HF	H ₂ S	HC	HC clorados	Dioxinas y Furanos (TEQ)	As	NH3	Cd	Cr	Cu	Mn	Pb	Hg	Ni	Zn
Punto limpio fijo	2,41E-03	1,04E-01	8,03E+00	8,03E+00	1,01E-02	1,14E-01	1,34E-04	1,26E-02	2,53E-05	2,64E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,64E-11	0,00E+00	0,00E+00	3,10E-07	1,90E-07	0,00E+00	0,00E+00	9,47E-09	4,04E-06	1,48E-08	5,29E-06	2,41E-06
Contenedores Acera - Resto	6,95E-02	9,25E-01	1,69E+02	1,69E+02	2,05E-01	3,03E+00	4,07E-03	2,54E-01	3,45E-04	3,60E-05	0,00E+00	0,00E+00	9,67E-10	0,00E+00	0,00E+00	4,58E-06	1,64E-06	0,00E+00	0,00E+00	1,38E-07	9,01E-06	1,69E-07	8,12E-05	5,40E-05
Contenedores A. Aportación - Papel y cartón	7,88E-03	1,05E-01	1,91E+01	1,91E+01	2,33E-02	3,44E-01	4,61E-04	2,88E-02	3,91E-05	4,08E-06	0,00E+00	0,00E+00	1,10E-10	0,00E+00	0,00E+00	5,19E-07	1,88E-07	0,00E+00	0,00E+00	1,56E-08	1,02E-06	1,91E-08	9,21E-06	6,12E-06
Contenedores A. Aportación - Vidrio	3,04E-03	4,04E-02	7,37E+00	7,37E+00	8,97E-03	1,33E-01	1,78E-04	1,11E-02	1,51E-05	1,57E-06	0,00E+00	0,00E+00	4,23E-11	0,00E+00	0,00E+00	2,00E-07	7,18E-08	0,00E+00	0,00E+00	6,03E-09	3,94E-07	7,37E-09	3,55E-06	2,36E-06
Contenedores A. Aportación - Envases ligeros	6,73E-03	8,96E-02	1,63E+01	1,63E+01	1,99E-02	2,94E-01	3,94E-04	2,46E-02	3,34E-05	3,49E-06	0,00E+00	0,00E+00	9,36E-11	0,00E+00	0,00E+00	4,44E-07	1,59E-07	0,00E+00	0,00E+00	1,34E-08	8,73E-07	1,63E-08	7,86E-06	5,23E-06
Total recogida y primer destino	8,95E-02	1,26E+00	2,19E+02	2,19E+02	2,67E-01	3,92E+00	5,24E-03	3,31E-01	4,57E-04	4,78E-05	0,00E+00	0,00E+00	1,28E-09	0,00E+00	0,00E+00	6,06E-06	2,24E-06	0,00E+00	0,00E+00	1,83E-07	1,53E-05	2,26E-07	1,07E-04	7,01E-05
Transporte entre plantas	7,86E-05	1,05E-03	1,91E-01	1,91E-01	2,32E-04	3,43E-03	4,60E-06	2,87E-04	3,90E-07	4,07E-08	0,00E+00	0,00E+00	1,09E-12	0,00E+00	0,00E+00	5,18E-09	1,85E-09	0,00E+00	0,00E+00	1,56E-10	1,02E-08	1,91E-10	9,18E-08	6,10E-08
Planta reciclaje aceites vegetales	2,07E-05	2,54E-04	4,93E-02	4,93E-02	6,48E-05	8,35E-04	1,14E-06	7,67E-05	3,33E-07	3,53E-08	0,00E+00	0,00E+00	1,71E-12	0,00E+00	0,00E+00	6,89E-09	4,74E-10	0,00E+00	0,00E+00	1,91E-10	2,81E-09	1,19E-10	2,42E-08	1,52E-08
Planta reciclaje RCD	3,92E-04	4,09E-03	9,08E-01	9,08E-01	1,35E-03	1,36E-02	1,93E-05	1,49E-03	1,39E-05	1,48E-06	0,00E+00	0,00E+00	7,93E-11	0,00E+00	0,00E+00	3,13E-07	8,53E-09	0,00E+00	0,00E+00	8,57E-09	5,73E-08	4,54E-09	4,61E-07	2,59E-07
Planta selección envases ligeros	2,42E-03	4,13E-03	4,80E+00	4,80E+00	1,20E-02	1,85E-02	4,92E-05	1,03E-02	3,10E-04	3,30E-05	0,00E+00	0,00E+00	1,87E-09	0,00E+00	0,00E+00	7,31E-06	3,93E-08	0,00E+00	0,00E+00	1,99E-07	4,74E-07	9,53E-08	2,90E-06	7,45E-07
Planta reciclaje voluminosos	8,81E-03	6,39E-02	1,94E+01	1,94E+01	3,53E-02	2,19E-01	3,40E-04	3,50E-02	6,11E-04	6,51E-05	0,00E+00	0,00E+00	3,62E-09	0,00E+00	0,00E+00	1,42E-05	1,74E-07	0,00E+00	0,00E+00	3,86E-07	1,45E-06	1,92E-07	1,04E-05	4,69E-06
Depósito controlado	4,72E-03	6,90E-02	4,50E+02	1,14E+01	1,95E+02	2,08E-01	2,76E-04	1,73E-02	3,23E-02	6,45E-03	9,92E-02	9,92E-01	1,74E-02	0,00E+00	0,00E+00	3,11E-07	2,89E-06	3,27E-07	0,00E+00	9,38E-09	3,14E-06	3,18E-08	5,52E-06	4,09E-05
Planta de TMB	1,41E-01	5,64E-01	1,46E+03	2,93E+02	6,47E-01	2,08E+00	3,94E-03	5,85E-01	1,47E-02	1,57E-03	0,00E+00	0,00E+00	8,83E-08	0,00E+00	0,00E+00	3,45E-04	2,50E-06	0,00E+00	0,00E+00	9,38E-06	2,59E-05	4,54E-06	1,69E-04	5,66E-05
SUBTOTAL	2,47E-01	1,97E+00	2,16E+03	5,49E+02	1,96E+02	6,46E+00	9,87E-03	9,81E-01	4,83E-02	8,16E-03	9,92E-02	9,92E-01	1,74E-02	0,00E+00	0,00E+00	3,73E-04	7,86E-06	3,27E-07	0,00E+00	1,02E-05	4,63E-05	5,09E-06	2,95E-04	1,73E-04
Crédito de emisiones por reciclaje (valores ahorro si son positivos)	5,15E-01	1,15E+01	1,57E+03	1,57E+03	6,73E+00	2,32E+00	2,09E-02	4,67E+00	-1,34E-02	-8,84E-03	6,36E-03	0,00E+00	0,00E+00	3,44E-12	2,30E-02	-1,53E-02	8,86E-05	-3,83E-05	-2,07E-04	0,00E+00	-1,39E-02	-3,67E-06	1,21E-03	1,03E-04
TOTAL	-2,68E-01	-9,50E+00	5,86E+02	-1,02E+03	1,89E+02	-4,15E+00	-1,11E-02	-3,69E+00	6,17E-02	-1,70E-02	9,29E-02	9,92E-01	1,74E-02	-3,44E-12	-2,30E-02	1,56E-02	-8,07E-05	-3,86E-05	-2,07E-04	1,02E-05	1,39E-02	8,76E-06	-9,17E-04	7,01E-05

TABLA 15. Inventario emisiones al aire

Tm	DBO	DQO	Sólidos en suspensión	COT	AOX	HC Clorados	Dioxinas y Furanos (TEQ)	Fenoles	Al	Amonio	As	Ba	Cd	Cloruro	Cr	Cu	Cianuro	Fe	Pb	Hg	Ni	Nitrato	Fosfato	Sulfato	Sulfuro	Fluoruro	Zn
Punto limpio fijo	1,08E-05	3,52E-04	6,94E-03	1,14E-03	4,71E-07	1,07E-07	0,00E+00	1,60E-05	4,62E-05	2,63E-04	1,86E-07	3,08E-04	1,34E-07	6,48E-02	1,48E-06	4,44E-07	4,73E-07	9,10E-05	4,11E-07	1,27E-09	5,67E-07	7,92E-05	3,97E-06	2,54E-03	3,77E-06	0,00E+00	1,55E-06
Contenedores Acera - Resto	2,31E-04	7,56E-03	1,46E-01	2,36E-02	1,01E-05	2,25E-06	0,00E+00	3,40E-04	6,76E-04	5,63E-03	3,36E-06	6,48E-03	2,85E-06	1,37E+00	2,84E-05	7,93E-06	1,01E-05	1,44E-03	6,95E-06	2,54E-08	1,05E-05	1,69E-03	6,67E-05	4,84E-02	8,07E-05	0,00E+00	3,00E-05
Contenedores A. Aportación - Papel y cartón	2,62E-05	8,57E-04	1,66E-02	2,68E-03	1,14E-06	2,55E-07	0,00E+00	3,89E-05	7,66E-05	6,39E-04	3,81E-07	7,34E-04	3,23E-07	1,55E-01	3,21E-06	8,99E-07	1,15E-06	1,63E-04	7,88E-07	2,87E-09	1,19E-06	1,92E-04	7,56E-06	5,48E-03	9,15E-06	0,00E+00	3,40E-06
Contenedores A. Aportación - Vidrio	1,01E-05	3,30E-04	6,40E-03	1,03E-03	4,41E-07	9,83E-08	0,00E+00	1,49E-05	2,96E-05	2,46E-04	1,47E-07	2,83E-04	1,25E-07	5,99E-02	1,24E-06	3,47E-07	4,43E-07	6,30E-05	3,04E-07	1,11E-09	4,60E-07	7,39E-05	2,91E-06	2,11E-03	3,53E-06	0,00E+00	1,31E-06
Contenedores A. Aportación - Envases ligeros	2,24E-05	7,32E-04	1,42E-02	2,29E-03	9,77E-07	2,18E-07	0,00E+00	3,29E-05	6,59E-05	5,46E-04	3,25E-07	6,27E-04	2,76E-07	1,33E-01	2,79E-06	7,68E-07	9,82E-07	1,40E-04	6,73E-07	2,45E-09	1,02E-06	1,64E-04	6,46E-06	4,68E-03	7,82E-06	0,00E+00	2,90E-06
Total recogida y primer destino	3,00E-04	9,83E-03	1,91E-01	3,07E-02	1,31E-05	2,93E-06	0,00E+00	4,42E-04	8,94E-04	7,33E-03	4,40E-06	8,43E-03	3,71E-06	1,78E+00	3,70E-05	1,04E-05	1,32E-05	1,90E-03	9,12E-06	3,31E-08	1,38E-05	2,20E-03	8,76E-05	6,32E-02	1,05E-04	0,00E+00	3,92E-05
Transporte entre plantas	2,61E-07	8,55E-06	1,66E-04	2,67E-05	1,14E-08	2,54E-09	0,00E+00	3,84E-07	7,64E-07	6,37E-06	3,80E-09	7,32E-06	3,22E-09	1,55E-03	3,21E-08	8,97E-09	1,15E-08	1,63E-06	7,86E-09	2,87E-11	1,19E-08	1,91E-06	7,54E-08	5,47E-05	9,13E-08	0,00E+00	3,39E-08
Planta reciclaje aceites vegetales	6,35E-08	2,07E-06	4,11E-05	7,19E-06	2,78E-09	6,29E-10	0,00E+00	9,37E-08	1,22E-06	1,55E-06	2,98E-09	1,86E-06	8,41E-10	3,84E-04	1,81E-08	7,28E-09	2,99E-09	7,24E-07	7,95E-09	1,03E-11	8,04E-09	4,84E-07	7,92E-08	2,19E-05	2,24E-08	0,00E+00	1,86E-08
Planta reciclaje RCD	1,03E-06	3,35E-05	6,97E-04	1,42E-04	4,51E-08	1,06E-08	0,00E+00	1,53E-06	5,67E-05	2,55E-05	1,22E-07	3,33E-05	1,57E-08	6,49E-03	6,61E-07	3,00E-07	5,59E-08	2,34E-05	3,45E-07	2,88E-10	3,15E-07	8,57E-06	3,46E-06	6,64E-04	3,71E-07	0,00E+00	6,70E-07
Planta selección envases ligeros	1,28E-06	3,44E-05	1,88E-03	1,03E-03	5,63E-08	2,60E-08	0,00E+00	2,22E-06	1,34E-03	3,84E-05	2,68E-06	1,43E-04	8,97E-08	1,68E-02	1,34E-05	6,61E-06	3,19E-07	4,31E-04	7,85E-06	4,49E-09	6,72E-06	3,48E-05	7,91E-05	1,14E-02	7,15E-07	0,00E+00	1,35E-05
Planta reciclaje voluminosos	1,64E-05	5,23E-04	1,25E-02	3,39E-03	7,19E-07	1,86E-07	0,00E+00	2,48E-05	2,59E-03	4,15E-04	5,30E-06	6,65E-04	3,43E-07	1,15E-01	2,73E-05	1,31E-05	1,22E-06	9,08E-04	1,54E-05	1,01E-08	1,34E-05	1,69E-04	1,55E-04	2,46E-02	6,25E-06	0,00E+00	2,75E-05
Depósito controlado	2,78E+01	5,19E+01	3,33E+00	1,70E+01	6,86E-07	1,53E-07	0,00E+00	4,64E-03	4,59E-05	3,83E-04	1,73E-02	4,40E-04	1,94E-07	5,14E+01	3,16E-02	6,99E-01	6,89E-07	9,79E-05	2,96E-01	1,72E-09	9,41E-01	1,15E-04	3,25E-02	3,28E-03	5,49E-06	9,86E-04	7,08E-03
Planta de TMB	1,53E-04	4,64E-03	1,47E-01	5,77E-02	6,69E-06	2,12E-06	0,00E+00	2,41E-04	6,31E-02	4,06E-03	1,27E-04	9,32E-03	5,35E-06	1,34E+00	6,43E-04	3,14E-04	1,90E-05	2,08E-02	3,71E-04	2,21E-07	3,20E-04	2,31E-03	3,74E-03	5,55E-01	6,59E-05	0,00E+00	6,46E-04
SUBTOTAL	2,78E+01	5,19E+01	3,69E+00	1,71E+01	2,13E-05	5,43E-06	0,00E+00	5,39E-03	6,81E-02	1,23E-02	1,74E-02	1,90E-02	9,71E-06	5,46E+01	3,23E-02	6,99E-01	3,45E-05	2,42E-02	2,96E-01	2,71E-07	9,41E-01	4,84E-03	3,66E-02	6,58E-01	1,84E-04	9,86E-04	7,81E-03
Crédito de emisiones por reciclaje (valores ahorro si son positivos)	-2,50E-01	1,54E+01	1,79E+00	-9,49E-01	1,57E-01	-3,74E-04	0,00E+00	5,44E-04	1,29E+00	1,14E-02	2,51E-03	1,09E-01	8,92E-05	3,11E+01	-1,53E-01	-1,01E-04	6,10E-01	-6,28E-03	6,18E-03	1,27E-02	7,42E+00	-2,73E-01	-7,48E-03	-2,53E+00	4,58E+00	6,20E-03	8,47E-05
TOTAL	2,80E+01	3,62E+01	1,90E+00	1,81E+01	-1,57E-01	3,80E-04	0,00E+00	4,81E-03	-1,18E+00	8,78E-04	1,49E-02	-8,99E-02	-7,95E-05	2,35E+01	1,88E-01	6,99E-01	-6,10E-01	3,05E-02	2,90E-01	-1,27E-02	-6,48E+00	2,78E-01	4,40E-02	3,19E+00	-4,58E+00	-5,22E-03	7,72E-03

TABLA 16. Inventario emisiones al agua

Metodología de cálculo del balance de emisiones-Impactos ambientales	
Emisiones derivadas del consumo de combustible de las recogidas y desplazamientos intermedios	Se han contabilizado las emisiones al aire y al agua derivadas del consumo de combustible de las recogidas de residuos y de los transportes intermedios a partir de factores de emisión por cantidad de combustible consumido (BUWAL 250, 1998).
Emisiones de proceso de las plantas	<ul style="list-style-type: none"> Emisiones directas del vertedero: Se han considerado emisiones al aire estándares en función de la producción de biogás: biogás emitido a la atmósfera y biogás quemado (White et al., 2001). Se han considerado emisores al agua (caudal tratado y composición) a partir de los datos de explotación del vertedero de 2010. Emisiones de las plantas con proceso biológicos: Únicamente se han considerado las emisiones directas de CO₂ de los tratamientos biológicos (metanización o compostaje, White et al., 2001.), por falta de disponibilidad de más datos específicos. Estas emisiones se consideran CO₂ renovable que no contabilizaría en las afectaciones al Calentamiento Global por ser de origen biogénico y computarse con un balance de carbono neutro. El uso del compost puede tener cierta incidencia sobre los suelos, pero no se ha incluido las emisiones potenciales en la simulación (según su composición) ya que a la vez las enmiendas orgánicas aportan otros muchos importantes beneficios para el suelo (aportación de materia orgánica, biofertilidad, mejora de la estructura, retención de carbono, disminución de la erosión, etc.). Además, la sustitución de fertilizantes químicos y/u otras enmiendas orgánicas comporta beneficios ambientales derivados de uno el ahorro energético y de emisiones. Aún así, la aplicación de compost en el suelo agrícola y la utilización de bioestabilizado puede comportar cierta contaminación difusa por su contenido en metales, así, para minimizar este impacto es necesario obtener compost de buena calidad a partir de recogidas separadas con niveles aceptables de impropios, para su uso como enmienda orgánica, especialmente para usos agrícolas.
Emisiones derivadas del consumo de combustible y electricidad de las plantas	Se han contabilizado las emisiones al aire y al agua (BUWAL 250, 1998) derivadas del consumo de combustible y electricidad de las plantas a partir de factores de emisión por cantidad de combustible y kWh consumidos (mediana ponderada de emisiones de cada fuente de producción (BUWAL 250, 1998) en función de su peso en el mix eléctrico estatal).

Metodología de cálculo del balance de emisiones-Impactos ambientales	
Ahorro de emisiones por generación de energía eléctrica	En las plantas con producción de electricidad a partir de procesos de digestión y en vertederos con recuperación energética del biogás, se han introducido las emisiones ahorradas al generar electricidad propia en el balance de emisiones según los factores de emisión por kWh (mediana ponderada de emisiones de cada fuente de producción (BUWAL 250, 1998) en función de su peso en el mix eléctrico estatal).
Crédito de emisiones por reciclaje	<p>Se incluye el ahorro de emisiones al aire y al agua por la recuperación de materiales (White et al, 2001, elaboradas a partir de BUWAL 250, 1998). Estos factores corresponden a la diferencia de emisiones generadas entre la producción de una tonelada de papel, vidrio, plástico, etc. a partir de materias primas vírgenes o a partir de materiales reciclados.</p> <p>En cuanto a la obtención de compost, únicamente se dispone de datos del ahorro de emisiones al aire asociado al uso de compost en relación a los fertilizantes químicos y/u otras enmiendas orgánicas (Patyk, 1996).</p> <p>Es necesario comentar que el ahorro por el reciclaje de algunos materiales no reduce de forma tan marcada los potenciales a los cuales afecta puesto que los ACV consideran por ejemplo en el caso del papel que si se recicla papel no es necesaria la plantación de un bosque que durante su crecimiento capta CO₂, aún así, este idea es cuestionable puesto que puede haber otra plantación que sustituya al bosque que también contribuya a la fijación del dióxido de carbono evitando, así, el calentamiento global.</p>

TABLA 17. Metodología y criterios de cálculo del balance de emisiones

3.3.2. Metodología de cálculo de los potenciales de impacto

Mediante el modelo de simulación de gestión de residuos se obtiene una tabla con más de 150 especies emitidas al aire y al agua. Con el fin de facilitar su comprensión y la comparativa, se ha optado por emplear la metodología de Análisis de Ciclo de vida (ACV) para la caracterización de estas emisiones. En concreto se ha utilizado la metodología desarrollada por el CML, Institute of Environmental Sciences. Leiden University, Versión 3, agosto de 2007:

a) Clasificación

En esta etapa se agrupan los contaminantes detectados, el gasto energético, etc. y se clasifican agrupándolos en diferentes categorías de impacto. Se debe tener en cuenta que una misma carga ambiental puede asignarse a más de una categoría.

Podemos resumir estas categorías de impacto en tres (impactos sobre los recursos, impactos ecológicos e impactos sobre la salud humana), que a la vez se subdividen en otras más específicas. Las consideradas en este estudio son:

I. Impactos ecológicos.

- Potencial de Calentamiento Global (PCG).
- Potencial de Acidificación (PA).
- Potencial de Eutrofización (PE).
- Potencial de Formación de Ozono Fotoquímico (POFQ).
- Potencial de Ecotoxicidad al agua dulce (PEC ad).
- Potencial de Ecotoxicidad al agua marina (PEC am).
- Potencial de Ecotoxicidad terrestre (PEC t).

II. Impactos sobre la salud humana.

- Potencial de Toxicidad Humana (PTH).

Las especies incluidas en cada una de las categorías de impacto son las que producen directamente una carga ambiental en esta categoría, es decir, no se contabilizan impactos secundarios que estas especies puedan tener en el medio o en la salud humana (por ejemplo, consideramos calentamiento global pero no los efectos de este sobre el nivel del mar, etc.).

El hecho que algunas especies se encuentren en más de una categoría de impactos, puede llevar a pensar que algunos impactos se están teniendo en cuenta más de una vez, lo cual es necesario matizar. Cuando una sustancia interviene en diferentes procesos, puede hacerlo o bien “en serie” (primero actúa en un proceso y después puede actuar en otro) o bien “en paralelo” (una molécula sólo puede actuar en una categoría de impacto). En el primer caso, es necesario que la especie en cuestión esté en las dos categorías de impacto a las que contribuye, en el segundo caso, se tendría que ponderar cómo afecta a cada una de las categorías. De todas formas, esto es muy difícil de calcular de forma fiable, por lo cual se tiende hacia esta doble contabilidad sin que esto parezca afectar gravemente los resultados finales. Además, al ACV le interesan los **impactos potenciales**.

Por lo tanto, al valorar los resultados de la caracterización, hace falta tener en cuenta que los impactos calculados no son otros que los impactos potenciales, puesto que estos no representan forzosamente la realidad local. Son potenciales por dos razones:

- Se han deducido a partir de las emisiones del sistema a través del cuál se piensa que tienen estos efectos, pero todos los efectos no son conocidos, ni sus posibles combinaciones.
- Están calculados en periodos elegidos de 100, 500 incluso 1000 años. ¿Qué representa a corto plazo para la población local o incluso a largo plazo para la población global?

No están medidos todos los impactos, entre otros quedan fuera del análisis, los ruidos ambientales, impactos sobre el paisaje, la utilización de los suelos, los riesgos ambientales,

b) Caracterización

En esta etapa se hace una cuantificación de estos impactos en función de los efectos reconocidos y cuantificables. Es decir, una vez tenemos cada especie del inventario clasificada e incorporada según su impacto en las diferentes categorías escogidas, se agregan cuantificándolas según el peso específico de cada especie dentro de cada categoría de impacto, y sumando después las diferentes contribuciones.

Se considera que la respuesta de cada contaminante al impacto considerado es lineal, así, se calcula la contribución potencial de la sustancia considerada “j” al impacto “y:”

$$C_{ij} = E_j W_{ij}$$

Siendo: C_{ij} el impacto asociado a cada contaminante.
 E_j emisión cuantificada de la especie j.
 W_{ij} factor de caracterización de cada contaminante j al impacto y.

Los factores de caracterización (W_{ij}) que se han considerado han sido los definidos por el CML (Version 3, august 2007).

En la **TABLA 19** se describen de forma detallada los potenciales de impacto considerados, sus unidades y la fuente a partir de la cual están elaborados los factores de caracterización de las diferentes sustancias contaminantes.

c) Normalización

A partir de los potenciales en valores absolutos que no son comparables entre sí, se realiza una normalización que permite evaluar la significación del perfil ambiental

obtenido con la caracterización. La normalización consiste en medir el peso relativo de cada potencial en función de las emisiones totales que se dan en el ámbito de referencia considerado. En otras palabras, el proceso de normalización consiste en dividir la contribución del sistema a cada categoría de impacto respecto a la contribución total de un área geográfica determinada en un tiempo determinado. El método del CML utilizado propone varios niveles de normalización: Holanda, Europa, Mundo, tomando como valores de referencia las emisiones totales de cada impacto producidas en estos ámbitos.

En este sentido, se ha optado por la normalización de impactos a nivel de Europa (EU25+3, 2000 (Sleeswijk et al., 2007)).

	Unidad	Descripción	Especies que contribuyen
Potencial de Calentamiento Global (PCG)	kg/TM CO ₂ equivalente	Indica el impacto potencial de cada modelo sobre el calentamiento del planeta. Los factores de ponderación están expresados como Potencial de Calentamiento Global (PCG) para un horizonte de 100 años (GWP100). El modelo de caracterización ha estado desarrollado por el "Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)".	Atm. : CO ₂ , CH ₄ ; N ₂ O
Potencial de Formación de Oxidantes Fotoquímicos (PFOQ)	gr/TM C ₂ H ₄ equivalente	Indica el impacto potencial de cada modelo sobre la generación de ozono troposférico. La formación de oxidantes fotoquímicos suele contemplar sólo la formación de ozono, aun cuando hay otros compuestos oxidantes que se forman en atmósferas contaminadas (NO _x , H ₂ O ₂ y oxidantes orgánicos como aldehídos, peróxidos, nitratos, etc.).	Atm.: CO, NO _x , CH ₄ , SO _x
Potencial de Eutrofización (PE)	gr/TM PO ₄ ³⁻ equivalente	Indica el impacto potencial de cada modelo sobre la eutrofización del medio acuático. El proceso de eutrofización es bastante complejo, puesto que los nutrientes depositados al suelo llegarán en mayor o menor medida a ecosistemas fluviales, el crecimiento de la biomasa en los sistemas estará limitada por uno u otro nutriente, etc. El nitrógeno y el fósforo principalmente, son los nutrientes limitantes en muchos ecosistemas acuáticos, por ello se considera que las emisiones de estos compuestos (incluidas las emisiones atmosféricas que a la larga van a parar al agua) afectan a esta categoría. También las emisiones con carga orgánica (expresada en este caso como DQO) se tienen en cuenta, puesto que empobrece el sistema de O ₂ disuelto. Se calcula a partir del procedimiento estequiométrico de Heijungs (1992).	Atm.: NO _x , NH ₃ Aigua: NH ₃ , DQO, nitrats

	Unidad	Descripción	Especies que contribuyen
Potencial de Acidificación (PA)	gr/TM SO ₂ equivalente	Indica el impacto potencial de cada modelo en la generación de lluvia ácida. EL Potencial de Acidificación (PA) se calcula mediante el método desarrollado por Huijbregts, 1999. El PA se define como la capacidad de liberar protones al medio, con la consecuente bajada del pH (Heijungs et. al., 1992). Esta liberación de protones será mayor o menor, para los compuestos de nitrógeno, en función del medio receptor (Finveden et. al., 1992), por lo que se dan unos potenciales máximos y mínimos para construir dos escenarios (el mejor o el peor posible). En este estudio hemos escogido valores intermedios.	Atm: NO _x , N ₂ O, SO _x , NH ₃
Potencial de Toxicidad Humana (PTH)	kg/TM /TM 1,4-diclorobenceno equivalente	Indica el impacto potencial de cada modelo sobre la toxicidad humana. Los factores de caracterización para el Potencial de Toxicidad Humana (PTH) incluyen los destinos, medios de exposición y efectos de las sustancias tóxicas sobre la salud humana para un escenario infinito en el tiempo. En esta aproximación la contribución a la toxicidad humana se calcula separadamente por emisiones al aire y agua, de manera que se puedan agregar después. Se asume que una emisión se dispersa completamente en un mundo modelo y que no existen mecanismos de degradación de estas sustancias. Además, excepto en el caso del suelo, no se consideran divisiones entre diferentes compartimentos de cada medio. Los factores se calculan sólo como el producto de una serie de constantes y un parámetro de efecto.	Atm.: NO _x , SO _x , HCl, HF, H ₂ S, Hidrocarburos, Dioxinas/Furanos, NH ₃ , As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn Aigua: Dioxinas/Furanos, fenoles, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn Suelo: AS, Cd, Cr III, Cr VI, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
Potencial de Ecotoxicidad en agua dulce PEC ad	kg /TM 1,4-diclorobenceno equivalente	Indica el impacto potencial de cada modelo sobre los ecosistemas acuáticos continentales. Se calcula del mismo modo que el PTH (modelo USAS-LCA), mediante destinos, medianos de exposición y efectos de las sustancias tóxicas.	Atm.: HF, Dioxinas/Furanos, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn Aigua: Dioxinas/Furanos, fenoles, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn Suelo: AS, Cd, Cr III, Cr VI, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn

	Unidad	Descripción	Especies que contribuyen
Potencial de Ecotoxicidad en agua marina PEC _{am}	TM /TM 1,4-diclorobenceno equivalente	Indica el impacto potencial de cada modelo sobre los ecosistemas acuáticos marinos. Se calcula del mismo modo que el PTH (modelo USAS-LCA), mediante destinos, medianos de exposición y efectos de las sustancias tóxicas.	Atm.: HF, Dioxinas/Furanos, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn Agua: Dioxinas/Furanos, fenoles, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn Suelo: AS, Cd, Cr III, Cr VI, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
Potencial de Ecotoxicidad terrestre PEC _t	kg/TM 1,4-diclorobenceno equivalente	Indica el impacto potencial de cada modelo sobre los ecosistemas terrestres. Se calcula del mismo modo que el PTH (modelo USAS-LCA), mediante destinos, medianos de exposición y efectos de las sustancias tóxicas.	Atm.: HF, Dioxinas/Furanos, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn Agua: Dioxinas/Furanos, fenoles, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn Suelo: AS, Cd, Cr III, Cr VI, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn

TABLA 18. Resumen de indicadores de impacto ambiental