

Análisis de Ciclo de Vida de la gestión de residuos de envases de PET, latas y bricks mediante SIG y SDDR en España

Revisado, Febrero 2011

Coordinación

Dr. Jordi Oliver i Solà
Dr. Carles Martínez Gasol

Investigadora

MSc. Eva Sevigné Itoiz

Revisión externa

Dr. Joan Rieradevall i Pons
Dr. Xavier Gabarrell i Durany

Realizado por:



Revisado por:



Realizado para:



Índice

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO. FASE I. INVENTARIO AMBIENTAL	3
3.	DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE ENVASES ANALIZADOS... 4	
3.1.	Descripción del modelo de SDDR para envases de PET, latas y bricks considerado	4
3.2.	Descripción del modelo de gestión SIG para envases de PET, latas y bricks considerado .	5
4.	ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA COMPARATIVO ENTRE EL SDDR ADAPTADO DEL MODELO ALEMÁN Y EL SIG ESPAÑOL.....	7
4.1.	Definición de objetivos y alcance del estudio.....	8
4.1.1.	<i>Objetivos del análisis</i>	8
4.1.2.	<i>Alcance del estudio</i>	8
4.2.	Sistema de Depósito Devolución y Retorno (SDDR)	9
4.2.1.	<i>Límites del sistema</i>	9
4.2.2.	<i>Inventario del Ciclo de Vida del SDDR</i>	11
4.3.	Sistema Integrado de Gestión (SIG).....	17
4.3.1.	<i>Límites del sistema</i>	17
4.3.2.	<i>Inventario del Ciclo de Vida del SIG</i>	19
4.4.	Análisis de escenarios SDDR y SIG de envases ligeros de PET, latas y bricks	23
4.4.1.	<i>Plantilla de cálculo de impactos ambientales</i>	24
5.	EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE ENVASES LIGEROS SDDR ADAPTADO DEL MODELO ALEMÁN Y SIG ESPAÑOL	25
5.1.	Resultados del ACV por subetapas del SDDR y SIG con una recogida selectiva del 55% .	26
5.1.1.	<i>Desglosado de impactos por etapas de ciclo de vida en SDDR</i>	27
5.1.2.	<i>Desglosado de impactos por etapas de ciclo de vida en SIG</i>	29
5.1.3.	<i>Comparación entre subsistemas para ambos modelos de gestión</i>	31
5.2.	Comparación ambiental global entre el SDDR y el SIG español.	33

5.2.1. Comparación de diferentes escenarios de SDDR y el SIG español en la categoría de calentamiento global (CO2 eq.)	33
5.2.2. Comparación de diferentes escenarios de SDDR y el SIG español en las 7 categorías ambientales de Análisis de Ciclo de Vida analizadas	37
6. CONCLUSIONES	38
6.1. Impacto ambiental del SDDR adaptado del modelo alemán y el SIG español por subetapas	38
6.2. Impacto ambiental comparativo entre el SDDR adaptado del modelo alemán y el SIG español para la categoría de potencial de calentamiento global	39
6.2.1. Impacto ambiental comparativo en las 7 categorías de impacto ambiental analizadas .	40
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
ANEXO I: ENTRADAS EN LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE ENVASES DE PET, LATAS Y BRICK.....	43
ANEXO II: IMPACTOS AMBIENTALES DE AMBOS SISTEMAS DE GESTIÓN	44
ANEXO III: METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE INFRAESTRUCTURAS DE RECOGIDA DE PET, LATAS Y BRICKS	48
ANEXO IV: METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE RECOGIDAS MUNICIPALES Y TRANSPORTES INTERURBANOS.....	51
ANEXO V: METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE INCINERACIÓN DE PET, LATAS Y BRICKS	60

Índice de tablas

Tabla 1: <i>Porcentajes de recuperación de envases de países europeos</i>	2
Tabla 2. <i>Entradas del sistema del Inventario global de las máquinas de retorno de SDDR</i>	12
Tabla 3: <i>Porcentaje de recogidas municipales según tipo de municipio y contenedor</i>	12
Tabla 4. <i>Entradas del sistema del Inventario global de los contenedores de SDDR</i>	13
Tabla 5. <i>Entradas del sistema del Inventario global de los contenedores de SDDR</i>	13
Tabla 6. <i>Entradas del sistema del Inventario global de la recogida municipal de contenedores de resto de SDDR</i>	14
Tabla 7. <i>Distancias entre municipios y plantas para el SDDR</i>	14
Tabla 8. <i>Volumen camión, consumos de fuel y cargas transportadas del SDDR</i>	15
Tabla 9. <i>Entradas del sistema del Inventario global de las plantas de selección de envases de SDDR</i>	15
Tabla 10. <i>Entradas del sistema del Inventario global de plantas de incineración y vertederos controlados de SDDR</i>	16
Tabla 11. <i>Entradas del sistema del Inventario global de los contenedores de SIG</i>	20
Tabla 12. <i>Entradas del sistema del Inventario global de la recogida municipal de los contenedores de SIG</i>	21
Tabla 13. <i>Distancias entre municipios y plantas para el SIG</i>	21
Tabla 14. <i>Volumen camión, consumos de fuel y cargas transportadas del SIG</i>	22
Tabla 15. <i>Entradas del sistema del Inventario global de las plantas de selección de envases de SIG</i>	22
Tabla 16. <i>Entradas del sistema del Inventario global de plantas de incineración y vertederos controlados de SIG</i>	23
Tabla 17. <i>Impacto de cada sistema de gestión para cada categoría ambiental como resultado de la etapa de caracterización del ACV para la recuperación del 55%</i>	26
Tabla 18. <i>Impacto de cada sistema de gestión para la categoría ambiental de calentamiento global para diferentes porcentajes de recogida selectiva</i>	36
Tabla 19: <i>Entradas de envases PET, latas y bricks y toneladas en SDDR y SIG en función de los porcentajes de recogida selectiva</i>	43
Tabla 20. <i>Resultados globales de los impactos totales para cada categoría ambiental para el SDDR como resultado de la etapa de caracterización del ACV. 55% recogida selectiva y 20% manual.</i>	44
Tabla 21. <i>Resultados globales de los impactos totales para cada categoría ambiental para el SIG como resultado de la etapa de caracterización del ACV 55% recogida selectiva.</i>	45
Tabla 22. <i>Cantidad de máquina por kg de PET, latas y bricks retornado</i>	48

Tabla 23. <i>Resultados y datos técnicos de contenedores de resto en SDDR</i>	49
Tabla 24. <i>Resultados número de contenedores de envases ligeros en SIG</i>	50
Tabla 25. <i>Datos para el cálculo de la recogida municipal de contenedores de resto en SDDR</i>	52
Tabla 26. <i>Datos para el cálculo de la recogida municipal de contenedor de envases ligeros y resto SDDR</i>	53
Tabla 27. <i>Zonificación y distancias calculadas de los municipios hasta las plantas selección envases SDDR</i>	54
Tabla 28. <i>Distancias calculadas de los municipios hasta las plantas selección de envases SIG</i>	56
Tabla 29. <i>Distancia recorridas hasta los recicladores</i>	58
Tabla 30. <i>Composición de materiales a incineración sobre la tonelada a gestionar</i>	60

Índice de figuras

Figura 1. <i>Plan de trabajo</i>	3
Figura 2: <i>Diagrama del SDDR considerado</i>	5
Figura 3: <i>Diagrama del SIG considerado</i>	6
Figura 4: <i>Límites del sistema de gestión de PET, latas y bricks en SDDR considerados en el ACV</i>	10
Figura 5: <i>Límites del sistema de gestión de PET, latas y bricks en SIG considerados en el ACV</i>	18
Figura 6: <i>Plantilla de estudio de situaciones alternativos de gestión de envases ligeros de PET, latas y bricks</i>	24
Figura 7. <i>Resultados relativos de impacto ambiental del escenario base entre los dos sistemas de gestión SIG-SDDR por categoría de impacto</i>	26
Figura 8. <i>Contribución relativa de las diferentes etapas del SDDR al impacto total para las distintas categorías</i>	27
Figura 9. <i>Contribución relativa de las diferentes etapas de transporte del SDDR por categorías de impacto</i>	28
Figura 10. <i>Contribución relativa de las diferentes etapas de tratamientos finalistas del SDDR por categorías de impacto</i>	29
Figura 11. <i>Contribución relativa de las diferentes etapas del SIG al impacto total para las distintas categorías</i>	29
Figura 12. <i>Contribución relativa de las diferentes etapas del transporte SIG al impacto total por categorías de impacto</i>	30
Figura 13. <i>Contribución relativa de las diferentes etapas del tratamiento finalista SIG al impacto total por categorías de impacto</i>	31
Figura 14. <i>Comparación ambiental entre el subsistema SIG rural y el subsistema SDDR rural</i>	32
Figura 15. <i>Comparación ambiental entre el subsistema SIG semiurbano y el subsistema SDDR semiurbano</i>	32
Figura 16. <i>Comparación ambiental entre el subsistema SIG semiurbano y el subsistema SDDR urbano</i>	32
Figura 17: <i>Comparación ambiental entre el SDDR1, SDDR2, SDDR3 y el SIG español para porcentajes de recogida selectiva entre el 10% y el 100%. Calentamiento global (GW)</i>	35
Figura 18. <i>Ahorro de emisiones de CO₂ eq. en la comparación ambiental entre el SDDR y el SIG por tonelada de PET, latas y bricks recogida selectivamente para su reciclaje</i>	40
Figura 19: <i>Comparación ambiental entre el SDDR y el SIG para porcentajes de recogida selectiva entre el 10% y el 100%. Agotamiento biótico (AD)</i>	45
Figura 20: <i>Comparación ambiental entre el SDDR y el SIG para porcentajes de recogida selectiva entre el 10% y el 100%. Acidificación (AC)</i>	46

Figura 21: Comparación ambiental entre el SDDR y el SIG para porcentajes de recogida selectiva entre el 10% y el 100%. Eutrofización (EP)	46
Figura 22: Comparación ambiental entre el SDDR y el SIG para porcentajes de recogida selectiva entre el 10% y el 100%. Agotamiento capa de ozono (ODP)	46
Figura 23: Comparación ambiental entre el SDDR y el SIG para porcentajes de recogida selectiva entre el 10% y el 100%. Toxicidad humana (HT)	47
Figura 24: Comparación ambiental entre el SDDR y el SIG para porcentajes de recogida selectiva entre el 10% y el 100%. Oxidación fotoquímica (PO)	47
Figura 25: Ubicación plantas de selección de envases en España para el año 2008 [2]	56

1. INTRODUCCIÓN

Los primeros sistemas integrados de gestión se articularon bajo la ley 11/1997 de 24 de abril de envases y residuos de envases (LERE) [1] cuyo desarrollo reglamentario se llevó a cabo por el Real Decreto de 1 de mayo de 1998. Después de su entrada en vigor, los envasadores, comerciantes de productos envasados o los responsables de su primera puesta en el mercado, debían aplicar una de las dos opciones que contempla dicha Ley para la recuperación de los envases:

- Articular su propio sistema de depósito, devolución y retorno de envases (SDDR)
- Adherirse a un sistema integrado de gestión (SIG)

El SDDR es aplicable a envases de un solo uso (todos los materiales) y también a envases reutilizables (botellas de vidrio o PET y cajas de plástico). En el SDDR los envasadores están obligados a cobrar a sus clientes una cantidad por envase entregado en concepto de depósito, a aceptar la devolución de los envases usados y comercializados por ellos, a devolver a los clientes la cantidad cobrada y a entregar dichos envases a un recuperador, reciclador o valorizador autorizados o a un agente económico para su reutilización.

En los sistemas SIG las empresas responsables de poner en el mercado los productos deben pagar un importe a una sociedad gestora constituida por los propios fabricantes del producto/residuo con tal de financiar la gestión y asegurar el cumplimiento de los objetivos de reciclaje y valorización. Este pago contempla el pago únicamente del sobre coste de la recogida, el transporte y el tratamiento de los residuos respecto a su disposición.

El SIG ha sido el modelo de gestión más utilizado por las empresas españolas y la mayor parte de los envases no comerciales de envases ligeros se gestionan a través de la sociedad Ecoembalajes España S.A (Ecoembes) que gestiona los envases de papel y cartón, plástico, bricks, metal, cerámica y madera (90% de las empresas adheridas [2]).

En previsión de la revisión de la LERE y con la intención de establecer un nuevo marco normativo a nivel estatal se han puesto en marcha diversos estudios que valorarán la implementación progresiva del modelo SDDR en sustitución del modelo SIG para los envases de PET, latas y bricks. Para ello, la Fundació per a la Prevenció de Residus i el Consum Responsable (FPRC) a través de la REDTORNA ha encargado 3 estudios paralelos que analizarán los impactos económicos, sociales y ambientales de ambos modelos de gestión [3].

REDTORNA por un “modelo ecoeficiente de gestión de envases” se ha creado como un apoyo al modelo SDDR. Esta red de apoyo supone la alianza de diferentes agentes económicos, sociales y administraciones y tiene como objetivo aportar datos e información sobre el modelo actual de gestión de residuos de envases, formular propuestas proactivas, abrir el debate en torno a la gestión de residuos de envases y formar parte de la plataforma estatal formada por entidades sociales, consumidores, ecologistas, ayuntamientos, sector empresarial, gremios, universidades, etc. para formular la demanda del cambio de normativa vigente.

Con el nuevo modelo SDDR que se propone se esperan alcanzar altos niveles de recuperación de envases además de mejorar la calidad de los materiales recuperados como se desprende de las experiencias recogidas de otros países de Europa.

Tabla 1: *Porcentajes de recuperación de envases de países europeos*

Países	Recuperación SDDR (%)
Noruega	80% PET - 93% latas
Finlandia	77% PET - 86% latas
Suecia	95% latas
Alemania	95 - 97% envases un solo uso
Holanda	>95% botellas grandes

El presente estudio responde a la demanda de datos ambientales cuantitativos, objetivos y de calidad para utilizarlo como criterio en la toma de decisión de la selección del sistema de gestión de envases de PET, latas y bricks SDDR o SIG más ambientalmente correcto. El análisis ambiental se realiza mediante la cuantificación de 7 indicadores ambientales (ver capítulo 5 del presente documento). Este análisis permitirá determinar los impactos ambientales asociados a cada sistema de gestión e indicar las etapas del ciclo de vida con mayores impactos.

2. METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO. FASE I. INVENTARIO AMBIENTAL

El plan de trabajo del proyecto consta de una serie de etapas, siguiendo la metodología que se describe a continuación:

- **Planteamiento de objetivos.** Se realiza una reunión con los interlocutores de la FPCR en la que se definen los objetivos del estudio, así como el alcance del mismo. Se selecciona y establecen las hipótesis y consideraciones a tener en cuenta en función de la complejidad del mismo.
- **Evaluación de los sistemas de gestión.** Se inicia el inventario de los sistemas de gestión, a partir del cual se podrá llevar a cabo el análisis de ciclo de vida (ACV) del mismo.
- **Establecimiento de escenarios.** A partir del ACV inicial y una vez detectados los puntos críticos, se plantean diferentes escenarios alternativos que comparan ambos sistemas a iguales porcentajes de recogida selectiva para valorar los impactos ambientales derivados de otras situaciones de generación de residuos de envases ligeros. Se fija una reunión donde se presentan los resultados obtenidos hasta la fecha.
- **Redacción del informe final.** Todo el trabajo realizado a lo largo del proyecto se plasma en un informe final y una herramienta de cálculo¹, que recopila la información generada durante la realización del mismo. Se presenta en una reunión final de cierre de proyecto con la FPCR.

En la **Figura 1** se presenta un esquema del plan de trabajo:

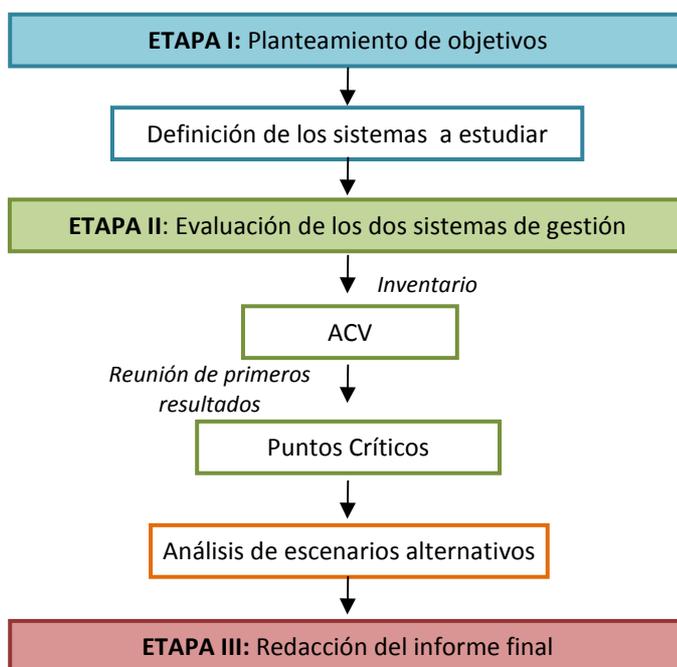


Figura 1. Plan de trabajo

¹ Dicha herramienta de cálculo se encuentra disponible en la página web de Inèdit previa identificación del usuario y solicitud de las claves de acceso.

3. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE ENVASES ANALIZADOS

La descripción de los sistemas de gestión de envases ligeros analizados pretende orientar sobre cuáles son las características de las etapas y procesos tenidos en cuenta. Esta información ha de permitir una interpretación mejor de los resultados de impacto ambiental de los dos sistemas de gestión.

La **fracción de envases ligeros comprende** envases de **papel-cartón**, envases de **plástico**, envases de **metal** y envases de **madera**. Sin embargo,

En los sistemas analizados únicamente se estudiarán los envases ligeros de PET, latas y bricks debido a que son las fracciones más susceptibles de entrar en el SDDR. Por tanto, para el SIG vigente actualmente en España se analizará la parte proporcional a estas tres fracciones de residuos de envases.

3.1. Descripción del modelo de SDDR para envases de PET, latas y bricks considerado

Los residuos de envases de PET, latas y bricks serán recogidos selectivamente en los pequeños comercios de manera manual al entregárselo al dependiente y mediante máquinas específicas de retorno ubicadas en las grandes superficies: supermercados, hipermercados, grandes almacenes y centros comerciales.

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 (ver su ubicación en el anexo IV) 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 tres tipos de materiales considerados.

Por otro lado, en las máquinas específicas de retorno, los residuos de envases de PET, latas y bricks 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.

Una parte de los residuos de envases de PET, latas y bricks podrá ser recogida en la fracción resto en el contenedor destinado a ello. Esta fracción tendrá como destino final la disposición en vertederos controlados o la valorización energética en plantas de incineración, previo paso por una planta de transferencia donde se reduce el volumen y se compactan los envases.

En el análisis no se ha considerado el paso por una planta de tratamientos de residuos sólidos urbanos (RSU) en la que puedan recuperarse envases de PET, latas y bricks por no disponerse de información de calidad. Además esta etapa tendría los mismos impactos en SDDR y SIG por lo que no considerarla no afecta el resultado final de la comparación.

El resto de residuos de envases ligeros no contemplados en el SDDR quedan fuera del estudio presente.

La figura 2 recoge un diagrama del SDDR planteado y analizado para España.

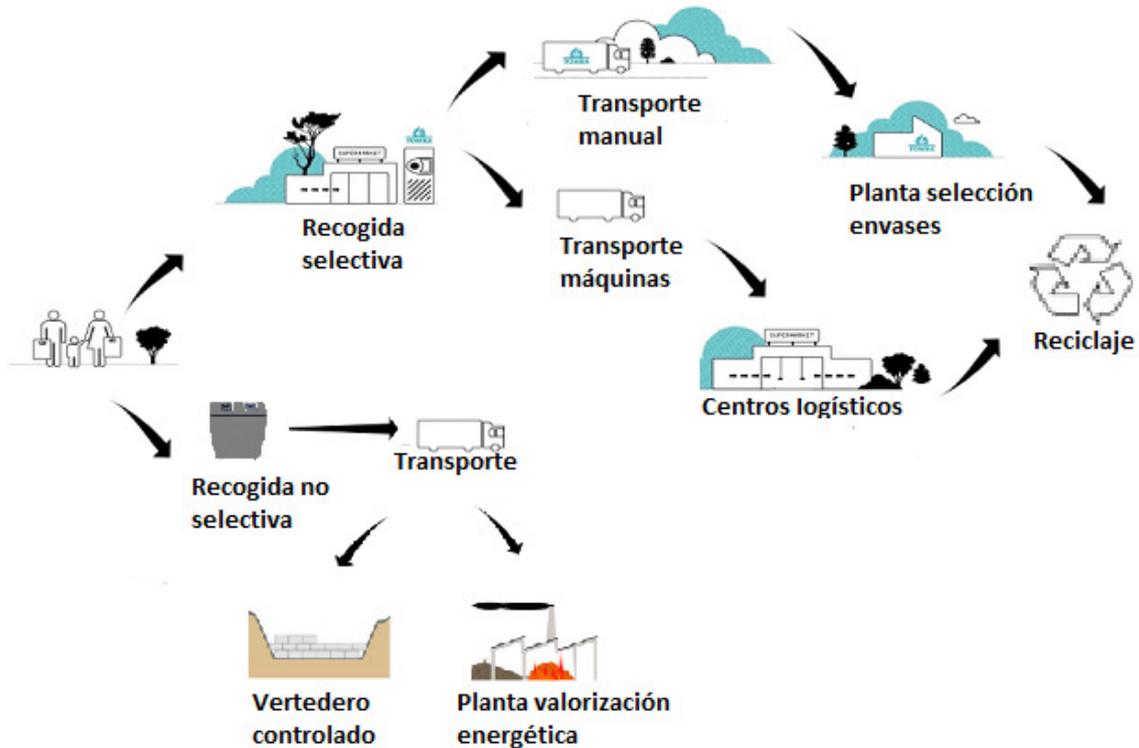


Figura 2: Diagrama del SDDR considerado

3.2. Descripción del modelo de gestión SIG para envases de PET, latas y bricks considerado

Para poder comparar el SDDR planteado para las tres fracciones de envases con el SIG de envases ligeros de España se analiza la parte proporcional de la fracción de envases ligeros correspondiente a PET, latas y bricks. Estos tres materiales constituyen un 45% de la fracción de envases ligeros en el año 2008 en España [21].

En el SIG de envases ligeros actualmente vigente y gestionado por Ecoembes los residuos de envases ligeros adheridos se recogen selectivamente mediante contenedores de envases específicos para su recogida (contenedor amarillo). Una parte de estos residuos de envases ligeros no se recoge selectivamente y son recogidos junto con la fracción resto, en las limpiezas viarias y en las limpiezas de playas. En el SIG analizado se ha considerado que la parte de los envases ligeros no recogidos selectivamente serán depositados en los contenedores de resto junto con otras fracciones de residuos sólidos urbanos. En la figura 3 se recoge un diagrama del SIG analizado del conjunto del SIG.

Una vez efectuada la recogida municipal de los contenedores amarillos se procede en la mayoría de las veces a una transferencia de envases ligeros donde se compactan para reducir

su volumen y optimizar el transporte. Desde las plantas de transferencia los envases ligeros se envían a las plantas de selección de envases ligeros donde se separan los envases por tipos de material (ver la ubicación de las plantas existentes en la figura 22 del anexo IV). Los residuos de envases ligeros seleccionados son enviados a las plantas de reciclaje donde se procederá a su reciclaje. En las plantas de selección también se produce un rechazo que se envía como destino final a los vertederos controlados.

Finalmente, los residuos de envases ligeros en la fracción resto tendrán como destino final los vertederos controlados y la incineración, previo paso por una planta de transferencia.

En el análisis no se ha considerado el paso por una planta de tratamientos de residuos sólidos urbanos (RSU) en la que puedan recuperarse envases de PET, latas y bricks por no disponerse de información de calidad. Además esta etapa tendría los mismos impactos en SDDR y SIG por lo que no considerarla no afecta el resultado final de la comparación.

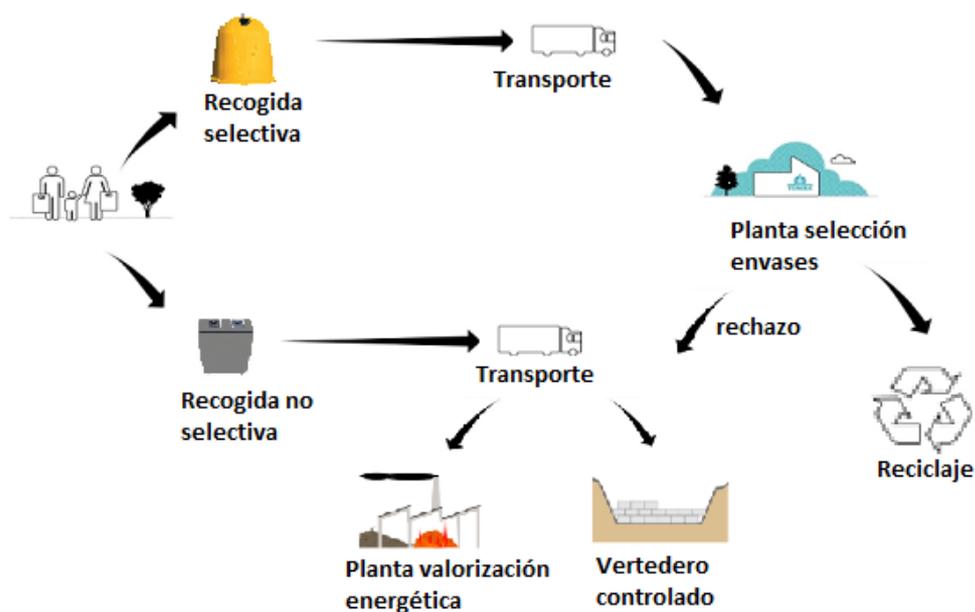


Figura 3: Diagrama del SIG considerado

4. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA COMPARATIVO ENTRE EL SDDR ADAPTADO DEL MODELO ALEMÁN Y EL SIG ESPAÑOL

El Análisis de Ciclo de Vida (en adelante **ACV**) es una metodología que permite sistematizar la adquisición y generación de información para establecer criterios objetivos en la toma de decisiones hacia un desarrollo sostenible. Además, esta herramienta permite detectar de forma eficaz las oportunidades de mejora de todo el sistema, no limitándose únicamente a la instalación objeto de estudio, sino ampliando el análisis en etapas anteriores y posteriores.

La consideración del impacto ambiental de un producto/proceso/servicio a lo largo de su ciclo de vida se remonta a la década de 1960, si bien ha recibido un importante impulso en los últimos años [4]. La primera definición del ACV fue establecida por la Sociedad de Química y Toxicología Medioambiental (SETAC) en 1993:

“Un proceso objetivo para: (1) evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad mediante la identificación y cuantificación del uso de materia y energía así como de las emisiones liberadas al ambiente; (2) analizar los impactos asociados a ese uso de materia, energía y a las correspondientes emisiones; y finalmente para (3) identificar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental. El análisis incluye el ciclo de vida completo del producto, proceso o actividad, abarcando la extracción y procesamiento de las materias primas; fabricación, transporte y distribución; uso, re-utilización, mantenimiento; reciclaje y disposición final” [5].

La profundidad y amplitud de un estudio de ciclo de vida puede diferir considerablemente dependiendo del objetivo de un ACV particular [6]. Sin embargo, pueden identificarse cuatro fases en todo estudio de análisis del ciclo de vida que serán tratadas en detalle:

- Definición de objetivos y alcance
- Análisis de inventario
- Evaluación del impacto de ciclo de vida
- Interpretación de resultados

4.1. Definición de objetivos y alcance del estudio

Este ACV sigue, en líneas generales, la estructura determinada por la normativa internacional ISO 14.040:2006, *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and framework*, así como la metodología propuesta por la SETAC.

4.1.1. Objetivos del análisis

El objetivo principal del estudio es el de aportar datos ambientales de calidad del comportamiento ambiental de la implementación del sistema SDDR para las fracciones de envases de PET, latas y bricks en el contexto de la revisión de la LERE.

Otro objetivo específico del estudio es la cuantificación del impacto ambiental en 7 categorías de impacto del SDDR y del SIG para determinar si existe beneficio ambiental derivado de la implementación del SDDR.

4.1.2. Alcance del estudio

Unidad funcional

La unidad funcional para este estudio es:

Poner a disposición del reciclador una tonelada de envases de PET, latas y bricks considerando la eficiencia del SIG en España y un SDDR con niveles de automatización de la recogida selectiva adaptados del modelo alemán.

Las tres fracciones de envases estudiadas suponen el 45% en peso del total de residuos de envases ligeros generados en España; distribuidos de la siguiente manera[21]:

- PET: 21%
- Latas: 16%
- Bricks: 8%

De todos los impactos ambientales asociados al SIG de envases ligeros existente en España se ha contabilizado solamente la parte proporcional, en peso, correspondiente a estas tres fracciones de envases.

Respecto a la unidad funcional, la distribución de las fracciones de envases PET, latas y bricks queda distribuida según:

- PET: 47%
- Latas: 36%
- Bricks: 17%

La cantidad de residuos de envases (kg) de PET, latas y bricks recogidos selectivamente y que se deberán gestionar para ambos sistemas viene determinada por: el porcentaje de recogida selectiva (de 1% a 100%) y la eficiencia de las plantas de selección de envases españolas, para estos tres envases, en el caso del SIG (67%) [21].

Estas variables condicionan la cantidad total de residuos de envases recogidos selectivamente necesarios para satisfacer la unidad funcional (ver tabla 19 en anexo I).

4.2. Sistema de Depósito Devolución y Retorno (SDDR)

4.2.1. Límites del sistema

Dentro de los límites del sistema SDDR se incluyen la producción de las máquinas específicas de retorno de envases teniendo en cuenta los materiales utilizados, el proceso de producción, la vida útil y el consumo energético.

Para el flujo de envases de PET, latas y bricks que se depositan en la fracción resto se ha considerado proporcionalmente los tres tipos de contenedores más habituales en España [7] y por tanto las recogidas municipales específicas a cada contenedor considerado.

Además, se incluyen los consumos de diesel asociados a cada unas de las etapas de recogida municipal (contenedores de resto, máquinas y comercios) y el transporte hasta los centros logísticos, plantas de selección y las diferentes plantas de tratamiento finalistas. Los consumos energéticos de la incineración, la selección de envases o el vertedero controlado también forman parte de los límites del sistema (Figura 4).

De las etapas del ciclo de vida correspondientes a la parte de residuos de envases ligeros que serán recogidos junto con la fracción resto, se han contabilizado los impactos proporcionales a la gestión los tres residuos de envases considerados (PET, latas y bricks).

La etapa de reciclado de los envases ligeros en las plantas de recuperación queda excluida del sistema de estudio pero en cambio se incluye el transporte hasta la puerta del reciclador. Además quedan excluidos del sistema la etapa de mantenimiento de los contenedores, el consumo de la maquinaria en las plantas de tratamientos, el transporte hasta las plantas de transferencia y el consumo dentro de las mismas.

En la figura 4 se recoge un esquema de los límites del sistema SDDR analizado.

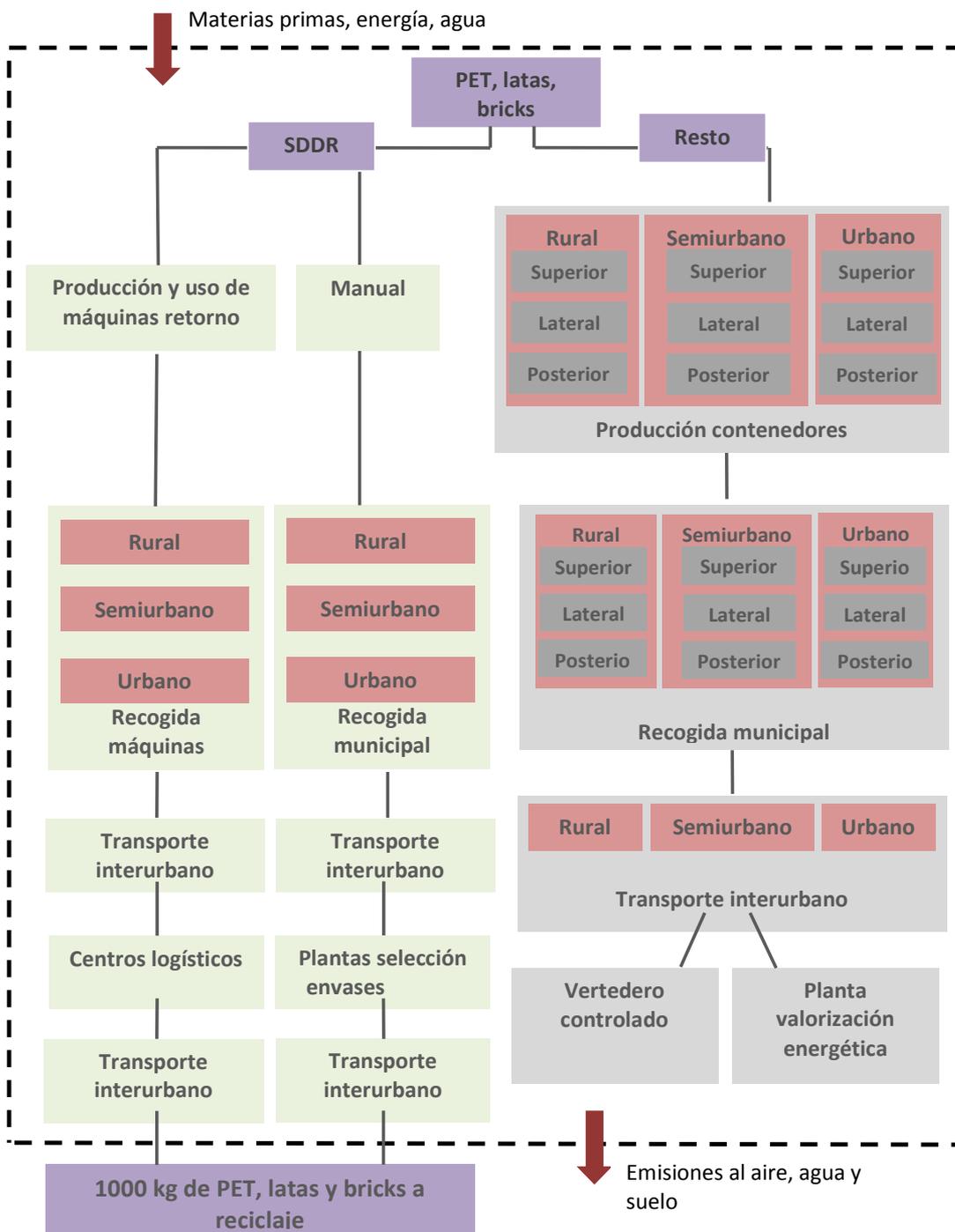


Figura 4: Límites del sistema de gestión de PET, latas y bricks en SDDR considerados en el ACV

4.2.2. Inventario del Ciclo de Vida del SDDR

Para el estudio del SDDR se requiere disponer de datos de inventario relativos a las entradas y salidas más relevantes del sistema bajo estudio. La calidad de los datos de inventario influirá considerablemente en los resultados obtenidos en la siguiente etapa (análisis de impacto del ciclo de vida). A continuación, se presentan las tablas de inventario con los datos proporcionados y obtenidos de diversas fuentes: Agencia de Residuos de Catalunya (ARC) [8,9,10,11], Ecoembes [2,7,21], FPCR [3], Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (MARM) [12,13], la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC) [14], Tomra [24], Rhenus Logistics [25], Volvo [17] (tabla 2 a tabla 10).

Además de los datos reales proporcionados, se emplearán datos bibliográficos consultados en bases de datos (*ecoinvent database 2.0*) referentes al consumo de camiones, procesos de producción de plásticos, etc. Se hacen las siguientes consideraciones y aclaraciones para el cálculo del inventario del ciclo de vida del escenario base.

1. La generación total de residuos de envases ligeros en España se ha calculado a partir de los datos de la generación de residuos sólidos urbanos (28.240.470 toneladas) obtenidos del MARM para el año 2008 [12] y se ha supuesto que un 12% [8] de estos residuos corresponde a envases ligeros (3.388.856 toneladas anuales de envases ligeros).
2. Los envases de PET, latas y brick suponen el 45%² [21] de los residuos de envases ligeros generados en España para el año 2008. Se ha considerado que este porcentaje se mantiene en los diferentes flujos del sistema analizado (recogida selectiva y no selectiva) y además el cálculo de los impactos de las diferentes etapas se ha realizado sobre este porcentaje para la fracción de resto.
3. Los sistemas se han dividido en tres subsistemas en relación a la población municipal para analizar las diferencias entre municipios. Las tres tipologías de municipios establecidos se han basado en la división que establece Ecoembes [7]: rural (<5.000 hab), semiurbano (5.000-50.000 hab) y urbano (>50.000 hab). Los datos utilizados para establecer el número de habitantes perteneciente a cada tipología de municipio han sido extraídos del Instituto Nacional de Estadística (INE) [22]. Los datos obtenidos han sido para ambos sistemas:
 - a. Rural: 13,12%
 - b. Semiurbano: 34,35%
 - c. Urbano: 52,54%
4. Para la producción de las máquinas específicas de retorno de envases se han tenido en cuenta el material utilizado, la vida útil, el proceso de producción y el consumo energético. Los datos utilizados para el cálculo del inventario presentado en la tabla 2 se encuentran disponibles en el anexo III junto con la metodología seguida.

² Dato obtenido a partir de estadísticas realizadas de flujos de materiales de las plantas de selección de envases. Recurso online disponible en [21]

Tabla 2. Entradas del sistema del Inventario global de las máquinas de retorno de SDDR

ENTRADAS desde la TECNOSFERA	Material^{1,2}	Consumo energético²
Máquinas de retorno_acero	g máquina / t (PET, latas, brick)	kWh/ t (PET, latas, brick)
Rural	664	36
Semiurbano	948	46
Urbano	692	37

Proceso fabricación máquinas

Extrusión

¹ No se dispone de datos sobre el material de las máquinas y se ha considerado que son de acero.

² El inventario se ha calculado sobre 1.000 kg de los envases considerados en cada subsistema (rural, semiurbano o urbano).

- Para cada supermercado se ha supuesto la colocación de 1 máquina y 2 para el resto de grandes superficies que tengan una superficie comercial por encima de los 200 m². Para el cálculo total de máquinas a implantar se han utilizado las estadísticas del INE [22].
- Además, para los envases de PET, latas y bricks depositados conjuntamente con la fracción resto, se han identificado tres tipologías de contenedor para la recogida de residuos; superior, lateral, posterior; y en consecuencia también tres tipos de recogida municipal. Los porcentajes de las tipologías de recogida por tipo de municipio, en base a los cuales se calculará el número de contenedores necesario de cada tipo, han sido facilitados por la ARC [10,23] y extrapolados para España. Los resultados obtenidos se recogen en la tabla 3.

Tabla 3: Porcentaje de recogidas municipales según tipo de municipio y contenedor

Tipo de municipio	Tipo de contenedor	Porcentaje (%)
Rural	Superior	7,02
	Lateral	7,46
	Posterior	85,52
Semiurbano	Superior	9,55
	Lateral	23,39
	Posterior	67,06
Urbano	Superior	8,09
	Lateral	63,87
	Posterior	28,04

- Para la producción de contenedores de resto se han tenido en cuenta el material utilizado, la vida útil y el proceso de producción. Las características técnicas para el cálculo del inventario presentado en la tabla 4 son datos obtenidos de Ecoembes [7] y se pueden ver en el anexo III. También la metodología seguida para el cálculo.

Tabla 4. Entradas del sistema del Inventario global de los contenedores de SDDR

ENTRADAS desde la TECNOSFERA		
Contenedor Resto y proceso_ Polietileno de Alta Densidad [15]		g contenedor¹ / t (PET, latas, brick
Rural	Superior	1.134
	Lateral	1.225
	Posterior	1.008
Semiurbano	Superior	1.210
	Lateral	1.225
	Posterior	1.068
Urbano	Superior	1.210
	Lateral	1.225
	Posterior	1.134

Proceso en todos los contenedores considerados

Inyección en molde

¹ El inventario se ha calculado sobre 1.000 kg de los envases considerados en cada subsistema (rural, semiurbano o urbano) y en cada tipo de contenedor.

- Los datos para la realización del inventario, presentados en la tabla 5, de recogidas municipales de PET, latas y bricks de las máquinas de retorno y de los comercios donde se efectúa recogida manual así como la metodología utilizada se encuentran en el anexo IV.

Tabla 5. Entradas del sistema del Inventario global de los contenedores de SDDR

ENTRADAS desde la TECNOSFERA	
Recogida municipal PET, latas y bricks en máquinas	tkm¹
Rural	0,03
Semiurbano	0,05
Urbano	0,007
Recogida municipal PET, latas y bricks manual	tkm¹
Rural	0,168
Semiurbano	0,099
Urbano	0,035

¹ El inventario se ha calculado sobre 1.000 kg de los envases considerados en cada subsistema (rural, semiurbano o urbano).

9. Los datos para la realización del inventario, presentados en la tabla 6, de recogidas municipales de PET, latas y bricks de los contenedores de resto así como la metodología utilizada se encuentran en el anexo IV.

Tabla 6. Entradas del sistema del Inventario global de la recogida municipal de contenedores de resto de SDDR

Recogida municipal de PET, latas y bricks de contenedores de resto		kgkm ¹
Rural	Superior	10,57
	Lateral	7,94
	Posterior	13,60
Semiurbano	Superior	9,22
	Lateral	6,75
	Posterior	11,22
Urbano	Superior	6,44
	Lateral	5,55
	Posterior	9,85

¹ El inventario se ha calculado sobre 1.000 kg de los envases considerados en cada subsistema (rural, semiurbano o urbano) y en cada tipo de contenedor.

10. Las distancias recorridas hasta las plantas de selección de envases y tratamientos finalistas están recogidas en la tabla de 7 y son calculables a partir de la metodología presentada en el anexo IV.

Tabla 7. Distancias entre municipios y plantas para el SDDR

Distancias	km
Municipio rurales a centros logísticos	100
Municipio semiurbano a centros logísticos	50
Municipio urbano a centros logísticos	25
Municipio rurales a plantas selección envases	150
Municipio semiurbano a plantas selección envases	150
Municipio urbano a plantas selección envases	150
Centros logísticos a centros recicladores	320
Plantas de selección envases a centros recicladores	320
Municipio rural, semiurbano y urbano a vertedero controlado	36
Municipio rural, semiurbano y urbano a planta incineración	13

11. El tipo de camión utilizado en cada transporte (recogida y transporte interurbano), el consumo del camión y la carga máxima transportada se presentan en la tabla 8. La metodología para el cálculo de los consumos de cada tipo de camión se encuentra en el anexo IV. Los impactos ambientales derivados de las etapas de recogidas municipales y de transporte interurbano se calculan a partir de los kilómetros recorridos por kg transportado, la cantidad total de residuos transportados y el consumo de cada tipo de camión.

Tabla 8. Volumen camión, consumos de fuel y cargas transportadas del SDDR

	Volumen camión (m ³)	Consumo (kg/ton/km)	Carga transportada (t)
Recogida municipal resto	20	0,336	2,5
Recogida municipal	Máquinas	20	0,086
PET, latas y bricks	Manual	20	0,723
Transporte interurbano resto	36	0,107	4,50
	Máquinas ¹	36	0,058
Transporte interurbano PET, latas y bricks	Manual a plantas ¹	36	0,472
	Máquinas/manual a recicladores	36	0,111

¹ Se ha considerado que se efectúa logística inversa.

12. Los consumos eléctricos en las plantas de selección de envases, en las plantas de valorización energética y en los vertederos controlados se presentan en las tablas 9 y 10. No se ha considerado el consumo de la maquinaria móvil en las plantas porque no se dispone de datos.

El consumo eléctrico del vertedero es debido a la bombas de extracción de lixiviados, pluviales y biogás.

Tabla 9. Entradas del sistema del Inventario global de las plantas de selección de envases de SDDR

ENTRADAS desde la TECNOSFERA	
Material	
Energía ¹ [16]	
Electricidad medio voltaje	Kwh / t (PET, latas, brick)
Rural	154,4
Semiurbano	154,4
Urbano	154,4

¹ El inventario se ha calculado sobre 1.000 kg de los envases considerados en cada subsistema (rural, semiurbano o urbano)

Tabla 10. Entradas del sistema del Inventario global de plantas de incineración y vertederos controlados de SDDR

ENTRADAS desde la TECNOSFERA

Material	
Energía Vertedero Controlado¹ [11]	
<i>Electricidad medio voltaje</i>	kwh/ t (PET, latas, brick)
Rural	1,65
Semiurbano	1,65
Urbano	1,65
Energía Incineración^{2,3} [11]	
<i>Electricidad medio voltaje</i>	kwh/ t (PET, latas, brick)
Rural	72,6
Semiurbano	72,6
Urbano	72,6

¹ El inventario se ha calculado sobre 1.000 kg de los envases considerados en cada subsistema (rural, semiurbano o urbano)

² Se ha considerado un porcentaje a plantas de valorización energética (5%) y vertedero controlado (95%) [12]

³ Los impactos ambientales de la incineración se han calculado proporcionalmente a los materiales de envases. Ver anexo V.

13. Al no disponerse de información de calidad sobre las plantas de RSU (ni sobre su ubicación) para la recuperación de un parte de los envases de PET, latas y bricks en la fracción resto, no se han considerado los impactos derivados de: el transporte hasta la plantas de tratamiento, el consumo energético de las plantas y el transporte de los recuperadores hasta los centros de reciclaje.

4.3. Sistema Integrado de Gestión (SIG)

4.3.1. Límites del sistema

De todos los impactos ambientales asociados al SIG de envases ligeros existente en España se ha contabilizado la parte proporcional a los tres residuos de envases ligeros considerados: PET, latas y bricks.

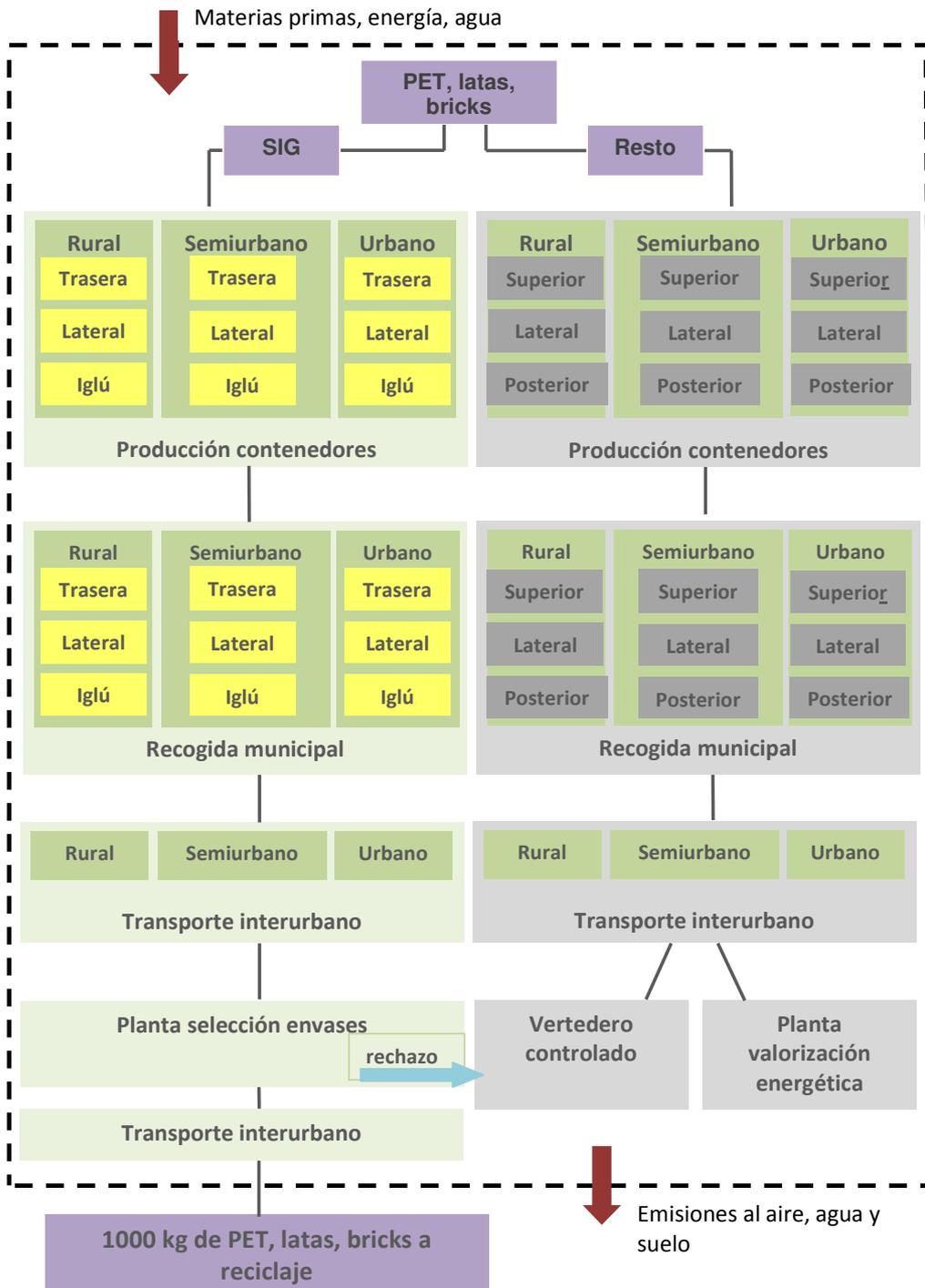
En los límites del SIG se incluyen la producción de los contenedores de envases ligeros y de resto necesarios para la recogida municipal teniendo en cuenta el material utilizado y el proceso de producción. Como en el sistema SDDR se han considerado tres tipos de contenedores para la fracción de residuos de envases y otros tres tipos para la fracción de resto. Las recogidas municipales serán específicas según el contenedor considerado y dentro de los límites del sistema se encuentra el consumo de diesel asociado a esta etapa.

Se ha considerado la compactación de las dos fracciones pero no el transporte hasta las plantas de transferencia ni tampoco el consumo de las compactadoras por falta de datos de calidad.

Los consumos de diesel asociados a cada una de las etapas de transporte interurbano así como los consumos energéticos de las diferentes plantas de tratamiento también forman parte de los límites del sistema.

La etapa de reciclado de los envases ligeros en las plantas de recuperación queda excluida del sistema de estudio pero en cambio se incluye el transporte hasta la puerta, como en el SDDR. Además, quedan excluidos del sistema la etapa de mantenimiento de los contenedores y el consumo de la maquinaria en las plantas de tratamiento.

La figura 5 presenta un esquema de las etapas incluidas en el ciclo de vida del SIG y los límites del sistema.



*se asigna el 45% de los impactos ambientales atribuibles a la totalidad del SIG gestionado por ECOEMBES ya que es el porcentaje de las tres fracciones de envases consideradas dentro de la fracción de envases ligeros en España.

Figura 5: Límites del sistema de gestión de PET, latas y bricks en SIG considerados en el ACV

4.3.2. Inventario del Ciclo de Vida del SIG

Para el estudio del SIG y su comparación con el SDDR se requiere disponer de datos de inventario relativos a las entradas y salidas más relevantes del sistema bajo estudio. La calidad de los datos de inventario influirá considerablemente en los resultados obtenidos en la siguiente etapa (análisis de impacto del ciclo de vida). A continuación, se presentan las tablas de inventario del proceso global con los datos proporcionados y obtenidos de diversas fuentes: Agencia de Residuos de Catalunya (ARC) [8,9,10,11], Ecoembes [2,7,21], FPCR [3], Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (MARM) [12,13], la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC) [14], Tomra [24], Rhenus Logistics [25], Volvo [17] para las diferentes etapas del ciclo de vida (tabla 11 a tabla 16).

Además de los datos reales proporcionados, se emplearán datos bibliográficos consultados en bases de datos (*ecoinvent database 2.0*) referentes al consumo de camiones, procesos de producción de plásticos, etc. Se hacen las siguientes consideraciones y aclaraciones para el cálculo del inventario del ciclo de vida del escenario base.

1. La generación total de residuos de envases ligeros en España se ha calculado a partir de los datos de la generación de residuos sólidos urbanos (28.240.470 toneladas) obtenidos del MARM para el año 2008 [12] y se ha supuesto que un 12% [8] de estos residuos corresponde a envases ligeros (3.388.856 toneladas anuales de envases ligeros).
2. Los envases de PET, latas y brick suponen el 45%³ [21] de los residuos de envases ligeros generados en España para el año 2008. Se ha considerado que este porcentaje se mantiene en los diferentes flujos del sistema analizado (recogida selectiva y no selectiva) y además el cálculo de los impactos de las diferentes etapas se ha realizado sobre este porcentaje para la fracción de resto.
3. Los sistemas se han dividido en tres subsistemas en relación a la población municipal para analizar las diferencias entre municipios. Las tres tipologías de municipios establecidos se han basado en la división que establece Ecoembes [7]: rural (<5.000 hab), semiurbano (5.000-50.000 hab) y urbano (>50.000 hab). Los datos utilizados para establecer el número de habitantes perteneciente a cada tipología de municipio han sido extraídos del Instituto Nacional de Estadística (INE) [22]. Los datos obtenidos han sido para ambos sistemas:
 - a. Rural: 13,12%
 - b. Semiurbano: 34,35%
 - c. Urbano: 52,54%
4. Además, se han identificado 6 tipologías de contenedor: trasera, lateral, iglú (contenedor envases ligeros); superior, lateral y posterior (contenedor de resto) y en consecuencia también seis tipos de recogida municipal. Los cálculos de la etapa de producción de contenedores (amarillos y de resto) se han realizado a partir de las características técnicas

³ Dato obtenido a partir de estadísticas realizadas de flujos de materiales de las plantas de selección de envases. Recurso online disponible en [21]

recogidas en publicaciones de Ecoembes [7,21] (ver anexo III) y el inventario se recoge en la tabla 11.

Tabla 11. Entradas del sistema del Inventario global de los contenedores de SIG

ENTRADAS desde la TECNOSFERA		
Contenedor amarillo_ proceso Polietileno de Alta Densidad [15]		
		g contenedor¹ / t (PET, latas, brick
Rural	Trasera	1.033
	Lateral	333
	Iglú	918
Semiurbano	Trasera	1.101
	Lateral	1.115
	Iglú	762
Urbano	Trasera	1.102
	Lateral	729
	Iglú	675
Contenedor Resto y proceso- Polietileno de Alta Densidad [15]		
		g contenedor¹ / t (PET, latas, brick
Rural	Trasera	1.135
	Lateral	1.226
	Iglú	1.009
Semiurbano	Trasera	1.211
	Lateral	1.226
	Iglú	1.068
Urbano	Trasera	1.211
	Lateral	1.226
	Iglú	1.135
Proceso en todos los contenedores considerados		
Inyección en molde		

¹ El inventario se ha calculado sobre 1.000 kg de los envases considerados en cada subsistema (rural, semiurbano o urbano) y en cada tipo de contenedor.

- Los porcentajes de las tipologías de recogida por tipo de municipio, en base a los cuales se calculará el número de contenedores necesario de cada tipo han sido facilitados por la ARC [10,23] y extrapolados para España. Los resultados obtenidos se recogen en la tabla 3.

6. Los datos para la realización del inventario de recogidas municipales de PET, latas y bricks de los diferentes tipos de contenedores, presentados en la tabla 12, se encuentran en el anexo IV junto con la metodología utilizada.

Tabla 12. Entradas del sistema del Inventario global de la recogida municipal de los contenedores de SIG

Recogida municipal PET, latas y bricks contenedor envases ligeros		kgkm¹
Rural	Trasera	70,43
	Lateral	52,92
	Iglú	90,68
Semiurbano	Trasera	61,44
	Lateral	44,99
	Iglú	74,82
Urbano	Trasera	42,94
	Lateral	37,00
	Iglú	65,67
Recogida municipal PET, latas y bricks contenedor resto		kgkm¹
Rural	Trasera	10,57
	Lateral	7,94
	Iglú	13,60
Semiurbano	Trasera	9,22
	Lateral	6,75
	Iglú	11,22
Urbano	Trasera	6,44
	Lateral	5,55
	Iglú	9,85

7. Las distancias recorridas hasta las plantas de selección de envases y tratamientos finalistas están recogidas en la tabla de 13 del inventario y son calculables a partir de la metodología presentada en el anexo IV.

Tabla 13. Distancias entre municipios y plantas para el SIG

Distancias	km
Municipio rurales a plantas selección envases	75
Municipio semiurbano a plantas selección envases	66
Municipio urbano a plantas selección envases	40
Plantas de selección envases a centros recicladores	320
Rechazo plantas de selección envases a vertedero	150
Municipio rural, semiurbano y urbano a vertedero controlado	36
Municipio rural, semiurbano y urbano a planta incineración	13

8. El tipo de camión utilizado en cada transporte (recogida y transporte interurbano), el consumo del camión y la carga máxima transportada se presentan en la tabla 14. La metodología para el cálculo de los consumos de cada tipo de camión se encuentra en el anexo IV. Los impactos ambientales derivados de las etapas de recogidas municipales y de transporte interurbano se calculan a partir de los kilómetros recorridos por kg transportado, la cantidad total de residuos transportados y el consumo de cada tipo de camión.

Tabla 14. *Volumen camión, consumos de fuel y cargas transportadas del SIG*

	Volumen camión (m³)	Consumo (kg/ton/km)	Carga transportada (t)
Recogida municipal resto	20	0,336	2,5
Recogida municipal PET, latas y bricks	20	0,227	1,04
Transporte interurbano resto	36	0,107	4,50
Transporte interurbano PET, latas y bricks	36	0,111	4,32

9. Los datos de consumo energético de las plantas de selección de envases, de las plantas de valorización energética y de vertedero controlado se presentan en las tablas 15 y 16. No se ha considerado el uso de maquinaria móvil dentro de los plantas por no disponerse de datos. Se considera una eficiencia de las plantas de selección del 67% [21].

El consumo eléctrico del vertedero es debido a la bombas de extracción de lixiviados, pluviales y biogás.

Tabla 15. *Entradas del sistema del Inventario global de las plantas de selección de envases de SIG*

ENTRADAS desde la TECNOSFERA

Material	
Energía¹ [9]	
<i>Electricidad medio voltaje</i>	kwh/ t (PET, latas, brick)
Rural	74,10
Semiurbano	74,10
Urbano	74,10

¹ El inventario se ha calculado para 1.000 kg de los envases considerados en cada subsistema (rural, semiurbano o urbano).

Tabla 16. Entradas del sistema del Inventario global de plantas de incineración y vertederos controlados de SIG

ENTRADAS desde la TECNOSFERA	
Material	
Energía Vertedero Controlado¹ [11]	
<i>Electricidad medio voltaje</i>	kwh/ t (PET, latas, brick)
Rural	1,65
Semiurbano	1,65
Urbano	1,65
Energía Incineración^{2,3} [11]	
<i>Electricidad medio voltaje</i>	kwh/ t (PET, latas, brick)
Rural	72,6
Semiurbano	72,6
Urbano	72,6

¹ El inventario se ha calculado para 1.000 kg de los envases considerados en cada subsistema (rural, semiurbano o urbano).

² El 5% del los envases de PET, latas y bricks en la fracción resto irán a plantas de valorización energética, mientras que el 95% tendrán como destino los vertederos controlados [12].

³ Los impactos ambientales de la incineración se han calculado proporcionalmente a los materiales de envases. Ver anexo V.

10. Al no disponerse de información de calidad sobre las plantas de RSU (ni sobre su ubicación) para la recuperación de un parte de los envases de PET, latas y bricks en la fracción resto, no se han considerado los impactos derivados de: el transporte hasta la plantas de tratamiento, el consumo energético de las plantas y el transporte de los recuperadores hasta los centros de reciclaje.

4.4. Análisis de escenarios SDDR y SIG de envases ligeros de PET, latas y bricks

En función del porcentaje de envases de PET, latas y bricks que sean recogidos selectivamente la cantidad que entran en el sistema para su gestión será mayor o menor. Por ejemplo si la recogida selectiva en el SDDR es del 10%, para la recuperación de 1 tonelada de PET, latas y bricks será necesario gestionar 10 toneladas, de las cuales 9 toneladas serán gestionadas como rechazo en la fracción resto. En el caso del SIG, si la recogida selectiva es del 10% la cantidad a gestionar es de 14,8 toneladas debido a que la eficiencia de las plantas de selección no es del 100% y se produce un rechazo adicional (ver tabla 19 en anexo I).

Los impactos ambientales varían en función de la recogida selectiva y de la cantidad de envases de PET, latas y bricks a gestionar en cada fracción en ambos sistemas de gestión y por eso se han considerado diferentes escenarios con porcentajes de recogida selectiva (entre el 10% y el 100%) para cada sistema de gestión. De cada porcentaje de recogida selectiva se han calculado los impactos ambientales para cada categoría de impacto.

Además, para el SDDR se han calculado los impactos ambientales derivados de diferentes porcentajes de recogida selectiva realizada a través de máquinas o manual.

4.4.1. Plantilla de cálculo de impactos ambientales

Se ha creado una plantilla en base al programa MS Office Excel 2007 que permitirá establecer diferentes flujos de recuperación de PET, latas y bricks para cada sistema de gestión, se podrá modificar las distancias y también establecer los impactos ambientales en cada sistema y la comparación entre ambos. En la figura 6 se recoge una impresión de la plantilla que podrá utilizarse para determinar el comportamiento ambiental de situaciones alternativas a las presentadas en este estudio.

DATOS ENTRADA			
SDDR			
	Cantidad	Unidad	Comentario
Envases Ligeros en SDDR	<input type="text"/>	%	Porcentaje EELL que serán recogida por SDDR
Envases Ligeros en Máquinas	<input type="text"/>	%	Porcentaje EELL que serán recogida en máquinas
Envases Ligeros en Manual	<input type="text"/>	%	Porcentaje EELL que serán recogida vía manual
SIG			
	Cantidad	Unidad	Comentario
Envases Ligeros Selectiva	<input type="text"/>	%	Porcentajes EELL recogidos selectivamente en SIG
Eficiencia planta selección envases	<input type="text"/>	%	Media eficiencia plantas de selección de envases
DATOS TRANSPORTE			
SDDR_Envases Ligeros			
	Cantidad	Unidad	Comentario
Municipios rural a centros logísticos	<input type="text"/>	km	km recorridos en el transporte de los envases recogidos mediante máquinas
Municipios rural a planta selección envases	<input type="text"/>	km	km recorridos en el transporte de los envases recogidos manualmente
Municipios semiurbano a centros logísticos	<input type="text"/>	km	km recorridos en el transporte de los envases recogidos mediante máquinas
Municipios semiurbano a planta selección envases	<input type="text"/>	km	km recorridos en el transporte de los envases recogidos manualmente
Municipios urbano a centros logísticos	<input type="text"/>	km	km recorridos en el transporte de los envases recogidos mediante máquinas
Municipios urbano a planta selección envases	<input type="text"/>	km	km recorridos en el transporte de los envases recogidos manualmente
De centros logísticos a recuperadores	<input type="text"/>	km	km recorridos en el transporte desde los centros logísticos a los recuperadores
De plantas selección a recuperadores	<input type="text"/>	km	km recorridos en el transporte desde los centros logísticos a los recuperadores
SIG_Envases Ligeros			
	Cantidad	Unidad	Comentario
Municipios rural a planta selección envases	<input type="text"/>	km	km recorridos en el transporte hasta plantas de selección
Municipios semiurbano a planta selección envases	<input type="text"/>	km	km recorridos en el transporte hasta plantas de selección
Municipios urbano a planta selección envases	<input type="text"/>	km	km recorridos en el transporte hasta plantas de selección
De plantas selección a recuperadores	<input type="text"/>	km	km recorridos hasta los recuperados
De plantas selección a rechazo	<input type="text"/>	km	km recorridos del rechazo de las plantas selección hasta vertedero
SDDR-SIG_RESTO			
	Cantidad	Unidad	Comentario
Municipios rural hasta Verterderos Controlados	<input type="text"/>	km	km recorridos hasta los vertedero controlados
Municipios rural hasta Plantas de Incineración	<input type="text"/>	km	km recorridos hasta las plantas incineración
Municipios semiurbano hasta Verterderos Controlados	<input type="text"/>	km	km recorridos hasta los vertedero controlados
Municipios semiurbano hasta Plantas de Incineración	<input type="text"/>	km	km recorridos hasta las plantas incineración
Municipios urbano hasta Verterderos Controlados	<input type="text"/>	km	km recorridos hasta los vertedero controlados
Municipios urbano hasta Plantas de Incineración	<input type="text"/>	km	km recorridos hasta las plantas incineración

Figura 6: Plantilla de estudio de situaciones alternativas de gestión de envases ligeros de PET, latas y bricks

5. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE ENVASES LIGEROS SDDR ADAPTADO DEL MODELO ALEMÁN Y SIG ESPAÑOL

Entre las etapas definidas en la fase de análisis de impacto en la metodología del ACV [18] se evaluó las etapas de caracterización. Se han considerado los factores de caracterización definidos por el *Centre of Environmental Science of Leiden University*: método CML 2 baseline 2000 V2.1 [19].

Las categorías de impacto analizadas fueron:

- Agotamiento de los recursos abióticos (AD) (kg Sb eq.),
- Acidificación (AC) (kg SO₂ eq.),
- Eutrofización (EP) (kg PO₄⁻³ eq.),
- Calentamiento global (GW) (kg CO₂ eq.),
- Agotamiento de la capa de ozono (ODP) (kg CFC-11 eq.),
- Toxicidad humana (HT) (kg 1,4-DB eq.) y
- Formación de oxidantes fotoquímicos (PO) (kg C₂H₄ eq.).

La etapa de caracterización implica la aplicación de modelos para obtener un indicador ambiental en cada categoría de impacto, unificando a una cantidad de referencia todas las sustancias clasificadas dentro de cada categoría mediante el empleo de factores de peso o equivalencia.

5.1. Resultados del ACV por subetapas del SDDR y SIG con una recogida selectiva del 55%

Para valorar los impactos ambientales de las diferentes etapas del ciclo de vida, se han analizado ambos sistemas de gestión para una recogida selectiva del 55% y para un SDDR con un 20% de recogida manual y un 80% a través de máquinas específicas de retorno de envases. Se han tomado estos valores del SDDR porque es el modelo centroeuropeo de implantación de este sistema de gestión.

La tabla 17 presenta los impactos obtenidos para cada categoría de ambos sistemas de gestión y la figura 7 muestra la comparación relativa entre ambos sistemas de gestión para cada una de dichas categorías de impacto. Los resultados muestran que para todas las categorías de impacto el SIG español tiene mayores impactos que el sistema SDDR considerado considerando una recogida selectiva del 55%.

Tabla 17. Impacto de cada sistema de gestión para cada categoría ambiental como resultado de la etapa de caracterización del ACV para la recuperación del 55%

Categoría de Impacto	Unidades	SDDR	SIG	Impacto evitado (SIG-SDDR)
AD	kg Sb eq	1,90E+00	2,90E+00	1,00E+00
AC	kg SO ₂ eq	1,52E+00	2,34E+00	8,25E-01
EP	Kg PO ₄ ⁻³ eq	2,54E-01	3,78E-01	1,24E-01
GW	kg CO ₂ eq	3,32E+02	5,22E+02	1,90E+02
ODP	kg CFC-11 eq	4,63E-05	7,96E-05	3,33E-05
HT	kg 1,4-DB eq	9,38E+01	1,43E+02	4,94E+01
PO	kg C ₂ H ₄	1,10E-01	2,97E-01	1,87E-01

El impacto evitado entre el sistema SDDR y el SIG varía entre un 63,0% para la categoría de oxidación fotoquímica (PO) y un 32,8% para la categoría de eutrofización (EP). Concretamente en la categoría de calentamiento global (GW) se reduce el 36,5 % evitando la emisión de 190 kg de CO₂ eq. por cada tonelada de PET, latas y bricks gestionados hasta puerta de reciclador.



Figura 7. Resultados relativos de impacto ambiental del escenario base entre los dos sistemas de gestión SIG-SDDR por categoría de impacto

5.1.1. Desglosado de impactos por etapas de ciclo de vida en SDDR

En la figura 8 se muestran las contribuciones relativas de los diferentes procesos implicados en el sistema bajo estudio para cada una de las categorías de impacto del SDDR.

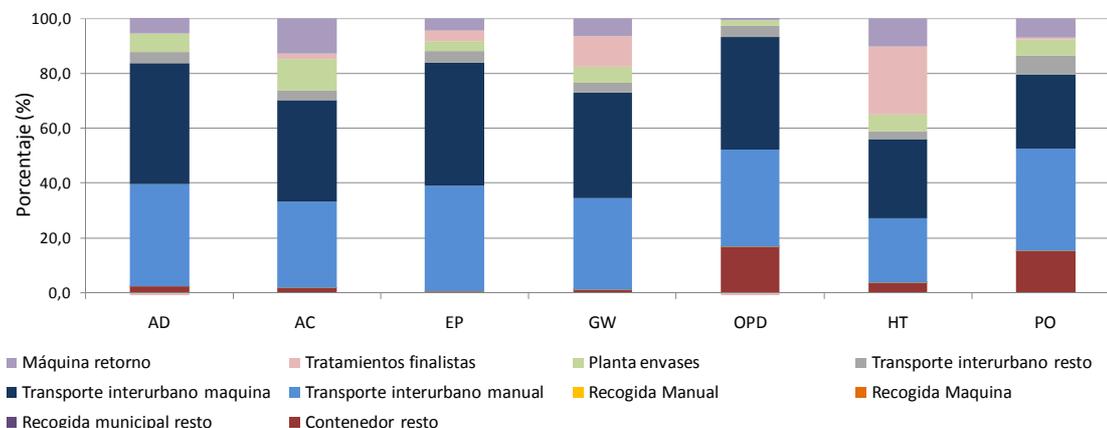


Figura 8. Contribución relativa de las diferentes etapas del SDDR al impacto total para las distintas categorías

En el de SDDR la etapa correspondiente al transporte interurbano de residuos de envases de PET, latas y bricks recogidos mediante máquina (azul oscuro en la figura 8) 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). Esta etapa constituye el 20% del transporte interurbano de las tres fracciones de envases recogidos selectivamente pero como no se compactan ocupan mayor volumen en los camiones de transporte aumentando el consumo de diesel por kilómetro recorrido y tonelada transportada (ver figura 8 desglose de las etapas de transporte). Para la categorías de oxidación fotoquímica (PO) los mayores impactos son debidos a este etapa con un valor de 37,4% (azul claro en la figura 8).

Por otro lado, el transporte interurbano del 45% de los envases de PET, latas y bricks en la fracción de resto (gris en la figura 8) tiene contribuciones bajas en comparación con las contribuciones del transporte interurbano de los residuos recogidos selectivamente. Esto se debe a que se ha establecido una distancia menor entre los municipios y los tratamientos finalistas que entre los municipios y las plantas de selección de envases, centros logísticos y centros de reciclaje (ver tabla 7). Los resultados para esta etapa son una contribución en la categoría de HT del 2,7% y un 7,0% en la categoría de PO.

Para la categoría de toxicidad humana (HT) el 25,0% de los impactos son consecuencia de la etapa de tratamientos finalistas como resultado del proceso de incineración (rosa en la figura 8). En la figura 10 se desglosan los impactos por tipo de tratamiento finalista.

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 (violeta en la figura 8). 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) (granate en la figura 8) debido al uso de polietileno de alta densidad para su producción.

En la categoría de acidificación, el consumo eléctrico de la selección del 20% de los envases recogidos selectivamente, supone un 11,4% de los impactos ambientales (verde claro en la figura 8) y en la categoría de GW un 5,5%.

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 (morado, amarillo y naranja en la figura 9) con contribuciones inferiores al 0,01% para todas las categorías de impacto.

En la figura 9 se muestra un desglose de las diferentes etapas de transporte interurbano.

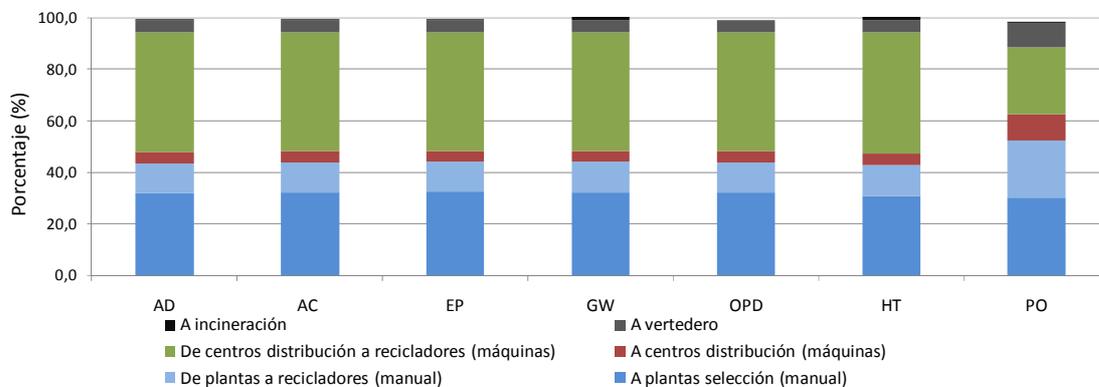


Figura 9. Contribución relativa de las diferentes etapas de transporte del SDDR por categorías de impacto

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.

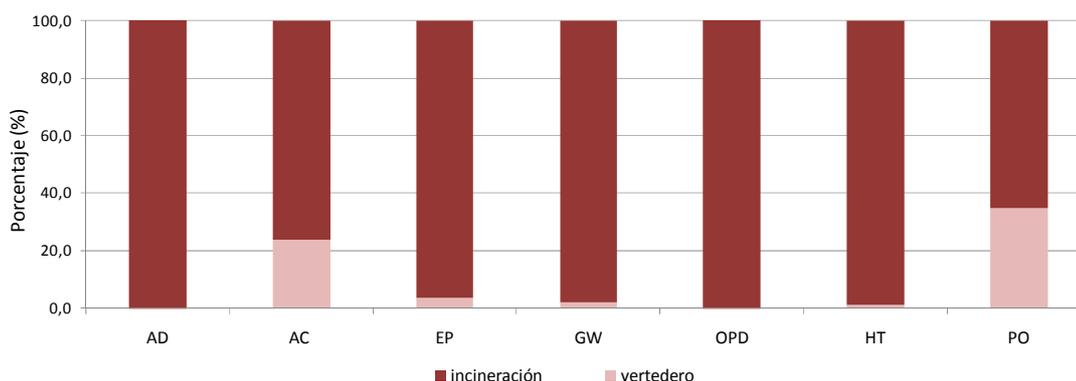


Figura 10. Contribución relativa de las diferentes etapas de tratamientos finalistas del SDDR por categorías de impacto

Como se muestra en este figura 10, la incineración es el tratamiento finalista de mayor impacto con contribuciones entre el 65% para la categoría de PO y el 99% en las categorías de AD, OPD y HT.

5.1.2. Desglosado de impactos por etapas de ciclo de vida en SIG

Los resultados de las contribuciones de las diferentes etapas del SIG para cada categoría de impacto se presentan en la figura 11.

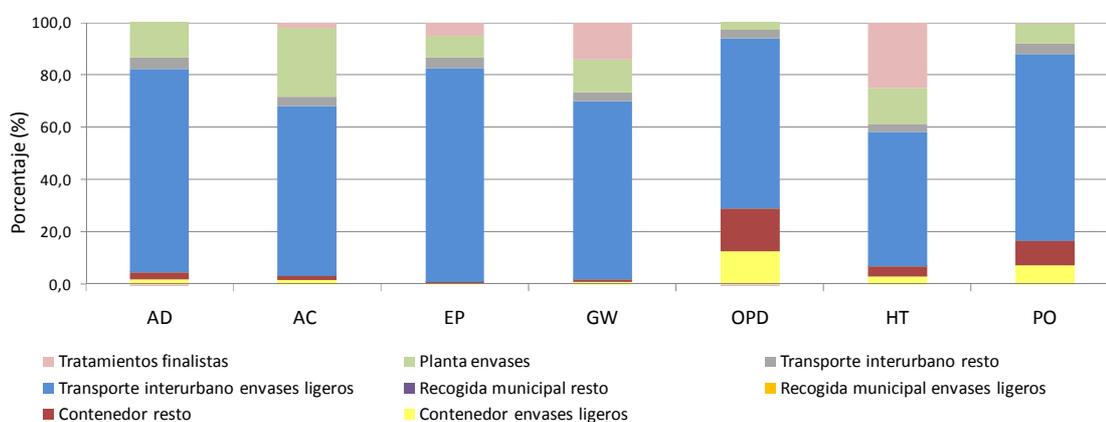


Figura 11. Contribución relativa de las diferentes etapas del SIG al impacto total para las distintas categorías

Para el sistema SIG los mayores impactos son debidos a la etapa del transporte interurbano de PET, latas y bricks recogidos selectivamente (azul en la figura 11) 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.

El transporte interurbano de PET, latas y bricks en la fracción resto (gris en la figura 11) supone el 2,7% de los impactos en la categoría de HT y el 4,2% en la de EP. Como ocurría en el SDDR, una distancia menor entre los municipios y los tratamientos finalistas reduce sensiblemente los impactos ambientales de esta etapa pese a transportar el 45% de los envases de PET, latas y bricks (ver tabla 13 del inventario). En la figura 12 se muestra un desglose de las diferentes etapas del transporte interurbano.

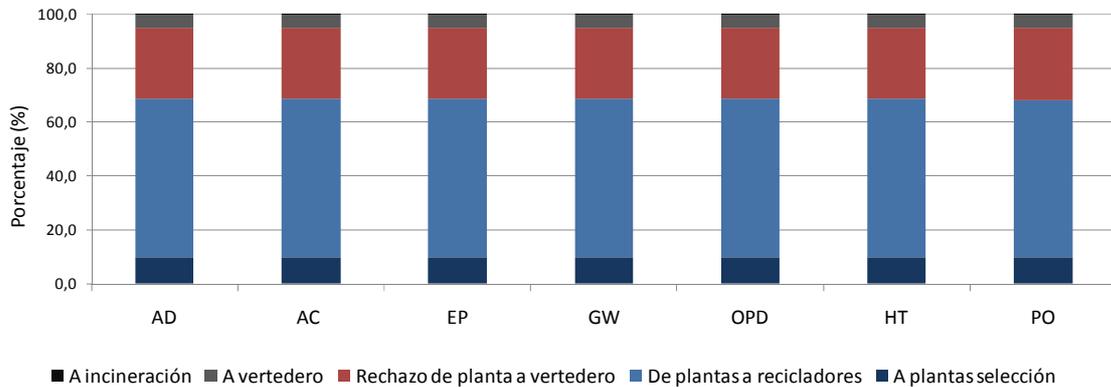


Figura 12. Contribución relativa de las diferentes etapas del transporte SIG al impacto total por categorías de impacto

La etapa de selección de envases es la segunda con mayores contribuciones comprendidas entre 4,4% para ODP y 26,5% para AC (verde en la figura 11). El consumo eléctrico de las planta de selección de envases del SIG es inferior al consumo de las plantas del SDDR (ver tablas 9 y 15 del inventario) pero debido a que en las plantas del SIG se produce un rechazo del 33% [21], 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 bricks.

En la categoría de HT, la etapa de tratamientos finalistas tiene una contribución del 24,8% debido al proceso de la incineración (rosa en la figura 11). En la figura 13 se muestra un desglose de las diferentes etapas de tratamientos finalistas.

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 (amarillo y granate en la figura 11).

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% (naranja y morado en la figura 11).

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.

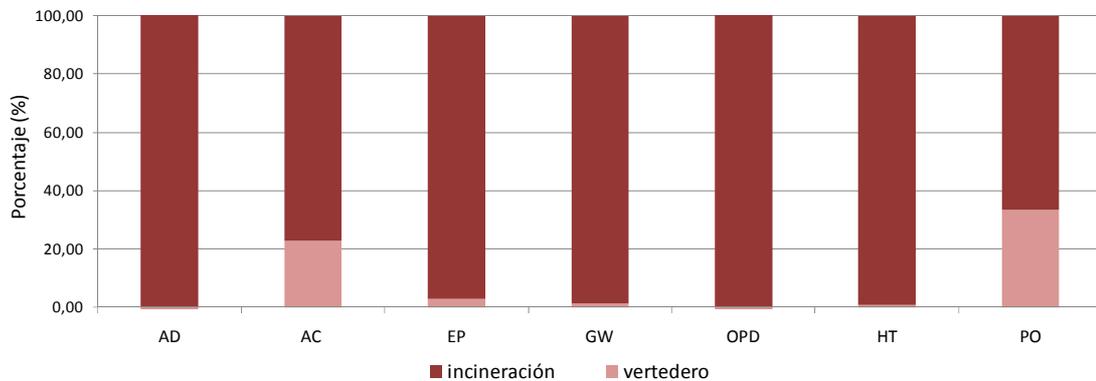


Figura 13. Contribución relativa de las diferentes etapas del tratamiento finalista SIG al impacto total por categorías de impacto

Como ocurría en el SDDR, los mayores impactos de los tratamientos finalistas son debidos a la incineración.

5.1.3. Comparación entre subsistemas para ambos modelos de gestión

En las figuras 14 a 16 se representa para cada categoría de impacto la contribución relativa de cada sistema de gestión para los subsistemas comparados entre sí (rural, semiurbano y urbano). La comparación muestra que el sistema SDDR tiene menores impactos en todas las categorías de impacto consideradas para todos los subsistemas. La diferencia es máxima entre los subsistemas semiurbano para la categoría de PO (67,0%) y mínima entre los subsistemas rurales para la categoría de EP (20,0%).

El subsistema rural supone un impacto entre el 18% y el 22% respecto al total del SDDR mientras que el porcentaje de población rural sobre el total es del 13% [22]. Para el SIG el impacto del subsistema rural sobre el total es del 16-18% también superior al porcentaje de la población.

En el caso del subsistema semiurbano los impactos ambientales suponen sobre el total en el SDDR entre el 31% y el 33%; y para el SIG la contribución aumentaría hasta el 34% y el 36%. La población semiurbana equivale al 34% de la población de España (2008) [22].

Para el subsistema urbano los resultados son del 46% y 48% para el SDDR y para el SIG del 47-48%. Por otro lado, los municipios urbanos representan el 52% de la población española del 2008.

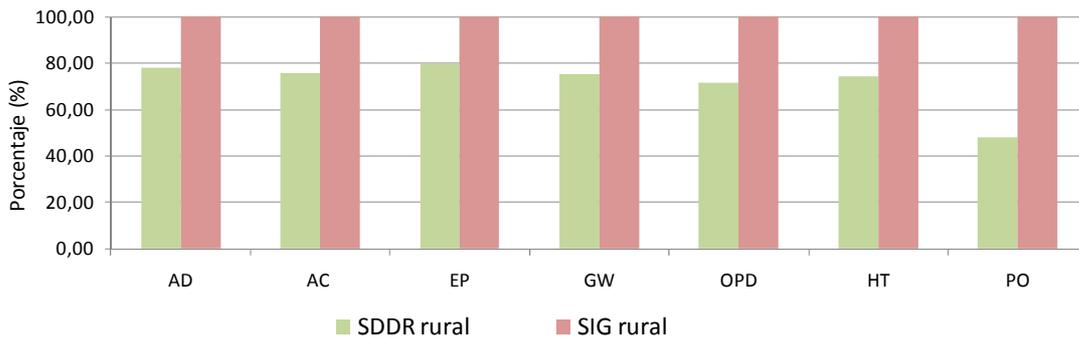


Figura 14. Comparación ambiental entre el subsistema SIG rural y el subsistema SDDR rural

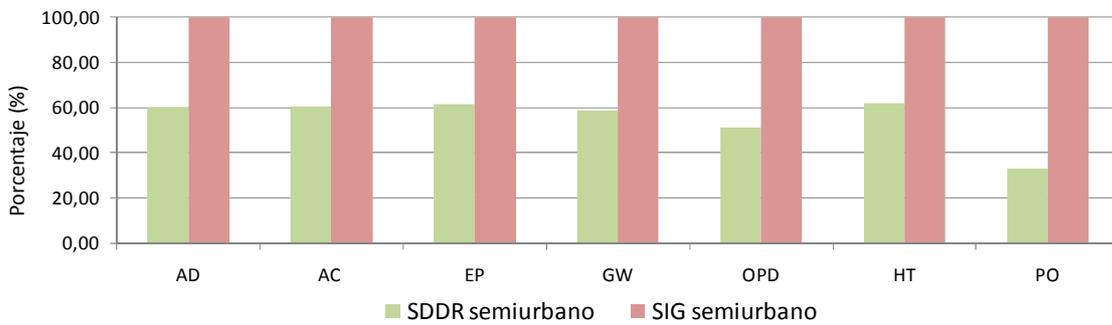


Figura 15. Comparación ambiental entre el subsistema SIG semiurbano y el subsistema SDDR semiurbano

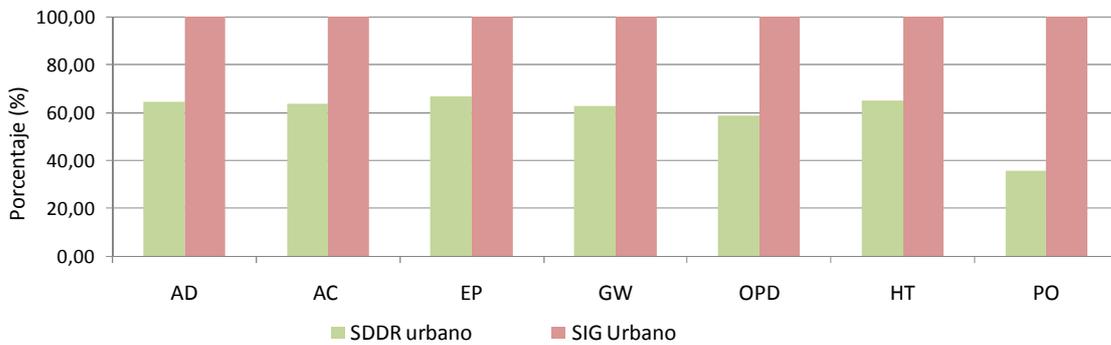


Figura 16. Comparación ambiental entre el subsistema SIG semiurbano y el subsistema SDDR urbano

5.2. Comparación ambiental global entre el SDDR y el SIG español.

En este apartado se representan los resultados obtenidos de analizar para diferentes porcentajes de recogida selectiva el comportamiento ambiental de ambos sistemas de gestión. Se incluyen también los impactos ambientales de diferentes porcentajes de recogida manual y con máquinas específicas para el retorno de envases del SDDR.

Este apartado se ha centrado en categoría de calentamiento global con el análisis de las emisiones de CO₂ eq.

En el apartado 5.2.2 del presente documento y en el anexo II se encuentran disponibles los resultados para el resto de categorías de impacto ambiental consideradas.

Los principales escenarios definidos y analizados son:

- **SDDR1:** recogida selectiva con 20% manual y 80% máquinas específicas de retorno;
- **SDDR2:** recogida selectiva con 50% manual y 50% máquinas específicas de retorno;
- **SDDR3:** recogida selectiva con 80% manual y 20% máquinas específicas de retorno.

5.2.1. Comparación de diferentes escenarios de SDDR y el SIG español en la categoría de calentamiento global (CO₂ eq.)

En este apartado se presentan los valores de impacto en la categoría de calentamiento global para los tres escenarios de SDDR comparados con el SIG español.

- **SDDR1: recogida selectiva con 20% manual y 80% máquinas específicas de retorno;**
En el SDDR1 (20% manual y 80% máquina) para todos los porcentajes de recogida selectiva el SIG tiene mayores emisiones de CO₂ eq. El impacto evitado es máximo cuando la recogida selectiva en ambos sistemas es del 10% suponiendo el ahorro de 642,2 kg de CO₂ eq. por cada tonelada de PET, latas y bricks recuperada para su reciclaje. A medida que aumenta el porcentaje de recogida selectiva, el impacto disminuye hasta alcanzar un mínimo de impacto evitado de 136,8 kg de CO₂ eq.

No obstante, si se analizan los resultados en valores absolutos, cuanto mayor es la recogida selectiva mejor comportamiento ambiental tienen ambos sistemas de gestión. Es decir, si la recogida selectiva fuera del 100%, el SDDR1 supondría la emisión de 287,0 kg de CO₂ eq. frente a las 866,5 kg de CO₂ eq., mientras que en el SIG la diferencia entre una recogida selectiva del 100% o del 10% sería de 1.084,9 kg de CO₂ eq. por cada tonelada de PET, latas y bricks recuperada para su reciclaje.

Esto es debido a que para porcentajes de recogida selectiva bajos, la cantidad de las tres fracciones de envases que deben gestionarse para la recuperación de 1 tonelada de PET, latas y bricks es más elevada (ver tabla 18) y además, estas tres fracciones de envases se gestionan junto con la fracción resto. Como consecuencia, se incrementan los impactos ambientales debido a la gestión de una mayor cantidad de envases de PET,

latas y bricks y a los tratamientos finalistas que recibe la fracción resto. A medida que aumentan la recogida selectiva la cantidad de envases de PET, latas y bricks que hay que gestionar disminuye y por tanto los impactos ambientales derivados.

Otra consecuencia de la cantidad de envases de PET, latas y bricks a gestionar es que para recogidas selectivas bajas el impacto evitado entre el SDDR1 y el SIG es proporcionalmente superior que para porcentajes de recogidas selectivas superiores. Cuanto menor es la recogida selectiva, la diferencia de cantidad de envases de PET, latas y bricks a gestionar en ambos sistemas es mayor. De manera que entre un 50% y un 100% de recogida selectiva el impacto evitado disminuye un 17% mientras que entre el 10% y el 50% disminuye un 60%.

- **SDDR2: recogida selectiva con 50% manual y 50% máquinas específicas de retorno;**

Para el escenario SDDR2 (recogida selectiva 50% manual y 50% máquinas específicas de retorno) el SIG tiene mayores emisiones de CO₂ eq. para todos los porcentajes de recogida selectiva. El comportamiento ambiental sigue la misma tendencia que en el SDDR1 pero como la cantidad de envases de PET, latas y bricks que se recogen manualmente y no se compactan para el transporte es superior, el SDDR2 tiene mayores impactos ambientales y el impacto evitado respecto al SIG disminuye. Para recogidas selectivas bajas el impacto evitado es máximo con el ahorro de 505,2 kg de CO₂ eq. mientras que para la recogida selectiva del 100% el impacto evitado es de 8,8 kg de CO₂ eq.

- **SDDR3: recogida selectiva con 80% manual y 20% máquinas específicas de retorno**

En el caso del SDDR3 donde la recogida manual es del 80%, a partir de recogidas selectivas superiores al 40% los impactos ambientales del SIG son menores que los del SDDR3. Para una recogida selectiva del 100%, la gestión de los envases de PET, latas y bricks con el SIG supondría el ahorro máximo de 128,1 kg de CO₂ eq. Esta inversión en el comportamiento ambiental es debida a un incremento de envases de PET, latas y bricks no compactados y como consecuencia el consumo de diesel para el transporte aumenta y las emisiones de CO₂ eq. también.

En la figura 17 se muestran gráficamente estos resultados.

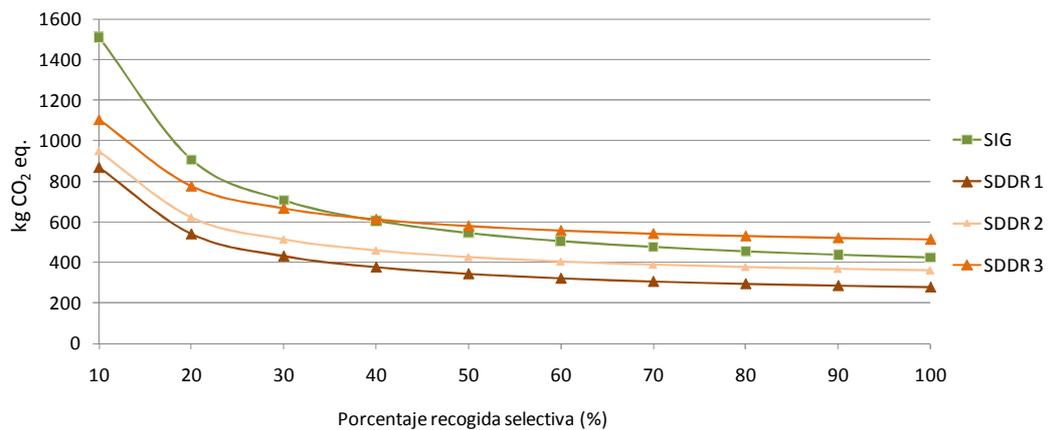


Figura 17: Comparación ambiental entre el SDDR1, SDDR2, SDDR3 y el SIG español para porcentajes de recogida selectiva entre el 10% y el 100%. Calentamiento global (GW)

Respecto a un escenario de recogida selectiva baja del 22,5% el impacto evitado por la implantación del SDDR1 en relación al SIG es de 335,7 kg de CO₂ eq. por cada tonelada de PET, latas y bricks recuperada para su reciclaje. En cambio, para alcanzar los objetivos de recogida selectivas mayores, por ejemplo del 55%, el SDDR1 supone un ahorro de 190,8 kg de emisiones de CO₂ eq. sobre el SIG. Por otro lado, cuando los niveles de recuperación están próximos a los alcanzados por los países europeos el impacto evitado por el SDDR1 disminuye a 148,5 kg de CO₂ eq.

Para el SDDR2 el impacto evitado sería de 198,7 y 53,9 kg de CO₂ eq. para los objetivos de 22,5% y 55% respectivamente y de 11,72 kg de CO₂ eq. para recogidas selectivas del 95%. En el caso del SDDR3 frente al SIG, la recuperación del 22,5% supondría un ahorro de 61,8 kg de CO₂ eq. mientras que para la recuperación del 55% y 95% el SDDR3 implicaría la emisión de 83,0 y 125,2 kg de CO₂ eq. respectivamente por cada tonelada de PET, latas y bricks para su reciclaje.

En la tabla 18 se recogen los resultados obtenidos cuando los porcentajes varían entre el 10% y el 100% y cuando la recogida manual y a través de máquinas varía entre:

Tabla 18. Impacto de cada sistema de gestión para la categoría ambiental de calentamiento global para diferentes porcentajes de recogida selectiva.

Recogida selectiva (%)	Impacto evitado						
	SDDR1 (kg CO ₂ eq.)	SDDR2 (kg CO ₂ eq.)	SDDR3 (kg CO ₂ eq.)	SIG (kg CO ₂ eq.)	(kg CO ₂ eq.) (SIG-SDDR1)	(kg CO ₂ eq.) (SIG-SDDR2)	(kg CO ₂ eq.) (SIG-SDDR3)
10	866,5	1.003,50	1.140,40	1.508,70	642,2	505,2	368,3
20	539,6	676,5	813,4	905,9	366,3	229,4	92,5
30	430,6	567,5	704,5	705	274,4	137,5	0,5
40	376,1	513	650	604,6	228,5	91,6	-45,4
50	343,4	480,4	617,3	544,3	200,9	63,9	-73
60	321,6	458,6	595,5	504,1	182,5	45,5	-91,4
70	306,1	443	579,9	475,4	169,3	32,4	-104,5
80	294,4	431,3	568,3	453,9	159,5	22,6	-114,4
90	285,3	422,2	559,2	437,2	151,9	15	-122
100	287	415	551,9	423,8	136,8	8,8	-128,1

5.2.2. Comparación de diferentes escenarios de SDDR y el SIG español en las 7 categorías ambientales de Análisis de Ciclo de Vida analizadas

Considerando los escenarios de SDDR considerados en este estudio, la comparativa con el SIG español demuestra que:

Escenarios de SDDR considerados

- **SDDR1:** recogida selectiva con 20% manual y 80% máquinas específicas de retorno;
- **SDDR2:** recogida selectiva con 50% manual y 50% máquinas específicas de retorno;
- **SDDR3:** recogida selectiva con 80% manual y 20% máquinas específicas de retorno.

El comportamiento ambiental para las categorías ODP, HT y PO sigue la misma tendencia que para la categoría de calentamiento global analizada en el apartado 5.2.1 del presente documento. Es decir, los escenarios de SDDR1 y SDDR2 presentan menores emisiones eq. que el SIG para todos los porcentajes de recogida selectiva.

Sin embargo para el escenario de SDDR3 para recogidas selectivas superiores al 40% supone mayores emisiones eq. que el SIG. Para las categorías de AD, AC y EP el SDDR3 presenta mayores impactos para todos los porcentajes de recogida selectiva.

Para el resto de categorías ambientales consideradas en el análisis los resultados obtenidos se presentan en las figuras 19 a 24 del anexo II.

.

6. CONCLUSIONES

6.1. Impacto ambiental del SDDR adaptado del modelo alemán y el SIG español por subetapas

Los resultados obtenidos para la recogida selectiva⁴ de un 55% (límite reciclado de envases Directiva [20]) de los envases de PET, latas y bricks en la comparación ambiental entre el SDDR con un 20% de recogida selectiva manual y el SIG considerado, muestran que el SDDR supone menos impactos ambientales en todas las categorías de impacto.

En la categoría de calentamiento global se evitaría emitir a la atmósfera 191 kg de CO₂ eq. por cada tonelada de PET, latas y bricks puesta en la puerta del reciclador y 291.051 toneladas de CO₂ eq. para todos los envases de PET, latas y bricks generados en España.

Las etapas con mayor impacto, tanto en el sistema SIG como en el SDDR son el transporte interurbano de envases de PET, latas y bricks recogidos selectivamente. Como en el SIG la cantidad de las tres fracciones de envases a gestionar es superior, los impactos ambientales en este sistema también lo son.

En el sistema SDDR el transporte interurbano de PET, latas y bricks recogido manualmente y mediante máquinas supone una contribución a los impactos totales entre 53% en la categoría de HT y el 83% en la categoría de EP. En la categoría de calentamientos global (GW) la contribución es del 72% y supone la emisión de 238 kg de CO₂ eq. por tonelada gestionada.

Para el SIG el transporte interurbano tiene la mayor contribución en la categoría de ODP con un 91% del impacto mientras que en HT su contribución es de un 57%. El resto de etapas del modelo SIG contribuyen en un porcentaje muy bajo al ciclo de vida.

En la comparación entre subsistemas; rural, semiurbano y urbano; se obtienen menores impactos en todas las categorías para el SDDR. No obstante, las mayores distancias a recorrer en el subsistema rural tienen como consecuencia un mayor impacto ambiental en ambos sistemas de gestión respecto al subsistema semiurbano y urbano. Es decir, la recuperación de una tonelada de PET, latas y bricks en el subsistema rural presenta mayores impactos ambientales que el subsistema semiurbano o urbano para el SDDR y para el SIG.

⁴ En el caso del SDDR se puede considerar que porcentajes de recuperación y porcentajes de recogida selectiva suponen la misma cantidad de residuos a gestionar y tratar. Aunque el primer término se refiere a los envases a salida de planta y el segundo a la acción realizada por los ciudadanos al inicio de proceso.

6.2. Impacto ambiental comparativo entre el SDDR adaptado del modelo alemán y el SIG español para la categoría de potencial de calentamiento global

Cuando la recogida selectiva manual en el SDDR es inferior al 60%, los resultados obtenidos de la comparación ambiental entre el SDDR y el SIG analizado muestran que para la categoría de impacto considerada y para todos los porcentajes de recogida selectiva, el SDDR tiene mejor comportamiento ambiental en la gestión de los envases de PET, latas y bricks.

Además, el incremento de la recogida selectiva disminuye los impactos ambientales por tonelada recuperada para su reciclaje de los envases de PET, latas y bricks.

Cuando la recogida manual es del 20% (modelo centroeuropeo), para la categoría de calentamiento global (GW) la recogida selectiva de un 22,5% de envases de PET, latas y bricks por similitud a los objetivos de recuperación de la Directiva 2004/12/CE supondría un ahorro de 336 kg de CO₂ eq. por cada tonelada tratada con un SDDR. Por tanto, la gestión de todos los residuos de envases de PET, latas y bricks generados en España (1.524.985 toneladas⁵) supondría la emisión de 767.422 toneladas de CO₂ eq. y un ahorro frente al SIG de 511.898 toneladas de CO₂ eq. anuales.

No obstante, como se desprende de otros países europeos que tienen implantado el SDDR para envases de un solo uso (ver tabla 1) se espera que los niveles de recogida selectiva y recuperación sean cercanos al 95%. En este caso, la implantación en España de un SDDR para la gestión de todos los envases de PET, latas y bricks supondría la emisión de 429.266 toneladas de CO₂ eq. y un ahorro anual de 226.685 toneladas de CO₂ eq. respecto al SIG para recogidas selectivas del 95% también con este sistema. Si en cambio, la recuperación del SIG fuera en torno al 60% [2], el ahorro sería de 339.524 toneladas de CO₂ eq. En ambos casos para recogidas manuales del 20%.

La figura 18 resume estas conclusiones.

⁵ Dato resultado de aplicar a la generación de RSU en España en 2008 [MARM] un 12% para determinar la generación de envases ligeros. El 45% de estos envases ligeros es la fracción de envases de PET, latas y bricks.

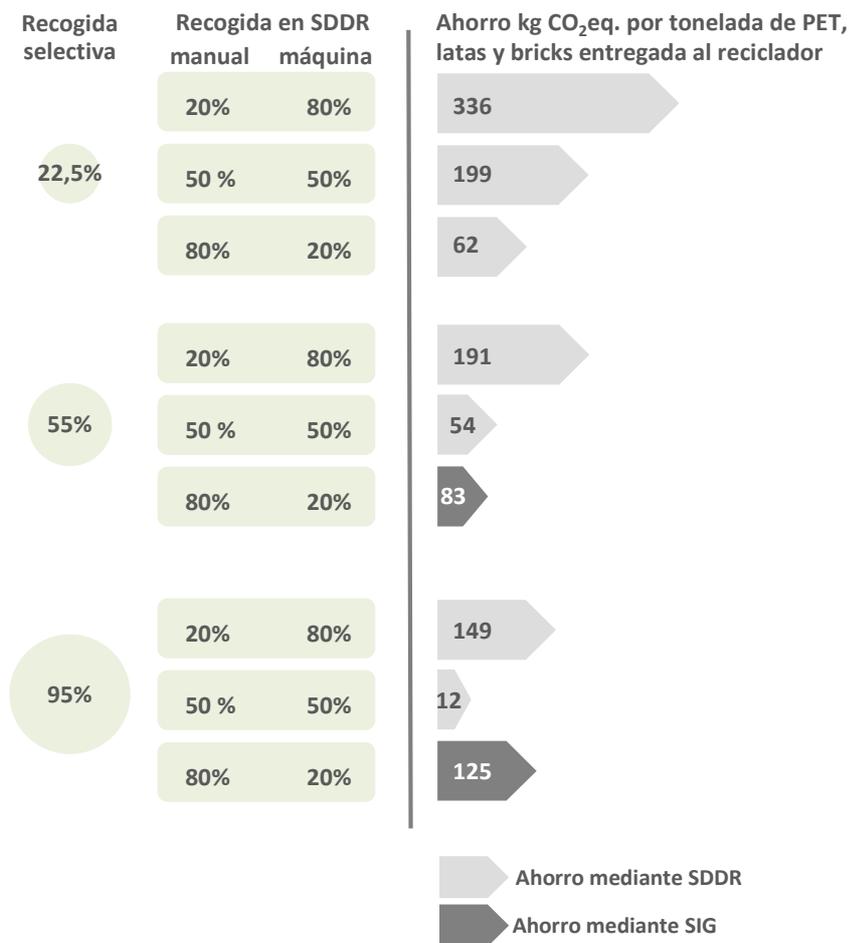


Figura 18. Ahorro de emisiones de CO₂ eq. en la comparación ambiental entre el SDDR y el SIG por tonelada de PET, latas y bricks recogida selectivamente para su reciclaje

6.2.1. Impacto ambiental comparativo en las 7 categorías de impacto ambiental analizadas

Cuando se incrementa el porcentaje de recogida manual los impactos ambientales del SDDR aumentan, de manera que para recogidas manuales superior al 60% y para porcentajes de recogida selectiva superiores al 20%, el SDDR de envases de PET, latas y bricks tendría más impactos que el SIG español en todas las 7 categorías de impacto ambiental.

Los escenarios de SDDR con recogida selectiva altamente automatizada generan impactos derivados de la producción y consumo energético de las máquinas específicas de retorno de envases que se ven compensados por los impactos evitados de la logística del transporte interurbano manual debido a que los envases se compactan y se transporta poco aire en cada camión y viaje.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases.
2. Informe anual 2009 y cuentas anuales (2009). Ecoembalajes España S.A
3. *Els sistemes de dipòsit, devolució i retorn d'envasos. La solució de gestió dels Residus d'envasos més ecològica i eficient* (2010). Fundació Catalana per a la Prevenció de Residus i el Consum Responsable. Versió 1.5. Disponible en: <http://www.residusiconsum.org>
4. Hospido A., (2005). *Life cycle assessment as a tool of analyzing the environmental performance of key food sectors in Galicia (Spain): milk and canned tuna*. Doctoral thesis, Santiago de Compostela, Universidad de Santiago de Compostela.
5. Consoli F., Allen D., Boustead I., fava J., Franklin W., Jensen A.A, Oude de N., Parrish R., Perriman R., Postlethwaite D., Quay B., Séguin J., Vigon B. (1993). *Guidelines for life-cycle assessment: a code of practice*. Pensacola, Florida (USA): Society of Environmental Toxicology and Chemistry.
6. Baumann H and Tillman AM. (2004). *The Hitch Hiker's guide to LCA: an orientation in life cycle assessment methodology and application*. Lund:Studentlitteratur.
7. Estudio para la determinación de la fórmula de pago de aplicación a la recogida selectiva de envases ligeros (2007). Ecoembalajes España S.A
8. Programa de Gestió de Residus Municipals a Catalunya 2007-2012 (PROGEMIC). Barcelona (2007). Departament de Medi Ambient i Habitatge.
9. Informe de Sostenibilitat Ambiental del Programa de Gestió de Residus Municipals a Catalunya 2007-2012. Agència de Residus de Catalunya
10. Agència de Residus de Catalunya (ARC). Comunicació escrita Jordi Picas Contreras. Jefe del Departamento de Recogidas Selectiva y Envases. Tfno: 93 567 33 00
11. Agència de Residus de Catalunya (ARC), Agència de Ecologia Urbana de Barcelona (2006). Modelització mitjançant l'aplicació SIMUR dels sistemes de gestió de Residus dels municipis de Catalunya. (datos del programa)
12. Perfil ambiental de España. Informe basado en indicadores (2009). Ministerio de Medio Ambiente, Medio rural y marino (MARM)
13. Plan Nacional de Residuos 2007-2015. Anexo I. Ministerio de Medio Ambiente, Medio rural y marino (MARM)
14. Álvarez del Castillo D., Pla Carles J., Ruiz Ortiz V, Sans Fonfria R. Estudio de la composición en peso y unitario de los envases de contenedor amarillo de los residuos municipales de Catalunya (2006). Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).
15. Hischer R. (2007). Life Cycle Inventories of Packaging and Graphical Papers. Ecoinvent Report 11, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2007

16. Comunicación escrita Sebastián Rodríguez. Director de transporte nacional. Rhenus Logistics. Tfno: 93 479 89 37
17. Volvo Truck. Emission from Volvo's Truck emissions, standard diesel fuel. Available from: www.volvotruck.com
18. ISO 14.040 (2006). *Environmental management-life cycle assessment-Principles and framework*. International Organization of Standardization, Geneva. Switzerland.
19. Guinée JB, Gorrée M. Heijungs R, Hupees G., Kleijn R., de Koning A., van Ores L., Weneger A., Suh S., Udo de Haes HA., de Bruijm H., van Duin R. and Huijbregts M. (2001). *Life cycle assessment: an operational guide to the ISO standards*. Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment. The Netherlands.
20. Directiva 2004/12/CE del parlamento Europeo y del Consejo de 11 de febrero de 2004, por la que se modifica la Directiva 94/62/CE relativa a los envases y residuos de envases.

Recursos on-line

21. **Ecoembes**: Información plantas de selección de envases ligeros. www.ecoembes.es
22. **Instituto Nacional de Estadística (INE)**. Información sobre habitantes por municipio, comercios por municipio y superficies de los municipios de España. www.ine.es
23. **Agencia de residuos de Catalunya (ARC)**. Información sobre plantas de tratamientos de residuos. www.arc.cat
24. **Tomra Systems S.A**: Información sobre las máquinas de retorno. www.tomra.com
25. **Rhenus logistics**. Sistema de envases de retorno. Rhenus logistic. <http://es.rhenus.com/index.php?id=1146&L=5>

ANEXO I: ENTRADAS EN LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE ENVASES DE PET, LATAS Y BRICK

Para la recuperación de 1 tonelada de PET, latas y bricks para su reciclaje, en función de la recogida selectiva y de la eficiencia de las plantas de selección de envases la cantidad de residuos de envasados a gestionar varía. En la tabla 19 se presentan las toneladas a gestionar para diferentes porcentajes de recogida selectiva.

Tabla 19: Entradas de envases PET, latas y bricks y toneladas en SDDR y SIG en función de los porcentajes de recogida selectiva

% recogida selectiva	SDDR. Toneladas a gestionar	SIG. Toneladas a gestionar
10	10.000	14.874
20	5.000	7.437
30	3.333	4.958
40	2.500	3.719
50	2.000	2.975
60	1.667	2.479
70	1.429	2.125
80	1.250	1.859
90	1.111	1.653
100	1.000	1.487

ANEXO II: IMPACTOS AMBIENTALES DE AMBOS SISTEMAS DE GESTIÓN

En las siguientes tablas 20 y 21 se presentan los resultados totales obtenidos en cada etapa del ciclo de vida de ambos sistemas de gestión para cada categoría de impacto para cumplir los objetivos de reciclaje fijados por la Directiva 2004/12/CE y para un SDDR con un 20% de recogida manual y un 80% de recogida con máquinas.

Tabla 20. Resultados globales de los impactos totales para cada categoría ambiental para el SDDR como resultado de la etapa de caracterización del ACV. 55% recogida selectiva y 20% manual.

Categoría de Impacto	AD	AC	EP	GW	ODP	HT	PO
Unidades	kg Sb eq	kg SO ₂ eq	kg PO ₄ ³⁻ eq	kg CO ₂ eq	kg CFC-11 eq	kg 1,4-DB eq	kg C ₂ H ₄
Cont. resto	4,58E-02	2,61E-02	1,21E-03	3,63E+00	7,80E-06	3,30E+00	1,67E-02
Máquinas	1,57E-01	1,92E-01	1,08E-02	2,13E+01	1,12E-06	9,49E+00	7,65E-03
Recogida máquinas resto	9,37E-06	6,45E-06	1,33E-06	1,47E-03	2,19E-10	2,87E-04	4,14E-07
Recogida máquina	4,65E-05	3,09E-05	6,25E-06	7,04E-03	1,06E-09	1,55E-03	1,26E-06
Recogida manual	2,64E-04	1,83E-04	3,77E-05	4,14E-02	6,20E-09	7,84E-03	7,04E-06
Trans. Interurbano manual	6,71E-01	4,57E-01	9,34E-02	1,05E+02	1,56E-05	2,12E+01	4,56E-02
Trans. Interurbano Máquina	5,08E-01	3,33E-01	6,66E-02	7,93E+01	1,14E-05	1,78E+01	7,38E-02
Trans. Interurbano resto	7,99E-02	5,37E-02	1,09E-02	1,25E+01	1,83E-06	2,62E+00	7,66E-03
Planta selección Env. ligero	1,33E-01	1,74E-01	8,86E-03	1,82E+01	9,88E-07	5,60E+00	6,43E-03
Vertedero controlado e Incineración	-5,85E-02	3,05E-02	1,02E-02	3,73E+01	-9,28E-07	2,34E+01	7,68E-04
TOTAL	1,90E+00	1,52E+00	2,54E-01	3,32E+02	4,63E-05	9,38E+01	1,10E-01

Tabla 21. Resultados globales de los impactos totales para cada categoría ambiental para el SIG como resultado de la etapa de caracterización del ACV 55% recogida selectiva.

Categoría de Impacto	AD	AC	EP	GW	ODP	HT	PO
Unidades	kg Sb eq	kg SO ₂ eq	kg PO ₄ ³⁻ eq	kg CO ₂ eq	kg CFC-11 eq	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq
Cont. resto	7,59E-02	4,32E-02	2,00E-03	6,01E+00	1,30E-05	5,48E+00	2,78E-02
Cont. envases ligeros	5,81E-02	3,31E-02	1,53E-03	4,60E+00	9,95E-06	4,20E+00	2,13E-02
Recogida envases ligeros	2,71E-04	1,87E-04	3,85E-05	4,26E-02	6,35E-09	8,21E-03	1,03E-05
Recogida municipal resto	2,07E-05	1,43E-05	2,94E-06	3,26E-03	4,85E-10	6,35E-04	9,16E-07
Trans. Interurbano resto	1,19E-01	7,98E-02	1,62E-02	1,86E+01	2,72E-06	3,90E+00	1,14E-02
Trans. Interurbano Env. ligeros	2,26E+00	1,52E+00	3,08E-01	3,54E+02	5,18E-05	7,40E+01	2,12E-01
Planta selección Env. ligeros	4,75E-01	6,20E-01	3,16E-02	6,50E+01	3,53E-06	2,00E+01	2,29E-02
Vertedero controlado e Incineración	-8,58E-02	4,72E-02	1,83E-02	7,40E+01	-1,37E-06	3,56E+01	1,19E-03
TOTAL	2,90E+00	2,34E+00	3,87E-01	5,22E+02	7,96E-05	1,43E+02	2,97E-01

En las figuras 19 a 24 se recogen por categoría de impactos los impactos ambientales de cada sistemas de gestión para porcentajes de recogida selectiva entre el 10-100% y para porcentajes de recogida manual y con máquinas de 20%-80%, 50%-50% y 80%-20%.

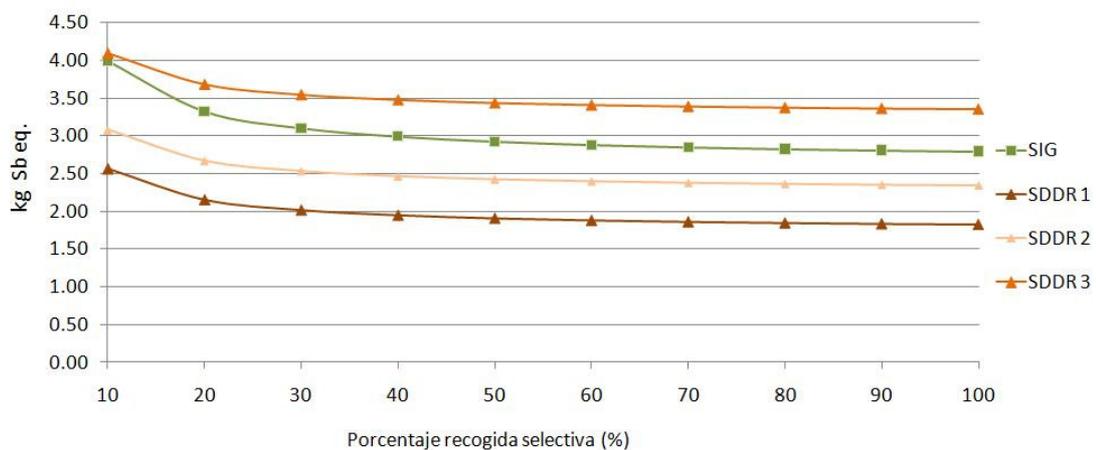


Figura 19: Comparación ambiental entre el SDDR y el SIG para porcentajes de recogida selectiva entre el 10% y el 100%. Agotamiento biótico (AD)

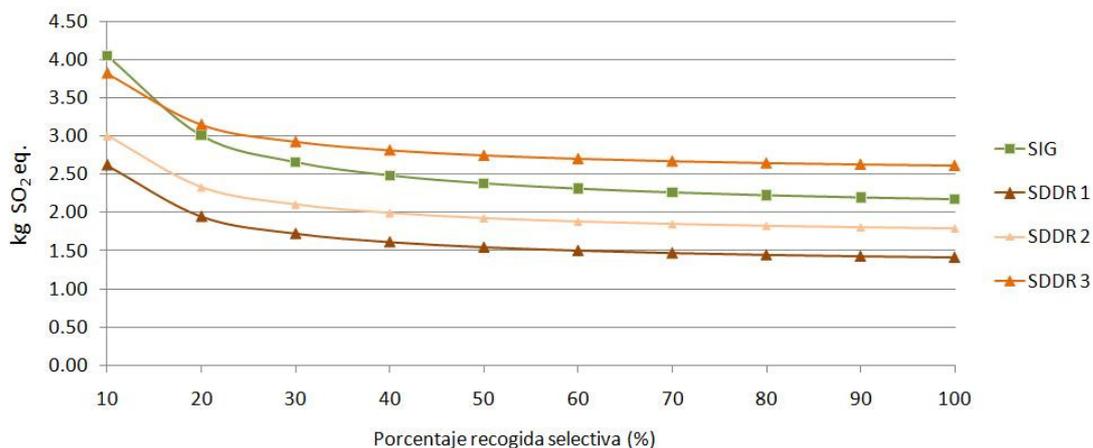


Figura 20: Comparación ambiental entre el SDDR y el SIG para porcentajes de recogida selectiva entre el 10% y el 100%. Acidificación (AC)

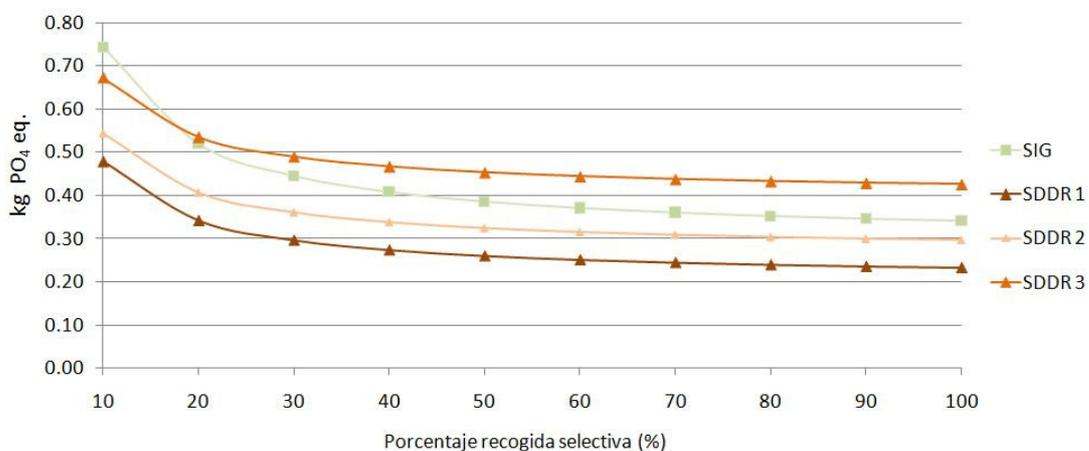


Figura 21: Comparación ambiental entre el SDDR y el SIG para porcentajes de recogida selectiva entre el 10% y el 100%. Eutrofización (EP)

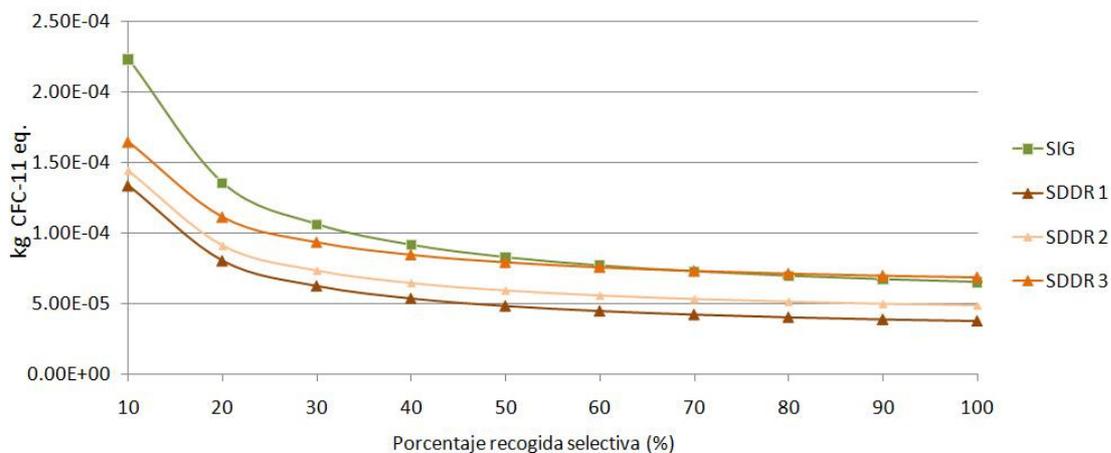


Figura 22: Comparación ambiental entre el SDDR y el SIG para porcentajes de recogida selectiva entre el 10% y el 100%. Agotamiento capa de ozono (ODP)

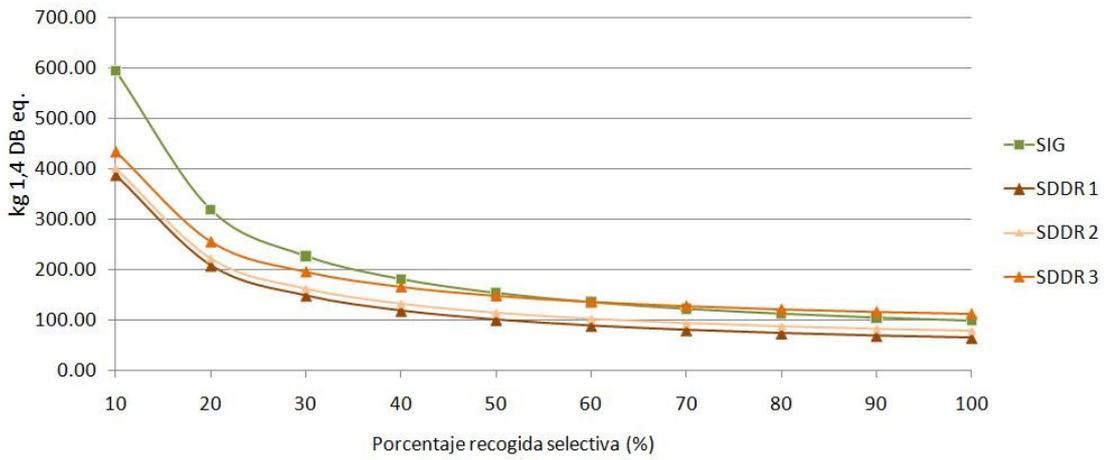


Figura 23: Comparación ambiental entre el SDDR y el SIG para porcentajes de recogida selectiva entre el 10% y el 100%. Toxicidad humana (HT)

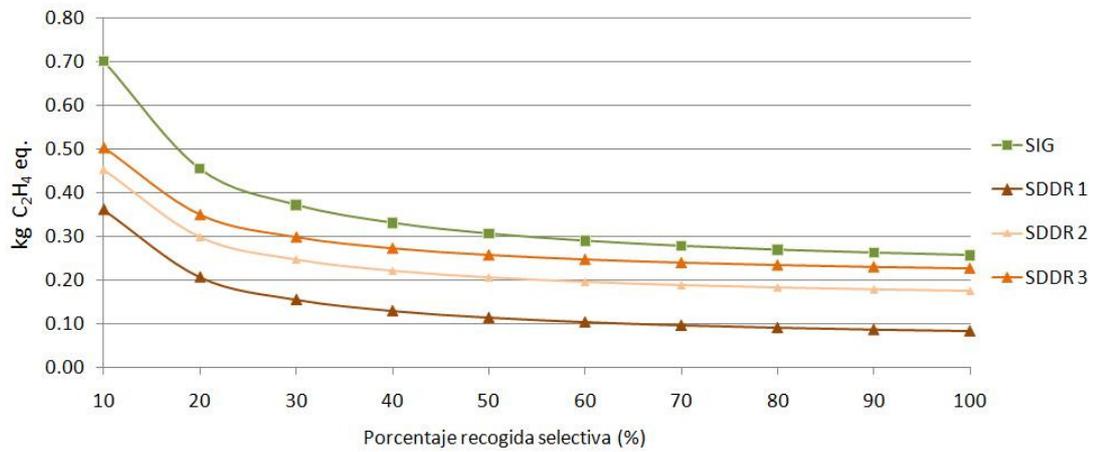


Figura 24: Comparación ambiental entre el SDDR y el SIG para porcentajes de recogida selectiva entre el 10% y el 100%. Oxidación fotoquímica (PO)

ANEXO III: METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE INFRAESTRUCTURAS DE RECOGIDA DE PET, LATAS Y BRICKS

Una etapa importante en el ciclo de vida de la gestión de los envases de PET, latas y bricks es la infraestructura necesaria para su recogida ya sea selectiva o no. En este anexo se presentan los datos utilizados y la metodología seguida para el cálculo de la infraestructura requerida en ambos sistemas de gestión.

SDDR

Será necesaria la incorporación de máquinas específicas de retorno para la recogida selectiva de PET, latas y bricks, mientras que los envases que no sean recogidos selectivamente en estas máquinas (o en los comercios) se depositarán junto con la fracción de resto, para lo cual se utilizarán los contenedores de resto ya existentes en España.

A. Máquinas de retorno

A partir de las estadísticas de cada municipio sobre grandes superficies de actividad comercial [22], de la distribución de municipios en cada subsistema (rural, semiurbano y urbano) y teniendo en cuenta que se colocará 1 máquina de retorno en cada supermercado y 2 en cada hipermercado, gran almacén o centro comercial, se puede conocer el número de máquinas que habrá en cada subsistema considerado (33.841 máquinas totales para España).

Se ha considerado que la máquina es de acero al no disponerse de información sobre los materiales de los que está compuesta y que cada máquina tiene una vida útil de 10 años y el peso de cada máquina de 350 kg [24].

Se ha calculado la cantidad de envases de PET, latas y bricks que se gestionará en cada subsistema anualmente y teniendo en cuenta que la vida útil se puede calcular los kg de máquina necesarios por cada kg tratado en cada subsistema. Para el cálculo se ha supuesto que se gestionará el 100% de los envases de PET, latas y bricks generados anualmente. En la tabla 22 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 22. Cantidad de máquina por kg de PET, latas y bricks retornado

	g máquina/kg (PET, latas y bricks)
Rural	0,66
Semiurbano	0,95
Urbano	0,69

Además de la producción de las máquinas es necesario tener en cuenta el consumo eléctrico de las mismas para la clasificación y compactación de los envases que sean retornados. Este consumo eléctrico ha sido calculado a partir de la generación de envases de PET, latas y bricks en cada subsistema y de la potencia instalada de las máquinas [24].

Los resultados de producción de máquinas y consumo eléctrico para gestionar 1.000 kg de envases de PET, latas y bricks en cada subsistema se han presentado en la tabla 2 del inventario.

B. Contenedores de resto

Se ha calculado la parte proporcional de recoger los envases de PET, latas y bricks en la infraestructura ya existente.

Para conocer el número total de contenedores se ha supuesto 1 contenedor cada 150 habitantes obteniéndose un total de 307.000 contenedores de resto para toda España y para la población de 2008. A partir de los porcentajes de municipios de cada subsistema y de los tres tipos de contenedores considerados (ver tabla 3 inventario), es posible calcular el número de contenedores de cada tipo en cada subsistema.

En la tabla 23 se presentan los resultados obtenidos y las características técnicas de estos contenedores [7].

Tabla 23. Resultados y datos técnicos de contenedores de resto en SDDR

		Volumen (l)	Vida útil (a)	Peso (kg) ¹	Nº cont.
Rural	Superior	1.000	8	100	2.834
	Lateral	2.400	10	135	3.011
	Posterior	2.500	9	100	34.522
Semiurbano	Superior	1.000	7,5	100	10.093
	Lateral	2.400	10	135	24.720
	Posterior	2.500	8,5	100	70.873
Urbano	Superior	1.000	7,5	100	13.079
	Lateral	2.400	10	135	103.256
	Posterior	2.500	8	100	45.331

¹ Estimado a partir de datos de los principales fabricantes de contenedores.

Con estos datos y con la generación anual de envases de PET, latas y bricks en cada subsistema se puede calcular los kg de cada tipo de contenedor⁶ necesarios por cada kg depositado. Para el cálculo se ha supuesto que se gestionará el 100% de los envases de PET, latas y bricks generados anualmente.

En la tabla 4 del inventario se presentan los resultados obtenidos para 1.000 kg de PET, latas y bricks en cada subsistema y en cada tipo de contenedor.

⁶ Se considera el 45% del peso del contenedor porque es la parte proporcional a los tres residuos considerados.

SIG

La recogida selectiva de los envases de PET, latas y bricks se efectuará en los contenedores de envases ligeros (amarillos) ya existentes y la recogida no selectiva en los contenedores de resto también existentes. Se ha considerado únicamente la parte proporcional (45%) de la infraestructura correspondiente a los tres envases considerados.

A. Contenedores de envases ligeros

La metodología utilizada para el cálculo y las características técnicas de los contenedores [7] son las mismas que para los contenedores de resto del SDDR. No obstante, el número de contenedores de envases ligeros en España para el año 2008 se situaba en 280.000 [2] equivalente a 1 contenedor por cada 165 habitantes. El número de contenedores calculados de cada tipo y en cada subsistema se muestran en la tabla 24.

Tabla 24. Resultados número de contenedores de envases ligeros en SIG

		Nº cont.
Rural	Trasera	2.579
	Lateral	2.740
	Iglú	31.412
Semiurbano	Trasera	9.184
	Lateral	22.493
	Iglú	64.489
Urbano	Trasera	11.901
	Lateral	61.421
	Iglú	26.965

Con estos datos y con la generación anual de envases de PET, latas y bricks en cada subsistema se puede calcular los kg de cada tipo de contenedor⁷ necesarios por cada kg depositado. Para el cálculo se ha supuesto que se gestionará el 100% de los envases de PET, latas y bricks generados anualmente.

En la tabla 11 del inventario se presentan los resultados obtenidos para 1.000 kg de PET, latas y bricks en cada subsistema y en cada tipo de contenedor.

B. Contenedores de resto

La metodología y datos utilizados son los mismos que para el cálculo de los contenedores de resto del SDDR. Los resultados para recoger 1.000 kg de PET, altas y bricks en cada subsistema y en cada contenedor se encuentran en la tabla 11 del inventario.

⁷ Se considera el 45% del peso del contenedor porque es la parte proporcional a los tres residuos considerados.

ANEXO IV: METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE RECOGIDAS MUNICIPALES Y TRANSPORTES INTERURBANOS

Una parte muy importante de cualquier ACV lo constituyen las etapas de transporte. Por esto, es especialmente importante establecer adecuadamente las distancias de todos los trayectos con el fin de valorar adecuadamente los impactos asociados al transporte.

En el presente anexo se pretende establecer las distancias medias de los trayectos que se realizan a lo largo del ciclo de vida del SDDR y del SIG para cada etapa y subsistema considerado. Los transportes calculados son los siguientes:

- Recogida de envases de PET, latas y bricks en los municipios
- Transporte a plantas de selección de envases
- Transporte a plantas de valorización energética y a vertederos controlados
- Transporte a centros de distribución logística
- Transporte a recicladores

Recogidas municipales de los envases de PET, latas y bricks

El objetivo es establecer la distancia media para la recogida municipal en los diferentes tipos de municipio (rural, semiurbano y urbano) de los envases de PET, latas y bricks en cada sistema de gestión.

Para todos los cálculos que se presentan en este apartado se ha dividido a los municipios de España en los tres subsistemas considerados: rural (13%), semiurbano (34%) y urbano (53%) [22].

A. SDDR

En el SDDR se efectuará la recogida municipal de los envases de PET, latas y bricks depositados en los comercios, en las máquinas de retorno y en los contenedores de resto.

A.1 Recogida selectiva manual

Se conoce el número de actividades comerciales de alimentación en cada municipio y la superficie de cada municipio [22]. Dividiendo la superficie municipal por el número de comercios es posible calcular un ratio de acción promedio para cada comercio en cada municipio. Suponiendo que el ratio de acción es un círculo, se puede calcular una distancia promedio a recorrer.

Una vez calculada esta distancia promedio para cada comercio y municipio y sumando las de todos los municipios, es posible obtener el total de kilómetros promedio que se recorrerían para la recogida manual en España en cada subsistema correspondiente (km totales_{Ssubsistema}).

A partir de la siguiente fórmula se pueden conocer los km recorridos por kg de residuo de PET, latas y bricks en cada subsistema:

$$\text{Km/kg}_{\text{subsistema}} = \frac{\text{Km totales}_{\text{subsistema}} \cdot 312}{\text{Kg (PET, latas y bricks) año}_{\text{subsistema}}}$$

Donde kg año (PET, latas y bricks) es la cantidad generada anualmente en cada subsistema y 312 son los días del año de trabajo de un comercio.

Una vez conocido este valor para cada subsistema, los km recorridos para transportar 1.000 kg de PET, latas y bricks se obtienen al multiplicar el valor obtenido para cada subsistema por 1.000 kg. Los resultados obtenidos están presentados en la tabla 5 en tkm.

A.2 Recogida selectiva máquinas de retorno

Se utiliza la misma metodología que para la recogida de comercios pero a partir de las estadísticas de cada municipio sobre grandes superficies de actividad comercial. Los resultados obtenidos se recogen en la tabla 5 del inventario expresados como tkm.

A.3 Recogida selectiva contenedores de resto

Para calcular la distancia recorrida para la recogida de envases de PET, latas y bricks en los contenedores de resto se utilizan los datos promedio [7] presentados en las columnas 2 y 3 de la tabla 25 considerando que el contenedor está lleno únicamente de envases ligeros.

Tabla 25. Datos para el cálculo de la recogida municipal de contenedores de resto en SDDR

		Cont./hora	Volumen (l)	Kg cont. ¹
Rural	Superior	29,16	1000	50
	Lateral	16,17	2400	119
	Posterior	9,06	2500	124
Semiurbano	Superior	33,43	1000	50
	Lateral	19,02	2400	119
	Posterior	10,98	2500	124
Urbano	Superior	47,83	1000	50
	Lateral	23,13	2400	119
	Posterior	12,51	2500	124

¹ se ha considerado el 45% porque es la parte proporcional a los envases de PET, latas y bricks.

Teniendo en cuenta la densidad de los envases dentro del contenedor (125 kg/m³ [7]) y que el porcentaje de llenado de los contenedores de resto suele ser del 88% [7], puede calcularse los kg de PET, latas y bricks que entran en cada tipo de contenedor (columna 4 de la tabla 25).

A partir de este dato y del número de contenedores que se recogen en una hora según el tipo de contenedor y subsistema se puede conocer el tiempo que se tarda en recoger 1 kg.

Sabiendo que en una jornada de 8 horas se recorre un promedio de 122 km [7], es posible calcular los km recorridos para recoger 1 kg (km/kg).

Finalmente, para conocer los km recorridos para la recogida de 1.000 kg de PET, latas y bricks en cada subsistema se multiplica el valor obtenido por 1.000. El resultado obtenido se ha presentado en la tabla 6 del inventario en kgkm.

B. SIG

En el SIG se efectuará la recogida municipal de los envases de PET, latas y bricks depositados en los contenedores amarillos de envases ligeros y en los contenedores de resto. La metodología utilizada es la misma que para los contenedores de resto para el SDDR presentada en el apartado A.3. Los datos utilizados se muestran en la tabla 26.

Tabla 26. Datos para el cálculo de la recogida municipal de contenedor de envases ligeros y resto SDDR

		Cont. /hora	Volumen (l)	Kg cont. Amarillo ¹	Kg cont. resto ¹
Rural	Trasera (Superior)	29,16	1000	7	50
	Lateral	16,17	2400	18	119
	Iglú (Posterior)	9,06	2500	19	124
Semiurbano	Trasera (Superior)	33,43	1000	7	50
	Lateral	19,02	2400	18	119
	Iglú (Posterior)	10,98	2500	19	124
Urbano	Trasera (Superior)	47,83	1000	7	50
	Lateral	23,13	2400	18	119
	Iglú (Posterior)	12,51	2500	19	124

¹ se ha considerado el 45% porque es la parte proporcional a los envases de PET, latas y bricks.

Para el cálculo de la capacidad de los contenedores de envases ligeros se ha considerado una densidad de 25 kg/m³ y un porcentaje de llenado del 66% [7]. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 11 del inventario.

Transporte hasta las plantas de selección de envases

El objetivo es establecer la distancia media para el transporte interurbano desde los municipios hasta las plantas de selección de envases en el SDDR y en el SIG. Además, para cada subsistema considerado.

Las distancias entre municipios, capitales y/o provincias se han calculado a partir del recurso on-line www.viamichelin.es

A. SDDR

Para el SDDR que se ha diseñado se ha supuesto la ubicación de una planta de selección de envases para cada 8.000.000 de habitantes siguiendo el modelo de Alemania. En este sentido, se zonifica España en función del número de habitantes y se obtiene que serán necesarias 6 plantas de selección. Estas plantas se han ubicado en la capital de la comunidad autónoma de mayor número de habitantes dentro de la zona considerada ya que serán los municipios con mayor generación de envases de PET, latas y bricks.

Para calcular la distancia hasta las plantas de selección de envases dentro de cada zona se ha calculado la distancia máxima entre la ubicación de la planta y las capitales de las provincias de la zona correspondiente.

La distancia ponderada se ha calculado multiplicando la distancia obtenida para cada recorrido por su peso⁸ y dividido por el peso total. En la tabla 27 se recogen las distancias medias dentro de cada zona.

Finalmente, se calcula la media ponderada entre las zonas definidas teniendo en cuenta también su peso, es decir, el número de habitantes que le corresponden a cada una respecto al total de habitantes de España. La distancia obtenida es de 150 km.

Tabla 27. Zonificación y distancias calculadas de los municipios hasta las plantas selección envases SDDR

Zona 1: A Coruña	Distancia km (capital a planta)	Peso
Santander	455	8
León	319	7
Palencia	469	2
Burgos	488	5
Salamanca	460	5
Zamora	398	3
Valladolid	440	8
Ávila	521	2
Segovia	548	2
Soria	622	1
Gijón	282	15
Pontevedra	133	14
A Coruña	5	16
Lugo	98	5
Ourense	174	5
Distancia media (km)	276	

⁸ El peso es la población proporcional de cada capital de provincia respecto al total de la población considerada en la zona correspondiente.

Zona 2: Bilbao	Distancia km (capital a planta)	Peso
Aragón	307	22
Teruel	477	3
Huesca	321	5
Pamplona	155	14
Álava	65	7
Guipúzcoa	99	16
Vizcaya	5	26
Logroño	136	22
Distancia media (km)	152	

Zona 3: Barcelona	Distancia km (capital a planta)	Peso
Barcelona	5	74
Tarragona	100	11
Lleida	168	6
Girona	138	10
Distancia media (km)	38	

Zona 4: Madrid	Distancia km (capital a planta)	Peso
Cáceres	298	4
Badajoz	399	7
Madrid	5	67
Cuenca	166	2
Guadalajara	57	3
Toledo	75	7
Ciudad real	205	6
Albacete	255	4
Distancia media (km)	78	

Zona 5: Sevilla	Distancia km (capital a planta)	Peso
Almería	413	8
Cádiz	16	15
Córdoba	150	10
Granada	261	11
Huelva	94	3
Jaén	296	8
Málaga	222	19
Sevilla	5	23
Distancia media (km)	122	

Zona 6: Valencia	Distancia km (capital a planta)	Peso
Castellón	76	9
Valencia	5	39
Alicante	179	29
Murcia	230	22
Distancia media (km)	112	

B. SIG

Para calcular con mayor exactitud y precisión la distancia a recorrer hasta las distintas plantas de selección de envases en función del subsistema considerado, se han utilizado las estadísticas de la ARC para Cataluña ya que se conoce la planta de selección de envases a la que va cada municipio [23].

Para conocer la distancia media, se efectúa un promedio para cada subsistema. En la tabla 28 se recogen los valores medios obtenidos.

Tabla 28. Distancias calculadas de los municipios hasta las plantas selección de envases SIG

Escenario	Distancia km
Rural	75
Semiurbano	66
Urbano	40

En la figura 25 se presenta la ubicación de las plantas de selección de envases existentes actualmente en España.



Figura 25: Ubicación plantas de selección de envases en España para el año 2008 [2]

Transporte a plantas de valorización energética y a vertederos controlados

El objetivo es establecer la distancia media para el transporte interurbano desde los municipios hasta las plantas valorización energética y a los vertederos controlados para los envases de PET, latas y bricks en la fracción resto tanto del SDDR como del SIG. Además se incluye la distancia a recorrer por el rechazo de las plantas de selección de envases del SIG hasta los vertederos controlados.

Todas las distancias entre municipios se han calculado a partir del recurso on-line www.viamichelin.es, considerando la ruta óptima por carretera.

A. SDDR

Ante la falta de datos de calidad de ubicación de vertederos controlados o plantas de valorización energética en España, se utilizan los datos correspondientes a Cataluña [23]. Se aplica la misma metodología que para las plantas de selección de envases y los resultados han sido extrapolados al resto de España.

Los valores obtenidos se han presentado en la tabla 7 del inventario

B. SIG

Se utilizan los resultados obtenidos para el SDDR ya que los kilómetros a recorrer por kg transportado serán los mismos. Para el rechazo de las plantas de selección se estima una distancia de 150 km hasta los vertederos controlados.

Estos resultados se encuentran recogidos en la tabla 12 del inventario.

Transporte a centros logísticos

El objetivo es establecer la distancia media entre los municipios y los centros de distribución logística de cada municipio para los tres subsistemas considerados para el SDDR.

Ante la falta de datos se establecen los siguientes valores que también están recogidos en la tabla 7 del inventario.

- 100 km para escenarios rurales
- 50 km para escenarios semiurbano
- 25 km para escenarios urbanos

Transporte a recicladores

Actualmente en España el destino de los envases de PET, latas y bricks recuperados en las plantas de selección de envases del SIG se decide mediante subasta pública efectuada por Ecoembes, de manera que no puede establecer una distancia promedio constante a lo largo del tiempo.

Se ha considerado que la ubicación de los recicladores y el sistema de subastas será el mismo tanto para el SIG actual como para el SDDR. También se ha considerado que la distancia entre las plantas de selección de envases del SDDR, del SIG y de los centros de distribución logística hasta los recicladores será la misma.

Para el cálculo se han tomado los datos de las subastas públicas del año 2010 publicados por Ecoembes en los que se recogen las plantas de selección de envases y los recicladores ganadores de la subasta. Se calcula la distancia entre cada planta y reciclador y se establece un valor promedio. Se dispone de datos de PET y de acero pero no de Bricks.

En la tabla 29 se muestran los valores obtenidos y utilizados para el SDDR y para el SIG (tablas 7 y 13 del inventario respectivamente).

Tabla 29. *Distancia recorridas hasta los recicladores*

	Km medio recorridos
PET plantas	400
Acero plantas	200
Promedio⁹	320

⁹ Calculado en función del porcentaje de envases de PET y de latas.

Consumo de los camiones de recogida y transporte interurbano

El consumo de fuel de los camiones de recogida urbana de envases de PET, latas y bricks en la fracción resto se ha tomado de Ecoembes [7]. El resto de consumos de los camiones de recogida municipal y transporte interurbano se han calculado a partir las siguientes ecuaciones y de las densidades de los diferentes materiales transportados.

$$C_{xt} = C_o + \frac{[(C_f - C_o)]}{Q_t} \cdot Q_x$$

$$C_{\text{consumo}} = \frac{C_{xt} \cdot d_{\text{diesel}}}{Q_x \cdot 100}$$

Donde C_{xt} es el consumo de fuel del vehículo con la carga Q_x ($l \cdot 100 \text{ km}^{-1}$), C_o es el consumo de fuel del camión vacío ($l \cdot 100 \text{ km}^{-1}$), C_f es el consumo de fuel del camión cargado en su totalidad ($l \cdot 100 \text{ km}^{-1}$), Q_t es la máxima carga transportable (kg) y d_{diesel} es la densidad del diesel de $0,84 \text{ kg/m}^3$. Finalmente, C_{consumo} es el consumo del camión para transportar la cantidad de residuos en cada etapa.

Los datos utilizados para calcular el consumo se han extraído del modelo de camiones de Volvo [17].

Se ha considerado que los consumos entre subsistemas (rural, semiurbano, urbano) son iguales. Además, en el caso del SDDR, para el transporte de los envases de PET, latas y bricks en la fracción de envases ligeros se ha considerado que se efectuará una logística inversa para el transporte hasta las plantas de selección de envases y hasta los centros de distribución, y el consumo del camión vacío no se ha contabilizado. Sin embargo, en el resto de transportes interurbanos del SDDR y del SIG este consumo sí se ha contabilizado.

En las tablas 8 y 14 del inventario se resumen los resultados obtenidos para cada etapa del ciclo de vida y la cantidad de residuos de envases de PET, latas y bricks transportados según el tipo de recogida y compactaciones realizadas.

ANEXO V: METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE INCINERACIÓN DE PET, LATAS Y BRICKS

Las emisiones de la incineración dependen del material y la cantidad incinerada. Por eso, para el cálculo de las emisiones de la incineración de los envases de PET, latas y bricks que lleguen a las plantas de valorización energética, se ha tenido en cuenta la proporción de estos envases (ver apartado 5.1.2) y los materiales de los que están compuestos. Los resultados obtenidos para la incineración de una tonelada de PET, latas y bricks se muestra en la tabla 30.

Tabla 30. *Composición de materiales a incineración sobre la tonelada a gestionar*

		Kg (sobre 1 tonelada a gestionar)
PET		391
Latas ₁		462
	Cartón	109
Bricks	Plástico	30
	Aluminio	8

¹ se ha considerado 100% acero.