



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Estudio de la Implementación de un Sistema de Retorno de Envases de Vidrio en España

Autor: Santiago Regojo Matarranz

Director: Pablo Magliarella

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
“Estudio de la implementación de un sistema de retorno de envases de vidrio en España”
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2024/25 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Santiago Regojo Matarranz

Fecha: 21/ 1/ 2025



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Pablo Magliarella

Fecha: 21/ 1/ 2025





COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Estudio de la Implementación de un Sistema de Retorno de Envases de Vidrio en España

Autor: Santiago Regojo Matarranz

Director: Pablo Magliarella

Madrid

ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RETORNO DE ENVASES DE VIDRIO EN ESPAÑA

Autor: Regojo Matarranz, Santiago

Director: Magliarella, Pablo

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

El proyecto evalúa si la introducción de un SDDR en España podría mejorar la circularidad mediante envases reutilizables. Los resultados destacan ventajas en sostenibilidad económica y reducción de huella de carbono frente al modelo actual y otros escenarios propuestos.

Palabras clave: Reutilización, SDDR, Economía Circular

1. Introducción

En una sociedad cada vez más comprometida con la sostenibilidad, los envases representan un reto clave en el sector alimentario debido a su impacto ambiental. Los SDDR surgen como una solución eficaz para aumentar el reciclaje y fomentar la reutilización, en línea con las políticas de economía circular de la UE. Este estudio analiza el impacto de un SDDR con envases de vidrio reutilizables, inspirado en su éxito en el sector horeca y su potencial para mejorar la sostenibilidad en el gran consumo.

2. Definición del proyecto

Aunque algunos estudios han explorado la implementación de SDDR en España, ninguno ha considerado la inclusión de envases reutilizables. Este trabajo propone evaluar un modelo que aproveche la experiencia del sector horeca, donde los envases retornables son utilizados de forma voluntaria por su rentabilidad y sostenibilidad. El objetivo es determinar si el vidrio reutilizable puede replicar estos beneficios en el gran consumo bajo el marco de un SDDR, evaluando sus impactos técnicos, económicos y ambientales.

3. Descripción de la metodología

El análisis de viabilidad se fundamenta en el estudio previo realizado por Tragsatec para el MITERD, considerado una de las propuestas más completas para la implementación de un SDDR en España. Dicho estudio plantea dos escenarios comparativos frente al sistema actual (SCRAP), evaluando los costes asociados y las ventajas ambientales de cada modelo.

En este trabajo se amplía el análisis al introducir un tercer escenario (SDDR3), que incorpora envases de vidrio reutilizables al sistema en lugar de envases exclusivamente reciclables. Siguiendo la metodología empleada por Tragsatec, se permite una comparación directa de las ventajas y desventajas que ofrece la retornabilidad de los envases de vidrio.

Para ello, se han ajustado los datos de entrada y realizado las modificaciones necesarias en el modelo propuesto, considerando las particularidades operativas y logísticas de los

envases reutilizables en el sistema. Esto asegura un análisis más detallado y específico de su impacto técnico, económico y ambiental.

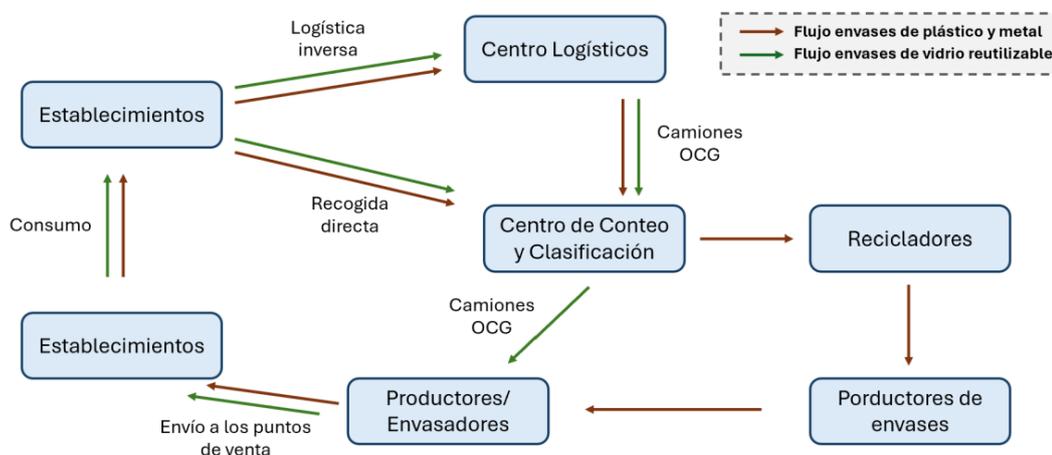


Ilustración 1. Esquema flujo materiales

4. Resultados

Los resultados confirman que el SDDR reduce significativamente las emisiones de CO₂, siendo el SDDR3 el escenario más efectivo con una reducción adicional de hasta el 50% frente al SCRAP. Sin embargo, su implementación requiere mayores costes que el sistema actual, ajustes normativos y la colaboración activa de consumidores y productores.

El escenario SDDR3 demuestra ventajas económicas y ambientales destacadas frente otros escenarios propuestos por Tragsatec, demostrando el impacto positivo de sustituir envases reciclables por reutilizables. Además, el análisis de sensibilidad revela que el peso del vidrio, aunque desafiante, no es un factor tan determinante frente a sus beneficios en seguridad alimentaria y preservación de la calidad de los alimentos.

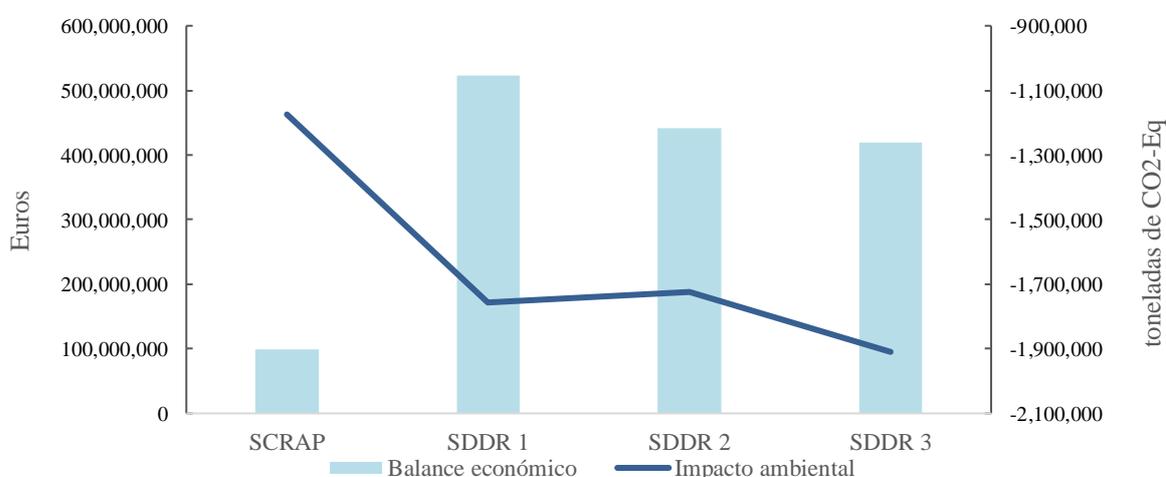


Ilustración 2. Resultado balance económico y ambiental por escenario

5. Conclusiones

El SDDR3, que incorpora envases de vidrio reutilizables, se perfila como una alternativa viable y sostenible para España. A pesar de retos como la infraestructura necesaria y el impacto del peso del vidrio, su reputación como material reutilizable lo consolida como una opción clave. Se recomienda avanzar con estudios más detallados sobre la viabilidad operativa, la inclusión de cajas reutilizables y la integración del SDDR con el sistema SCRAP para maximizar beneficios. También es crucial definir un importe de depósito equilibrado que fomente la devolución sin afectar negativamente las decisiones de compra. Finalmente, se destaca la necesidad de ajustar el marco normativo y explorar mecanismos para incentivar la participación de todos los actores involucrados.

6. Referencias

- [1] ENT. (2021). *Estudio sobre la viabilidad técnica y ambiental de la implantación de un Sistema de Depósito, Devolución y Retorno (SDDR) en España*.
- [2] Eunomia. (2019). *Evaluación de costes de introducción de un sistema de depósito, devolución y retorno en España*. Informe final para Retorna. Recuperado de <https://www.eunomia.co.uk/reports-tools/examining-the-cost-of-introducing-a-deposit-refund-system-in-spain/>
- [3] Tragsatec. (2021). *Estudio de viabilidad de la implantación de un Sistema de Depósito, Devolución y Retorno (SDDR) en España*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Recuperado de https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/images/es/210928_espana_sddr_ttecent_miterd_resumenejecutivo_tcm30-531127.pdf

STUDY ON THE IMPLEMENTATION OF A GLASS CONTAINER RETURN SYSTEM IN SPAIN

Author: Regojo Matarranz, Santiago

Supervisor: Magliarella, Pablo

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

The project assesses whether implementing a DRS in Spain could enhance circularity through reusable containers. The results highlight economic sustainability benefits and carbon footprint reduction compared to the current model and other proposed scenarios.

Keywords: Reuse, DRS, Circular Economy

1. Introduction

In a society increasingly committed to sustainability, packaging represents a key challenge in the food sector due to its environmental impact. Deposit Return Systems (DRS) emerge as an effective solution to increase recycling and promote reuse, aligning with the EU's circular economy policies. This study examines the impact of a DRS with reusable glass containers, inspired by its success in the HORECA sector and its potential to enhance sustainability in mass consumption.

2. Project Definition

While some studies have explored the implementation of DRS in Spain, none have considered the inclusion of reusable containers. This work proposes evaluating a model that leverages the experience of the HORECA sector, where returnable containers are voluntarily used due to their profitability and sustainability. The objective is to determine whether reusable glass can replicate these benefits in mass consumption under a DRS framework, assessing its technical, economic, and environmental impacts.

3. Methodology Description

The feasibility analysis is based on a prior study conducted by Tragsatec for MITERD, regarded as one of the most comprehensive proposals for implementing a DRS in Spain. The study presents two comparative scenarios against the current system (SCRAP), evaluating the associated costs and environmental benefits of each model.

This work extends the analysis by introducing a third scenario (DRS3), incorporating reusable glass containers into the system instead of exclusively recyclable ones. Following Tragsatec's methodology allows a direct comparison of the advantages and disadvantages of glass container returnability.

Data inputs were adjusted, and necessary modifications made to the proposed model, considering the operational and logistical specificities of reusable containers. This ensures a more detailed and specific analysis of their technical, economic, and environmental impact.

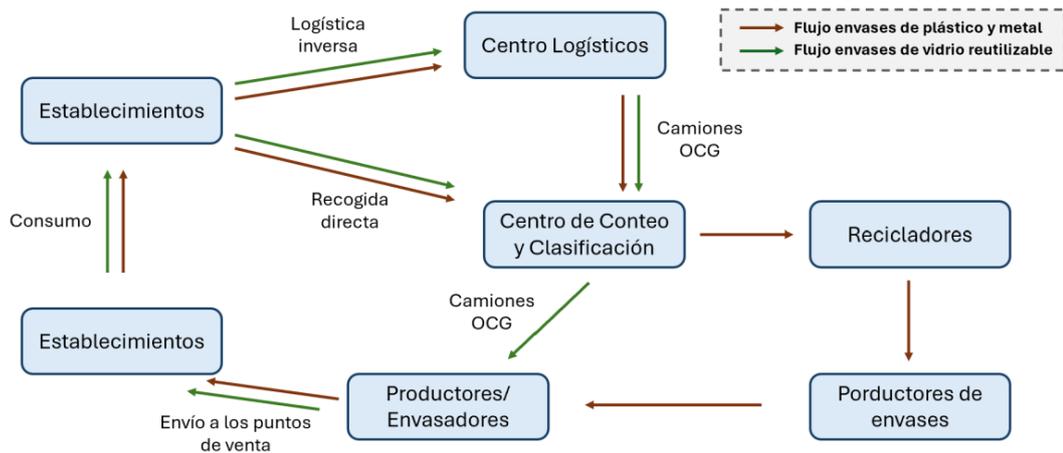


Illustration 1. Material flow diagram

4. Results

The results confirm that the DRS significantly reduces CO₂ emissions, with DRS3 being the most effective scenario, achieving an additional reduction of up to 50% compared to SCRAP. However, its implementation entails higher costs than the current system, regulatory adjustments, and active collaboration from consumers and producers.

The DRS3 scenario demonstrates significant economic and environmental advantages over other scenarios proposed by Tragsatec, highlighting the positive impact of replacing recyclable containers with reusable ones. Furthermore, sensitivity analysis reveals that the weight of glass, while challenging, is not as decisive compared to its benefits in food safety and quality preservation.

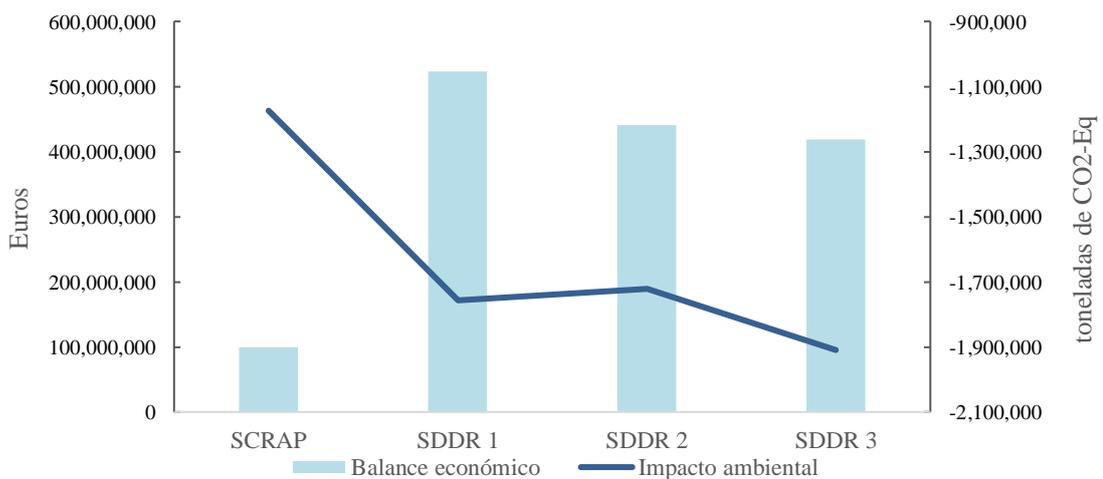


Illustration 2: Economic and environmental balance by scenario

5. Conclusions

The DRS3, incorporating reusable glass containers, emerges as a viable and sustainable alternative for Spain. Despite challenges such as required infrastructure and the weight of glass, its reputation as a reusable material establishes it as a key option. Further detailed studies are recommended to assess operational feasibility, inclusion of reusable crates, and integration of the DRS with the SCRAP system to maximize benefits. It is also crucial to define a balanced deposit amount that encourages returns without negatively affecting purchasing decisions. Finally, the need to adjust the regulatory framework and explore mechanisms to incentivize the participation of all stakeholders is emphasized.

6. References

- [1] ENT. (2021). *Estudio sobre la viabilidad técnica y ambiental de la implantación de un Sistema de Depósito, Devolución y Retorno (SDDR) en España*.
- [2] Eunomia. (2019). *Evaluación de costes de introducción de un sistema de depósito, devolución y retorno en España*. Informe final para Retorna. Recuperado de <https://www.eunomia.co.uk/reports-tools/examining-the-cost-of-introducing-a-deposit-refund-system-in-spain/>
- [3] Tragsatec. (2021). *Estudio de viabilidad de la implantación de un Sistema de Depósito, Devolución y Retorno (SDDR) en España*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Recuperado de https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/images/es/210928_espana_sddr_ttecent_miterd_resumenejecutivo_tcm30-531127.pdf

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	9
1.1 Contextualización	9
1.2 Sistemas de Depósito, Devolución y Retorno (SDDR)	10
1.2.1 Definición.....	10
1.2.2 Esquema.....	11
1.2.3 Origen.....	13
1.2.4 Tipos de SDDR.....	13
1.2.5 Marco Regulatorio.....	17
1.3 La Industria de Envases de Bebidas en España.....	18
Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías.....	21
Capítulo 3. Estado de la Cuestión.....	24
3.1 Reutilización en España Hasta Mediados del Siglo XX.....	24
3.1.1 Principales Hallazgos.....	26
3.2 Reutilización en el Sector Horeca	27
3.2.1 Principales Hallazgos.....	29
3.3 SDDRs Europeos.....	30
3.3.1 Alemania	32
3.3.2 Dinamarca.....	34
3.3.3 Finlandia.....	35
3.3.4 Suecia.....	36
3.3.5 Hallazgos Principales.....	37
3.4 Estudio de Viabilidad Tragsatec.....	38
3.4.1 Viabilidad Técnica.....	38
3.4.2 Viabilidad Económica.....	41
3.4.3 Viabilidad Ambiental	46
3.4.4 Conclusiones.....	47
Capítulo 4. Definición del Trabajo.....	49
4.1 Justificación.....	49
4.2 Objetivos.....	49

4.3 Metodología	50
Capítulo 5. Estudio de la Viabilidad Técnica, Económica y Ambiental.....	52
5.1 Objeto y Premisas del Estudio.....	52
5.2 Viabilidad Técnica.....	54
5.2.1 Descripción de la Logística del Sistema	55
5.2.2 Uso de Envases en España.....	56
5.2.3 Cuantificación de envases y residuos generados.....	58
5.2.4 Elección del Depósito	64
5.2.5 Aspectos Técnicos del Sistema.....	66
5.2.6 Infraestructura Necesaria	77
5.2.7 Balance de Masas	83
5.3 Viabilidad Económica.....	85
5.3.1 Objeto y Premisas de la Valoración Económica	85
5.3.2 Metodología del Estudio	86
5.3.3 Costes y Parámetros Considerados	87
5.3.4 Valoración de los Flujos Económicos del SDDR	90
5.3.5 Comparación entre Escenarios	134
5.3.6 Impacto Económico del SDDR sobre los SCRAP.....	136
5.4 Viabilidad Ambiental.....	139
5.4.1 Metodología.....	139
5.4.2 Análisis Huella de Carbono	143
5.4.3 Resultados	156
5.4.4 Comparativa entre Escenarios	157
Capítulo 6. Análisis de Sensibilidad.....	160
6.1 Aumento del Depósito	160
6.2 Reducción del Peso de las Botellas Reutilizables.....	162
6.3 Conclusiones del Análisis de Sensibilidad.....	165
Capítulo 7. Análisis de Resultados	166
Capítulo 8. Conclusiones y Trabajos Futuros.....	170
Capítulo 9. Bibliografía	172

Índice de figuras

Figura 1. Esquema SDDR propuesto por Retorna	12
Figura 2. Implantación de SDDRs en Europa	31
Figura 3. Envases incluidos por escenario.....	39
Figura 4. Esquema de los flujos económicos	41
Figura 5. Desarrollo tercer escenario SDDR 3	52
Figura 6. Descripción gráfica de los envases sujetos al SDDR3	53
Figura 7. Flujo de los envases en el SDDR3	56
Figura 8. Diagrama de masas del escenario actual SCRAP	59
Figura 9. Balance de masa de EBSS en el escenario actual de gestión de residuos (SCRAP) en el año 2018.....	63
Figura 10. Índice de devolución en función de los depósitos.....	66
Figura 11 . Caja de vidrio reutilizable para botellas de vidrio	73
Figura 12. Balance de masa de EBSS en el escenario SDDR3	84
Figura 13. Esquema del flujo económico SDDR3	87
Figura 14. Sistema de estudio de la huella de carbono sobre la implantación de un SDDR	142
Figura 15. Resumen ilustrado del balance económico y ambiental de los escenarios propuestos	167

Índice de tablas

Tabla 1. Características SDDR implantados en España.....	32
Tabla 2. Balance económico del escenario 1.....	44
Tabla 3. Balance económico del escenario 2.....	44
Tabla 4. Impacto de la implantación del SDDR sobre los SCRAP según el escenario.....	45
Tabla 5. Huella de carbono por escenario propuesto.....	47
Tabla 6. Descripción características EBSS3.....	54
Tabla 7. Distribución de bebidas vendidas en España por peso.....	57
Tabla 8. Distribución de bebidas vendidas en España por unidades.....	57
Tabla 9. Distribución de envases puestos en el mercado en 2018.....	60
Tabla 10. Porcentajes de recogida estimados con el balance de masa de los envases sujetos a RAP.....	62
Tabla 11. Eficiencias de recuperación estimadas con el balance de masa de los envases sujetos a RAP.....	62
Tabla 12. Depósitos utilizados en los SDDR europeos.....	65
Tabla 13. Estimación de establecimientos participantes en el SDDR.....	67
Tabla 14. Envases recogidos por tipo de establecimiento.....	69
Tabla 15. Impacto de la retornabilidad del vidrio en peso.....	70
Tabla 16. Puntos con retorno manual y con retorno automático.....	70
Tabla 17. Establecimientos HORECA por categoría.....	71
Tabla 18. Distribución de envases devueltos por establecimiento.....	71
Tabla 19. Número de máquinas automáticas de retorno a instalar por punto de recogida..	72
Tabla 20. Número de cajas de vidrio necesarias para el SDDR3.....	74
Tabla 21. Estimación de materiales necesarios para el almacenaje de los envases de retorno manual.....	75

Tabla 22. Estimación de materiales necesarios para el almacenaje de los envases de retorno automático.....	75
Tabla 23. Estimación de materiales necesarios para el almacenaje en horeca.....	76
Tabla 24. Estimación de porcentaje de logística inversa por categoría de establecimiento	76
Tabla 25. Envases enviados a centros de conteo.....	78
Tabla 26. Envases enviados a centros de clasificación.....	78
Tabla 27. Envases a recuento por comunidad autónoma.....	80
Tabla 28. Centros y líneas de conteo por comunidad autónoma.....	81
Tabla 29. Envases que deben pasar por un grupo de lavado	81
Tabla 30. Número de establecimientos por tipo de recogida y transporte.....	89
Tabla 31. Número de establecimientos por tipo de recogida y transporte (vidrio).....	90
Tabla 32. Cálculo de los ingresos del sistema por envases no devueltos	92
Tabla 33. Estructura de costes para los modelos de costes de aceptación manual de los envases	94
Tabla 34. Estimaciones tiempo en la gestión de envases	94
Tabla 35. Desglose del cálculo del coste laboral	95
Tabla 36. Espacio destinado al almacenamiento de envases de vidrio por tipo de establecimiento.....	96
Tabla 37. Coste total por el alquiler del m2	96
Tabla 38. Coste en bolsas y sistemas de cierre para los envases de plástico y metal del SDDR3.....	97
Tabla 39. Inversión en maquinaria para el SDDR3	97
Tabla 40. Inversión total en bolsas y sistemas de cierre.....	98
Tabla 41. Costes totales de gestión	99
Tabla 42. Estructura de costes para los modelos de transporte de los envases con recogida directa.....	102
Tabla 43. Cálculo de la frecuencia máxima	103
Tabla 44. Capacidad de transporte de envases y pallets de los camiones	103
Tabla 45. Dimensionamiento número de camiones necesario en recogida directa.....	104
Tabla 46. Coste fijo derivado del transporte RD.....	105

Tabla 47. Hipótesis de distancias asumidas para el modelo de transporte con recogida directa	105
Tabla 48. Cálculo de los trayectos por categoría de establecimiento	106
Tabla 49. Distancias utilizadas para el cálculo del consumo de diésel en RD	106
Tabla 50. Coste anual en la recogida de envases	107
Tabla 51. Detalles del consumo del trayecto de recogida directa	108
Tabla 52. Coste anual del transporte de envases	108
Tabla 53. Coste anual en mantenimiento y reparaciones de los camiones	109
Tabla 54. Coste anual por la reposición de neumáticos de los camiones	109
Tabla 55. Estimaciones de la duración de actividades	109
Tabla 56. Cálculo del coste laboral por trayecto por tipo de establecimiento	110
Tabla 57. Estructura de costes para los modelos de transporte de los envases con logística inversa	112
Tabla 58. Dimensionamiento del número de camiones de la OCG necesarios en LI	113
Tabla 59. Coste repercutido por la recogida en logística inversa	114
Tabla 60. Coste repercutido del transporte realizado por logística inversa	115
Tabla 61. Coste del espacio utilizado en centros logísticos	115
Tabla 62. Coste fijo de los camiones de la OCG para LI	116
Tabla 63. Cálculo de la distancia del trayecto	116
Tabla 64. Distancias consideradas en la evaluación del consumo	117
Tabla 65. Coste anual del transporte de los camiones de la OCG en LI	117
Tabla 66. Coste del mantenimiento y reparación de los camiones de la OCG en LI	117
Tabla 67. Coste de la reposición de neumáticos en los camiones de la OCG en LI	117
Tabla 68. Estimaciones tiempo de trabajo	118
Tabla 69. Coste total de la recogida y transporte de envases del SDDR3	119
Tabla 70. Coste total de los centros de conteo y clasificación	120
Tabla 71. Principales productores cerveza en España y su producción por provincia	122
Tabla 72. Distribución de la demanda de envases estudiada	123
Tabla 73. Distribución de la oferta de envases estudiada	123
Tabla 74. Distancia media entre comunidades autónomas y provincias estudiadas	124

Tabla 75. Distribución de los trayectos para la optimización de la distancia media	125
Tabla 76. Dimensionamiento de camiones para el transporte a productores	126
Tabla 77. Coste fijo total de los camiones	126
Tabla 78. Coste total del transporte.....	127
Tabla 79. Coste anual del mantenimiento y reparación de los camiones	127
Tabla 80. Coste anual de la reposición de neumáticos	127
Tabla 81. Capacidad y consumos de un grupo de lavado de botellas de vidrio retornables y no retornables	129
Tabla 82. Precio de los consumos de un grupo de lavado	129
Tabla 83. Cálculo coste de la inversión en camiones para el transporte a productores	130
Tabla 84. Cálculo de la diferencia de consumo por grupo retornable y no retornable	130
Tabla 85. Coste total por la diferencia de consumos	130
Tabla 86. Materiales recuperados por el SDDR3	131
Tabla 87. Estimación del precio de compra de los materiales para reciclaje	132
Tabla 88. Ingresos totales derivados de la venta de materiales para reciclaje	132
Tabla 89. Ingresos totales por el alquiler de botellas retornables	133
Tabla 90. Balance global del sistema SDDR3	134
Tabla 91. Comparativa del balance económico entre escenarios SDDR.....	135
Tabla 92. Ingresos de los SCRAP asociados al cobro de la tarifa del Punto Verde (datos de 2018)	138
Tabla 93. Flujo de referencia de estudio de la huella de carbono sobre la implantación de un SDDR	140
Tabla 94. Emisiones recepción de envases de plástico y metal	143
Tabla 95. Emisiones por la recepción de envases de vidrio	143
Tabla 96. Consumos en la recogida por tipo de envase.....	144
Tabla 97. Hipótesis de la recogida de EELL y vidrio del escenario SDDR	145
Tabla 98. Cálculo de las emisiones totales en la recogida del vidrio.....	146
Tabla 99. Hipótesis del transporte a primer destino del escenario SCRAP	147
Tabla 100. Hipótesis del transporte a primer destino de los escenarios SDDR	148
Tabla 101. Hipótesis del transporte entre plantas en los escenarios SCRAP y SDDR	148

Tabla 102. Cálculo de las emisiones totales por el transporte del vidrio.....	149
Tabla 103. Cálculo de la diferencia de huella de carbono en la recogida de RSU entre escenarios SDDR y SCRAP	149
Tabla 104. Cálculo de la diferencia de huella de carbono producida en las plantas de transferencia entre escenarios SDDR y SCRAP	150
Tabla 105. Cálculo de las emisiones por línea de conteo	151
Tabla 106. Emisiones por el consumo eléctrico de los centros de conteo y clasificación	151
Tabla 107. Emisiones por el consumo de diésel de los centros de conteo y clasificación	152
Tabla 108. Cálculo de la diferencia de huella de carbono producida en las plantas de TMB entre escenarios SDDR y SCRAP	152
Tabla 109. Coeficientes A y B e impactos de reprocesado y producción primaria utilizadas en la etapa de reciclaje	153
Tabla 110. Cálculo de la diferencia de huella de carbono ahorrada por el reprocesado de materiales entre escenarios SDDR y SCRAP	154
Tabla 111. Emisiones totales en la fabricación de botellas de vidrio un solo uso en el escenario SCRAP	155
Tabla 112. Emisiones totales en la fabricación de botellas reutilizables en el escenario SDDR3	156
Tabla 113. Huella de carbono total en los escenarios SCRAP y SDDR3	157
Tabla 114. Tabla comparativa de la huella de carbono según el escenario	158
Tabla 115. Balance económico del SDDR3 en función del depósito	161
Tabla 116. Balance ambiental del SDDR3 en función del depósito	162
Tabla 117. Balance económico del SDDR3 según el peso de las botellas reutilizables....	163
Tabla 118. Balance ambiental del SDDR3 según el peso de las botellas reutilizables	164

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 CONTEXTUALIZACIÓN

La sostenibilidad de los envases se ha convertido en uno de los mayores retos de la industria alimentaria en la actualidad. La creciente preocupación por el impacto ambiental de los residuos generados por los envases ha impulsado a gobiernos, empresas y consumidores a buscar alternativas más sostenibles. Este desafío no se limita únicamente a encontrar materiales más responsables, sino que exige una revisión completa del ciclo de vida de los envases para minimizar su huella ecológica y la generación de residuos.

En su comunicado *Nuevo Plan de acción para la economía circular por una Europa más limpia y competitiva* (Comisión Europea, 2020), la Comisión Europea estimaba que las actividades económicas de la UE generan anualmente 2.500 millones de toneladas de residuos, lo que equivale a 5 toneladas por habitante. Entre los sectores más contaminantes destacan los aparatos electrónicos, los vehículos y baterías, la construcción, la industria textil y el uso de envases y embalajes. Además, cada ciudadano europeo genera, en promedio, cerca de media tonelada de residuos urbanos al año, una cifra que subraya la magnitud del problema.

La Comisión también advertía que, sin medidas contundentes, el consumo global de recursos como biomasa, combustibles fósiles, metales y minerales podría duplicarse en los próximos 40 años, mientras que la generación anual de residuos podría incrementarse un 70% para 2050. Estas proyecciones reflejan la urgencia de adoptar modelos más sostenibles que aborden de manera integral la gestión de residuos y el uso eficiente de los recursos.

El sector alimentario no está exento de esta problemática. La producción y transporte de alimentos representan el 26% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (Cinco Días, 2021), y los envases juegan un papel significativo en esta contribución. Por este motivo, los gobiernos y las instituciones europeas están intensificando su presión normativa

para mejorar la sostenibilidad en el envasado. Iniciativas como el Pacto Verde Europeo y directivas específicas, como la Directiva de Plásticos de un Solo Uso, buscan reducir la dependencia de materiales desechables y fomentar modelos más circulares.

En este contexto, los Sistemas de Depósito, Devolución y Retorno (SDDR) están emergiendo como una solución robusta para enfrentar la contaminación derivada de los envases. Actualmente, 15 países europeos han implementado SDDR, no solo como un mecanismo de reciclaje, sino también como una estrategia para cambiar hábitos de consumo y reducir el impacto ambiental (AIReF, 2024). Estos sistemas permiten mejorar significativamente las tasas de reciclaje y reutilización de envases, convirtiéndose en una herramienta clave para construir un sector más sostenible y alineado con los objetivos de la economía circular.

Esta creciente preocupación por la sostenibilidad y la eficacia demostrada de los SDDR establece una base sólida para considerar su implementación en España, particularmente en el ámbito de los envases de vidrio, que ofrecen un potencial único para fomentar la reutilización y avanzar hacia un modelo verdaderamente circular.

1.2 SISTEMAS DE DEPÓSITO, DEVOLUCIÓN Y RETORNO (SDDR)

1.2.1 DEFINICIÓN

La asociación Retorna, define un SDDR como “un sistema de gestión de residuos de envases, que asocia un valor a cada envase para que éste sea devuelto por el consumidor para su reciclaje” (Retorna, s.f.).

Además, Retorna define el significado de cada término de las siglas SDDR:

- El depósito representa un valor económico asignado a cada envase, funcionando como un incentivo para garantizar su retorno en óptimas condiciones para el reciclaje. No se trata de un impuesto ni de un coste adicional, sino de una fianza reembolsable.

- La devolución implica que el consumidor recupera íntegramente la cantidad adelantada al entregar el envase vacío en el punto de retorno correspondiente.
- El retorno asegura que el envase sea recuperado como materia prima lista para convertirse en un nuevo envase o para ser reutilizado, cerrando el ciclo y transformando lo que podría ser un residuo en un recurso valioso.

El sistema de retorno de envases funciona mediante un depósito que los ciudadanos pagan al adquirir determinados productos y recuperan al devolver los envases vacíos. Este sistema es complementario al actual Sistema Integrado de Gestión de Residuos (SIG) ya que, por ahora, sólo se aplica a tipos específicos de envases, principalmente los de bebidas de menor volumen. Además, se excluyen ciertos productos, como la leche, debido a que los residuos que pueden quedar en el envase generan mal olor.

El proceso asigna un valor monetario a cada envase, que se paga en el momento de la compra y se reembolsa cuando el consumidor devuelve el envase vacío en el punto de retorno, generalmente una máquina automática. Estas máquinas clasifican los envases y los preparan para su transporte a las plantas de tratamiento correspondientes, incentivando al consumidor a reciclar y participar activamente en el sistema.

Este modelo está ampliamente implementado en otras regiones del mundo, operando en 15 países sólo en Europa y ha demostrado ser altamente efectivo (AIREF, 2024). Por ejemplo, en Alemania, las tasas de recuperación de envases alcanzan el 98% (Fernández, 2017).

1.2.2 ESQUEMA

La asociación Retorna, en su propuesta de implantación de un SDDR en España, también presenta esquema del mismo:

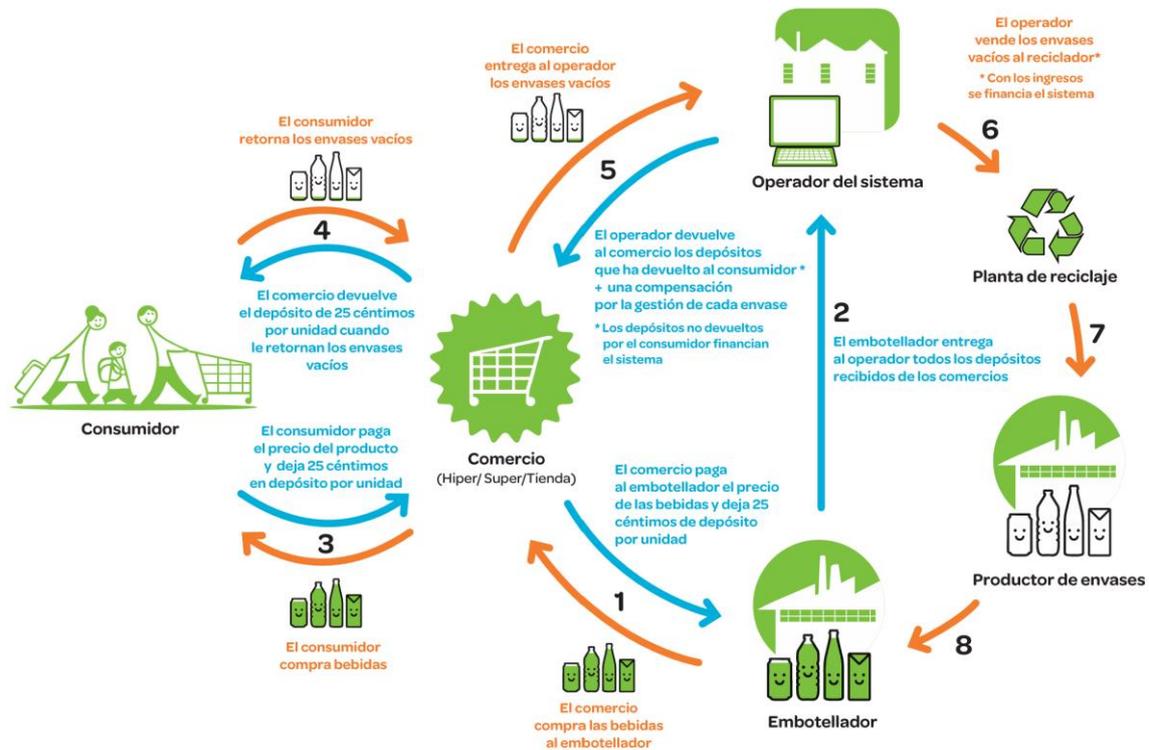


Figura 1. Esquema SDDR propuesto por Retorna

Fuente: Retorna

- Los productores, ya sean embotelladores, importadores o distribuidores, adelantan un depósito por cada envase que colocan en el mercado, financiando así el sistema desde el origen.
- Los comercios, al adquirir estos productos, no solo abonan el precio habitual, sino también el depósito, que luego trasladan a los consumidores en la compra. Al retornar el envase vacío, los comercios reembolsan el depósito, cerrando el ciclo.
- Los consumidores, al devolver el envase vacío en cualquier establecimiento, recuperan su depósito. Si no lo hacen, esa cantidad permanece en el sistema, contribuyendo a su financiación. Esto no solo incentiva a la devolución de los envases, sino que sigue la premisa europea de “quien contamina paga”.
- El operador del sistema, como pieza central, coordina la logística, asegura la correcta gestión de los envases y redistribuye los fondos entre los participantes.
- La Administración Pública supervisa, garantiza la transparencia y audita las cuentas.

1.2.3 ORIGEN

Los sistemas de depósito, devolución y retorno (SDDR) se originaron en Estados Unidos con la implementación de los primeros *Bottle Bill*. Estos sistemas surgieron como mecanismos para recolectar envases no rellenables, especialmente latas de cerveza, en contextos donde no existían estructuras organizadas para la recogida de envases usados. Actualmente, aunque estos sistemas siguen activos en algunas regiones de Estados Unidos, Canadá y Australia, no alcanzan el nivel de desarrollo de los SDDR europeos debido a la ausencia de sistemas integrados de gestión de residuos (SIG) en estos países.

En Europa, los SDDR se consolidaron inicialmente en los países nórdicos (Suecia, Noruega, Finlandia, Dinamarca y Estonia), reconocidos por su evolución y eficacia en la gestión de residuos. En los últimos años este sistema se ha extendido por gran parte de los países europeos.

Cabe destacar que en Estados Unidos, el sistema más avanzado, implementado en California, generó un coste significativo para los contribuyentes. Por ejemplo, en el año fiscal 2007-2008, los depósitos no recuperados representaron cerca de 300 millones de dólares (281,8 millones exactamente). Este contraste evidencia las diferencias en la eficiencia y alcance entre los SDDR europeos y los modelos implementados en otros contextos (Aballe, 2012).

1.2.4 TIPOS DE SDDR

Hay una amplia variedad de criterios y opciones que determinan las distintas tipologías de SDDR. Estos criterios no son excluyentes entre sí, lo que permite diversas combinaciones. Según Trasagtec (2021), los SDDR suelen clasificarse en dos grandes grupos:

1. SDDR según destino final del envase
 - a. SDDR para envases reutilizables
 - b. SDDR para envases de un solo uso
2. SDDR según operador del sistema
 - a. SDDR operados por productores individuales
 - b. SDDR basado en la industria (sistemas colectivos)

1.2.4.1 SDDR para envases reutilizables

El sistema de reutilización de envases se basa en un ciclo cerrado en el que las bebidas son embotelladas por los productores, distribuidas a los puntos de venta y consumidas por los compradores. Una vez utilizadas, las botellas vacías se devuelven al productor, quien normalmente es el que las somete a un proceso de limpieza para volver a utilizarlas. Este modelo ha sido empleado durante décadas en el sector horeca especialmente para envases de leche, cerveza, agua mineral y bebidas carbonatadas, como parte de iniciativas impulsadas por la propia industria.

Un aspecto clave de este sistema es su atractivo económico para los productores, quienes pueden alcanzar una rentabilidad mucho mayor que con el uso de envases de un solo uso. Además de un impacto ambiental considerablemente inferior. La devolución de los envases se garantiza mediante un depósito, que, en algunos casos, también se extiende a las cajas utilizadas para transportar los envases reutilizables.

La elección de los envases en este tipo de sistema depende de factores como el material, la facilidad de transporte y la viabilidad de ser rellenados.

1.2.4.2 SDDR para envases de un solo uso

En este caso, el objetivo del sistema es incrementar las tasas de reciclaje mediante el incentivo de devolver los depósitos a los consumidores. Si bien puede no ser tan eficaz como la reutilización, el uso de botellas más ligeras y compactables facilita tanto la gestión por parte de los consumidores, que deben llevar los envases al punto de recogida, como la logística general del sistema.

1.2.4.3 SDDR operados por productores individuales

Según la OCDE, los SDDR gestionados por productores individuales son sistemas en los que cada productor establece, de manera independiente, un recargo sobre el precio de sus productos o envases. Este recargo actúa como un depósito que se devuelve al consumidor una vez que el envase es retornado. En este modelo, el productor asume la responsabilidad

tanto de cumplir con los objetivos de recuperación como de corregir cualquier fallo del sistema o incumplimiento de dichos objetivos (Tragsatec, 2021).

Esto refleja el funcionamiento actual del sector horeca en España, donde cada productor gestiona su propio parque de botellas y se encarga de supervisar todo el ciclo de retorno de las mismas.

1.2.4.4 SDDR colectivo

La OCDE describe el SDDR basado en la industria como un sistema colectivo en el que todos los productores de un tipo específico de producto o envase aplican una tarifa uniforme como depósito. Estos productores tienen la obligación conjunta de reembolsar el depósito por todos los envases devueltos, sin importar cuál sea su fabricante (Tragsatec, 2021).

La gestión conjunta requiere un operador externo encargado de coordinar todo el sistema. Una de sus principales ventajas es la posibilidad de lograr significativas mejoras mediante la optimización, gracias a la mayor escala que alcanza el sistema. Además, al implementarse de manera colectiva en la industria, se evita que algunos actores enfrenten desventajas competitivas al incorporarse, ya que el depósito asociado genera una distorsión del precio de los productos.

Cuando el SDDR se aplica a envases reutilizables, es especialmente relevante que estos compartan un diseño estándar. Esto simplifica significativamente la logística y puede generar ahorros considerables en los costes operativos.

1.2.4.5 Aplicación de los tipos de SDDR al contexto español

En España, se puede considerar que el canal horeca opera bajo un SDDR. Este, lo hace bajo un modelo basado exclusivamente en envases reutilizables, gestionado de forma individual por los productores. Cada productor administra su propio parque de botellas, coordinando la distribución, recolección y limpieza de los envases dentro de su red logística. Este sistema ha demostrado ser eficiente en el contexto de horeca, donde las altas tasas de rotación y la estandarización de formatos facilitan la operatividad del modelo.

Sin embargo, al considerar la implementación de un SDDR a nivel nacional para el gran consumo, es necesario adoptar un enfoque diferente que integre tanto envases reutilizables como de un solo uso. Este modelo híbrido sería gestionado por un operador central, encargado de coordinar la logística y garantizar la trazabilidad de los envases en todo el territorio. La centralización tiene especial sentido para compartir gastos para la infraestructura del sistema necesaria.

Un operador central ofrecería varias ventajas clave para un sistema a gran escala:

- **Eficiencia en la logística inversa:** La coordinación centralizada facilita el transporte y la recolección de envases desde los puntos de consumo hasta los centros de clasificación y lavado, aprovechando las rutas existentes y minimizando los kilómetros recorridos.
- **Economías de escala:** La gestión conjunta de envases de diferentes productores permite compartir infraestructuras como plantas de lavado, almacenamiento y clasificación, reduciendo los costes operativos para los participantes.
- **Trazabilidad y transparencia:** Un sistema centralizado asegura el seguimiento de los envases a lo largo de todo el ciclo, mejorando el control y reduciendo el riesgo de pérdidas o desvíos de materiales.

Este modelo no solo optimiza la operatividad logística, sino que también se alinea con los principios de la Responsabilidad Ampliada del Productor, asegurando que los costes asociados al sistema sean compartidos equitativamente entre los productores según su participación en el mercado. Además, un operador central puede establecer normas y estándares para la gestión de los envases, como el uso de botellas reutilizables estandarizadas, lo que facilita la integración de pequeños productores y refuerza la eficiencia del sistema.

1.2.5 MARCO REGULATORIO

La implementación de Sistemas de Depósito, Devolución y Retorno (SDDR) está ganando protagonismo en los últimos años debido a cambios significativos en la normativa tanto nacional como europea, que buscan promover la economía circular y mitigar el impacto ambiental de los residuos. A continuación, se analizan las principales leyes y regulaciones que impulsan esta tendencia, así como el papel de la Responsabilidad Ampliada del Productor (RAP).

1. Ley de Residuos y Suelos Contaminados para una Economía Circular (Ley 7/2022)

Esta ley refuerza la necesidad de avanzar hacia modelos más sostenibles, como el SDDR, al establecer objetivos ambiciosos de reciclaje y reducción de residuos. Si no se cumplen dichas metas, se contempla la posibilidad de hacer obligatorio un sistema de este tipo. Esto genera un incentivo para que los actores de la industria tomen medidas proactivas y evalúen la viabilidad de implementar SDDR antes de enfrentarse a una regulación impuesta.

En este contexto, el SDDR se posiciona como una herramienta clave para abordar el reciclaje de materiales problemáticos, como el plástico, cuyas tasas actuales están lejos de los objetivos fijados. Además, aunque el vidrio ya supera los estándares requeridos, su inclusión en un sistema de retorno podría reforzar su reutilización y consolidar la economía circular en este sector.

2. Directiva 94/62/CE del Parlamento Europeo sobre Envases y Residuos de Envases

Esta directiva tiene un enfoque similar al de la Ley 7/2022, pero con plazos más amplios, lo que ofrece una mayor flexibilidad temporal para la implementación de sistemas como el SDDR. Los productores y otros agentes implicados confían que se siga esta directiva, permitiendo un mayor tiempo de adaptación para la implantación del SDDR.

3. Real Decreto 1055/2022

El Real Decreto introduce obligaciones específicas para los minoristas, enfocándose en la disponibilidad de bebidas en envases reutilizables. Esto implica que tanto pequeños como grandes comercios deberán garantizar un número mínimo de referencias de productos en envases reutilizables, dependiendo de su superficie comercial.

- Desde 2025, se exige a los establecimientos mayores de 300 m² ofrecer entre 4 y 7 referencias de bebidas en envases reutilizables, dependiendo de su tamaño.
- Desde 2027, esta exigencia se extiende a pequeños establecimientos con superficies menores a 300 m².

Estas medidas generan un fuerte impulso para que los minoristas y productores adapten su oferta hacia envases reutilizables, lo que a su vez requiere la implementación de sistemas de retorno eficientes. El vidrio, como ya se hace en horeca, podría ser un firme candidato para proporcionar envases reutilizables.

4. Responsabilidad Ampliada del Productor (RAP)

La RAP establece que los productores son responsables de la gestión completa de los envases, desde su fabricación hasta su eliminación o reutilización. Esto incluye la obligación de asumir los costes de gestión de los residuos que generan sus productos. En este marco, serían los propios productores los encargados de soportar parte de los costes de imponer un nuevo sistema SDDR.

1.3 LA INDUSTRIA DE ENVASES DE BEBIDAS EN ESPAÑA

En los lineales en España encontramos principalmente tres alternativas de materiales para los envases de bebidas que ofrecen distintos beneficios y desventajas. Por ejemplo, el plástico es barato, ligero e increíblemente versátil, lo que lo convierte en la opción preferida para numerosas aplicaciones de embalaje. Sin embargo, su conveniencia se ha transformado en una catástrofe global. Con un bajo porcentaje de residuos plásticos reciclados y el resto acumulándose en vertederos o, peor aún, contaminando nuestros océanos, el impacto

ambiental es devastador (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible, 2019). Por otro lado, el aluminio es un material con mucha mayor capacidad para ser reciclado y su versatilidad y ligereza le hacen una de las mayores apuestas de muchas industrias para un envasado más ecológico. Sin embargo, la producción de aluminio es muy intensiva en energía.

Luego, está el vidrio, que, aunque el material es reconocido por su capacidad para preservar la calidad y el sabor de los alimentos y bebidas, la mayoría de los envases de vidrio son de un solo uso. Se reciclan, sí, pero no se reutilizan, lo que representa una oportunidad perdida para una verdadera circularidad. Reciclar vidrio, aunque beneficioso, es intensivo en energía, ya que se requieren altas temperaturas para fundir el material para su reutilización. Este proceso, aunque mejor que producir vidrio nuevo a partir de materias primas, sigue implicando un consumo considerable de energía y emisiones de carbono que podría ser disminuido.

En general el consumo de envases de vidrio a nivel mundial ha visto un crecimiento constante. En 2024, se espera que el tamaño del mercado alcance los 0,83 billones de unidades, con un crecimiento proyectado del 4,33% anual, alcanzando los 1,03 billones de unidades para 2029 (Mordor Intelligence, 2023). Este aumento se debe principalmente a su capacidad para preservar la calidad del producto y su percepción como material seguro para la salud.

En España, donde el consumo de cerveza y refrescos es especialmente elevado. Destaca que el 94% de los consumidores señala que la razón principal para elegir cerveza en botella de vidrio es su capacidad para preservar la calidad del producto, superando otros factores como la conservación del sabor y la seguridad alimentaria. Además, el 60% de los encuestados afirma que exclusivamente adquiere cerveza en este tipo de envase (ANFEVI, 2021).

En 2023 se recogieron más de 1 billón de kg de vidrio en el territorio nacional, dando lugar a una tasa de reciclaje próxima al 70%, que, aun siendo elevada, siendo la mayoría de estos envases de un solo uso, se limita su potencial en un modelo de economía circular más eficiente (Ecovidrio, 2024).

Aquí radica el problema fundamental. Aunque España sobresale en el reciclaje de vidrio, con tasas que superan las de muchos otros países europeo, falla en adoptar sistemas que de verdad cierran el ciclo, como esquemas de devolución de botellas. Estos sistemas, prevalentes en países como Alemania, implican la devolución de botellas usadas para su limpieza y relleno, reduciendo así la necesidad de nueva producción y disminuyendo significativamente el impacto ambiental. La diferencia es notable: una botella reutilizada múltiples veces frente a una que, aunque reciclada, requiere una considerable cantidad de energía para ser reprocesada cada vez.

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

En este capítulo se describen las tecnologías, herramientas y protocolos utilizados en este trabajo, con el objetivo de facilitar la comprensión de los elementos técnicos y operativos fundamentales para el análisis del SDDR. Este proyecto pone especial énfasis en la inclusión de envases de vidrio reutilizables, por lo que es crucial detallar las tecnologías clave que sustentan las hipótesis y cálculos realizados.

Sistemas Automáticos de Devolución de Envases (RVM)

Los sistemas automáticos de devolución de envases, conocidos como Reverse Vending Machines (RVM), son una tecnología central en la implementación de los sistemas SDDR. Estas máquinas están diseñadas para facilitar la devolución de envases vacíos por parte de los consumidores, quienes reciben a cambio el depósito abonado al momento de la compra.

El funcionamiento de estas máquinas se basa en tres operaciones principales:

- **Identificación del envase:** Utilizan tecnología avanzada, como escáneres de códigos de barras o sistemas ópticos, para reconocer el tipo y material del envase.
- **Clasificación:** Separan automáticamente los envases según su material, como plástico, vidrio o metales, para optimizar su gestión.
- **Almacenamiento:** Compactan los materiales reciclables, maximizando la capacidad de la máquina y reduciendo los costes asociados al transporte.

En el contexto de este trabajo, las RVM se consideran esenciales para la gestión eficiente de los envases de plástico y metales incluidos en el escenario SDDR3. Sin embargo, no se utilizan para procesar envases de vidrio reutilizable, ya que estos no pueden ser compactados debido a sus características físicas, lo que limita la aplicabilidad de esta tecnología para dicho material.

Logística Inversa

La logística inversa constituye un componente clave en el funcionamiento del SDDR, ya que gestiona el transporte de los envases vacíos desde los puntos de retorno hasta los centros de recuento y clasificación. Este sistema se basa en la optimización de recursos logísticos existentes, permitiendo una operación más sostenible y eficiente.

Entre las principales características de la logística inversa destacan:

- **Aprovechamiento de rutas existentes:** Se utilizan los trayectos de retorno de los camiones que distribuyen productos a los establecimientos para recoger los envases devueltos.
- **Reducción de emisiones:** Este modelo logístico minimiza los kilómetros recorridos y el número de vehículos necesarios, contribuyendo a una significativa disminución del impacto ambiental.

En este trabajo, la logística inversa es fundamental para gestionar de manera eficiente los envases retornados, especialmente el vidrio reutilizable, asegurando la sostenibilidad operativa y reduciendo los costes del sistema.

Plantas de Recuento y Clasificación

Los centros de recuento y clasificación son instalaciones esenciales dentro del SDDR, ya que procesan los envases devueltos por los consumidores. Estas plantas garantizan la trazabilidad y el adecuado manejo de los materiales recuperados, dividiendo su labor en dos operaciones principales:

- **Conteo:** Registro y control de los envases devueltos para asegurar la trazabilidad dentro del sistema.
- **Clasificación:** Separación de materiales reciclables, como plástico y metales, de los reutilizables, como el vidrio.

En el escenario SDDR3, estas plantas juegan un papel crucial al preparar los envases de vidrio reutilizable para su transporte hacia las plantas de lavado, asegurando un flujo eficiente y continuo en el sistema.

Plantas de Lavado de Botellas

Las plantas de lavado son indispensables para la reutilización de envases de vidrio, ya que garantizan su limpieza y adecuación para nuevos ciclos de uso. Estas instalaciones realizan un proceso intensivo que consta de tres etapas:

1. Eliminación de etiquetas y adhesivos: Retirada de elementos adheridos al envase.
2. Lavado intensivo: Aplicación de soluciones químicas y agua a alta presión para garantizar la limpieza.
3. Inspección: Verificación de que los envases cumplen con los estándares de seguridad alimentaria antes de su reutilización.

En este trabajo, se asume que las plantas de lavado son operadas por los productores, pero sus costes operativos son compensados por el OCG. Esto asegura la viabilidad económica del sistema y fomenta la transición hacia modelos más sostenibles de gestión de envases.

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

3.1 REUTILIZACIÓN EN ESPAÑA HASTA MEDIADOS DEL SIGLO XX

A muchos los SDDR les resultarán familiares, pues el modelo de reutilización de envases de vidrio fue una práctica predominante en España hasta mediados del siglo XX. Los consumidores devolvían botellas de productos como leche, cervezas y refrescos a los comercios, donde eran recogidas, lavadas y rellenadas para su reutilización. Este sistema, esencialmente circular, presentaba ventajas tanto económicas como medioambientales, pero fue desplazado de manera paulatina por un modelo de envases de un solo uso debido a una combinación de factores tecnológicos, económicos, sociales y normativos.

Uno de los elementos determinantes en este cambio fue la aparición de materiales alternativos como el plástico y el aluminio, que revolucionaron la industria del envasado. Estos materiales ofrecían varias ventajas frente al vidrio: eran significativamente más ligeros, lo que reducía los costes de transporte; su producción era más económica, y además permitían fabricar envases de un solo uso. Estas características se alineaban con el modelo de consumo emergente, que priorizaba la conveniencia y la facilidad de uso. De esta forma, los envases desechables se posicionaron como una solución más práctica tanto para los consumidores como para los minoristas, que ya no necesitaban gestionar los retornos ni almacenar grandes cantidades de envases vacíos.

Paralelamente, se produjeron importantes cambios en los hábitos de consumo y en la estructura del comercio minorista. La expansión de los supermercados y grandes superficies comerciales en detrimento del comercio de proximidad transformó las dinámicas de distribución. En estos nuevos entornos, manejar envases retornables suponía un desafío logístico que no se alineaba con la búsqueda de eficiencia en los procesos. Además, el consumo fuera del hogar, en espacios como parques, playas y eventos, se incrementó notablemente, lo que fomentó aún más el uso de envases desechables que no requerían devolución.

La globalización también jugó un papel clave en este proceso. Las grandes multinacionales del sector de bebidas, como Coca-Cola o Pepsi, promovieron el uso de envases de un solo uso y estandarizados a nivel mundial. Esto no solo simplificaba su cadena de suministro, sino que también reducía los costes operativos asociados con los sistemas de retorno. Estas empresas lideraron campañas de marketing que vinculaban los envases desechables con modernidad, progreso y comodidad, influyendo significativamente en las preferencias del consumidor.

Además, los cambios en la percepción del consumidor jugaron un papel fundamental en este proceso. A través de campañas publicitarias, los envases de un solo uso se presentaron como más higiénicos y modernos. La idea de desechar un envase después de su uso ganó aceptación, en contraste con la percepción de que los envases reutilizables, a pesar de su limpieza, no ofrecían el mismo nivel de "pureza" o conveniencia.

Otro factor determinante fue la falta de incentivos normativos que respaldaran el modelo de reutilización. Durante décadas, la legislación española no estableció medidas específicas para promover los envases retornables, centrándose en su lugar en el desarrollo de sistemas de reciclaje. A partir de los años 90, con la creación de Ecoembes y Ecoverdrio, se consolidó un modelo de gestión de residuos que priorizaba el reciclaje de envases de un solo uso. Resultando en el modelo SCRAP tal y como lo conocemos hoy.

Los costes logísticos asociados con los envases retornables, como el transporte de botellas vacías y su limpieza, fueron un obstáculo importante. El vidrio es un material pesado, lo que aumentaba significativamente los costes de transporte en comparación con el plástico o el aluminio. Asimismo, la infraestructura necesaria para lavar y manejar los envases retornados suponía una inversión adicional que muchas empresas no estaban dispuestas a asumir en un contexto donde los envases desechables dominaban el mercado y su sostenibilidad no era una preocupación.

Sin embargo, el declive del vidrio reutilizable en España no implica que este modelo sea inviable. Sectores como horeca han mantenido la práctica de reutilizar botellas de vidrio, especialmente en bebidas como cervezas y refrescos, debido a su rentabilidad y beneficios

ambientales. Estudios recientes destacan que la reutilización de botellas de vidrio puede reducir las emisiones de carbono hasta en un 40% frente a las botellas de un solo uso tras apenas 2 o 3 ciclos de reutilización (Zero Waste Europe, 2021).

En el contexto actual, marcado por un interés creciente en la sostenibilidad y la economía circular, el modelo de envases reutilizables está siendo reconsiderado. Iniciativas como los SDDR que fomentan la devolución de envases por parte de los consumidores, están reabriendo el debate sobre la viabilidad del vidrio retornable en el mercado de gran consumo.

3.1.1 PRINCIPALES HALLAZGOS

- **La transición histórica hacia envases de un solo uso no responde a la inviabilidad del vidrio reutilizable, sino a factores externos**

El abandono del modelo de reutilización de envases de vidrio en España estuvo motivado principalmente por avances tecnológicos, cambios en los hábitos de consumo, la globalización del comercio y la ausencia de incentivos normativos, más que por la imposibilidad técnica o económica de mantener el sistema. Esto deja abierta la posibilidad de reintroducir este modelo en un contexto más favorable.

- **Los envases de un solo uso se consolidaron gracias a ventajas percibidas de conveniencia, pero presentan limitaciones ambientales**

Materiales como el plástico y el aluminio desplazaron al vidrio debido a su ligereza, menor coste. Además, la percepción de los consumidores como productos más modernos y la capacidad de utilizar novedosos envases para el marketing de los productos impulsaron el uso de envases de un solo uso. Sin embargo, estos envases están asociados a problemas significativos de residuos y emisiones, lo que contrasta con las ventajas ambientales del vidrio reutilizable.

- **Los cambios estructurales en el comercio y el consumo influyeron significativamente en la adopción de envases desechables**

La expansión de los supermercados y el incremento del consumo fuera del hogar hicieron que los envases desechables fueran más prácticos y compatibles con la búsqueda de eficiencia en los procesos de distribución. Sin embargo, esta misma estructura podría adaptarse a modelos reutilizables mediante tecnologías modernas y logística optimizada.

- **El SDDR es una herramienta clave para superar las barreras del vidrio reutilizable**

Problemas históricos como los costes logísticos y la infraestructura necesaria para manejar envases retornables pueden ser mitigados mediante la implementación de un SDDR que integre herramientas como la logística inversa, incentivando además la participación activa del consumidor.

3.2 REUTILIZACIÓN EN EL SECTOR HORECA

En el canal HORECA (Hostelería, Restauración y Cafeterías), el uso de envases retornables, especialmente de vidrio, constituye una tradición profundamente arraigada que, a diferencia del gran consumo, nunca ha dejado de utilizarse. Esta práctica se ha mantenido en el tiempo debido a sus ventajas económicas y ambientales, siendo una solución eficiente tanto para los productores como para los establecimientos.

El sistema de devolución de envases en el canal horeca puede considerarse un SDDR enfocado exclusivamente en envases reutilizables. En este caso, el modelo es gestionado por los propios productores, que operan de forma individual y administran sus propios parques de botellas reutilizables.

Los productores son los propietarios de las botellas reutilizables, que distribuyen llenas a los puntos de consumo y, posteriormente, recuperan a través de la logística inversa. Al realizar

las entregas de nuevos envases, los camiones recogen las botellas vacías, las cuales son devueltas a las plantas de lavado y rellenado, cerrando así el ciclo de reutilización. En los casos de exportación, especialmente en mercados europeos, los productores optan por embotellar en el país de destino para optimizar los costes logísticos y evitar el transporte innecesario de envases vacíos.

La cerveza es, sin duda, la bebida que más se beneficia de este sistema en el sector horeca. Considerando barriles y botellas, aproximadamente el 80% de los envases son reutilizables (Cerveceros España, 2023), una cifra que refleja la rentabilidad y eficiencia del modelo. Esto se debe, en gran medida, a la alta rotación del producto y a la estandarización de formatos, como el tercio y el quinto, que resultan manejables tanto para los establecimientos como para los consumidores. Además, el vidrio es percibido como un envase de mayor calidad, lo que refuerza su aceptación y la costumbre de su consumo en este tipo de envase.

Sin embargo, a pesar de sus evidentes ventajas, el uso de envases retornables en el canal horeca enfrenta nuevos desafíos en los últimos años. Uno de los más relevantes es la tendencia creciente de los productores a diversificar su catálogo con productos, como nuevas variantes de sabores, características especiales o ediciones limitadas. Este tipo de productos que suelen tener menor rotación dificulta la gestión logística y el almacenamiento en los establecimientos, que prefieren recibirlos en envases de un solo uso.

Por otro lado, los pequeños productores enfrentan dificultades adicionales para mantenerse competitivos en un sistema que favorece la reutilización. La falta de liquidez para invertir en plantas de lavado, junto con las limitaciones logísticas y la baja rotación de sus productos, hace inviable para muchos de ellos implementar un sistema de envases retornables propio. Como resultado, los pequeños productores encuentran mayores barreras para competir frente a las grandes compañías, que sí logran optimizar este modelo.

En este contexto, surge una tendencia que podría transformar el panorama de los envases retornables: la implantación de una botella de vidrio única para el sector cervecero. Esta iniciativa permitiría estandarizar los envases, facilitando su recuperación y reutilización entre distintos productores. De este modo, se optimizarían los costes logísticos y se aliviarían

las dificultades operativas tanto para los establecimientos como para los pequeños productores.

En conclusión, el uso de envases retornables en el canal horeca es una práctica muy implantada en nuestro país, particularmente en sectores con una alta rotación de productos, como la cerveza. No obstante, los desafíos actuales, como la diversificación de productos y las barreras para los pequeños productores, subrayan la necesidad de adaptaciones que mejoren la viabilidad del sistema.

3.2.1 PRINCIPALES HALLAZGOS

- **El canal HORECA demuestra la efectividad del vidrio retornable como modelo sostenible y rentable**

El uso de envases retornables de vidrio en horeca se ha mantenido como una práctica habitual debido a su eficiencia económica y ambiental. El sistema evidencia que la reutilización puede ser altamente viable cuando se combinan factores como estandarización de formatos y aceptación del consumidor.

- **La alta rotación y la percepción del vidrio como material premium favorecen su uso en bebidas como la cerveza**

En el sector cervecero, el vidrio retornable se utiliza en aproximadamente el 80% de los envases, destacándose por su facilidad de manejo, estandarización y percepción de calidad. Estos factores refuerzan su aceptación tanto por parte de los establecimientos como de los consumidores, consolidándolo como el material preferido para este tipo de productos.

- **La diversificación de productos complica su implementación**

La creciente diversificación del catálogo de productos, con variantes de baja rotación y ediciones limitadas, dificulta la logística y el almacenamiento, incentivando el uso de envases de un solo uso para estos casos.

- **Preferencia por la implantación de un modelo de SDDR colectivo**

Un modelo de SDDR operado por un organismo central permitiría distribuir los costes del sistema de manera equitativa, favoreciendo la inclusión de pequeños productores que actualmente enfrentan barreras económicas y logísticas.

- **La estandarización de envases podría transformar el modelo**

La introducción de una botella de vidrio única en el sector cervecero ofrecería una solución eficiente para reducir costes logísticos, mejorar la recuperación de envases y facilitar la participación de pequeños productores en un sistema compartido.

3.3 SDDRS EUROPEOS

El SDDR es una herramienta clave dentro de la aplicación del RAP que, hasta la fecha, no ha sido implantada en España, a pesar de los resultados positivos obtenidos en los países donde ya se encuentra operativo. En 2023, un total de 15 países europeos habían implementado un SDDR para envases de bebida, alcanzando una cobertura de 164 millones de personas (AiRef, 2023). Además, durante 2024, 3 países más implantaron un sistema SDDR, Hungría, Irlanda y Groenlandia (Reloop, 2024). También, varios países han anunciado planes para incorporar este sistema en los próximos años, mientras que otros, como España, están en pleno debate sobre su posible adopción.

País	Incluye Botellas Reutilizables	Materiales Aceptados	Volúmenes Aceptados	Depósito (€)	Tasa de Retorno Total (%)
Austria	Sí	Plástico, metal	0.1L - 3L	0.25	N/A
Croacia	Sí	Plástico, vidrio, metal	> 0.2L	0.07	79%
Dinamarca	Sí	Plástico, vidrio, metal	< 20L	0.13 - 0.40	92%
Estonia	Sí	Plástico, vidrio, metal	0.1L - 3L	0.10	89%
Finlandia	Sí	Plástico, vidrio, metal	0.1L - 3L	0.10 - 0.40	97%
Alemania	Sí	Plástico, vidrio, metal	0.1L - 3L	0.25	98%
Groenlandia	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Hungría	Sí	Plástico, vidrio, metal	0.1L - 3L	0.13	N/A
Islandia	No	Plástico, vidrio, metal	0.1L - 3L	0.13	89%
Letonia	Sí	Plástico, vidrio, metal	0.1L - 3L	0.10	78%
Lituania	Sí	Plástico, vidrio, metal	0.1L - 3L	0.10	92%
Malta	Sí	Plástico, vidrio, metal	0.1L - 3L	0.10	80%
Países Bajos	No	Plástico, metal	< 3L	0.15 - 0.25	68%
Noruega	Sí	Plástico, metal	0.125L - 4.9L	0.17 - 0.25	92%
Irlanda	No	Plástico, metal	0.15L - 3L	0.15	N/A
Rumanía	No	Plástico, vidrio, metal	0.1L - 3L	0.10	52%
Eslovaquia	Sí	Plástico, metal	0.1L - 3L	0.15	92%
Suecia	Sí	Plástico, metal	0.1L - 3L	0.09 - 0.18	89%

Tabla 1. Características SDDR implantados en España

Fuente: Reloop (2024)

Como se observa en la tabla 1, los plásticos y metales (latas) están presentes en todos los SDDR, mientras que el vidrio no se incluye en la totalidad de ellos. Además, la mayoría de los SDDR implementados en Europa incluyen algún tipo de mecanismo de reutilización. En muchos casos, este proceso se lleva a cabo mediante envases de vidrio reutilizables, reconocidos por su resistencia y durabilidad, lo que los convierte en una opción eficiente y sostenible dentro de la economía circular. A continuación, se analizan en detalle algunos de los países europeos que destacan por la integración de sistemas de SDDR con envases reutilizables.

3.3.1 ALEMANIA

En Alemania, el SDDR es gestionado por la Deutsche Pfandsystem GmbH (DPG), una organización sin ánimo de lucro establecida en 2005. Esta entidad, cuyo accionariado se reparte equitativamente entre la Federación Alemana de Minoristas y la Federación Alemana de Industrias de Alimentos y Bebidas, tiene como principal objetivo proporcionar un marco

jurídico y organizativo que permita la gestión y compensación de los depósitos entre las empresas participantes. Este modelo se apoya en una serie de normas que regulan el etiquetado y la certificación de los envases sujetos a depósito obligatorio, optimizando así su devolución a través de máquinas automáticas (RVM) o sistemas manuales (DPG, 2023).

El uso de envases reutilizables, especialmente botellas de vidrio, ha sido un componente central del sistema alemán desde mucho antes de la creación de la DPG. La Ordenanza de Envases (Verpackungsverordnung) de 1991 marcó un punto de inflexión al establecer metas ambiciosas para fomentar la reutilización como una medida clave para reducir residuos y promover la sostenibilidad. Esta normativa exigía que al menos el 70% de las bebidas fueran comercializadas en envases reutilizables (UBA, 2023), lo que representó una respuesta directa a la creciente preocupación pública y política por el impacto ambiental de los envases desechables. Las botellas reutilizables, con la capacidad de rellenarse hasta 50 veces antes de ser recicladas (Reloop, 2024).

La inclusión de envases reutilizables no solo respondió a estas preocupaciones ambientales, sino que también buscó fortalecer la economía circular. Al diseñar un sistema que incentivaba el retorno de los envases mediante depósitos, se garantizó un flujo continuo de materiales en el sistema, reduciendo la dependencia de nuevos recursos y las emisiones de CO₂ asociadas a la producción de nuevos envases. Este enfoque quedó consolidado con la creación de la DPG, que se encargó de estandarizar los procedimientos y facilitar la gestión de los depósitos entre productores, importadores y minoristas.

El sistema cuenta con una estructura compleja en la que participan diversos agentes. Los Refund Claimant Service Providers representan a los minoristas para reclamar la devolución de depósitos, mientras que los Deposit Account Service Providers gestionan las cuentas de los productores o importadores. Los minoristas tienen un papel destacado, ya que están obligados a recoger los envases de un solo uso devueltos y reembolsar al consumidor el depósito de 0,25 € por envase (DPG, 2023). Además, a diferencia de otros países, en Alemania los minoristas son propietarios de los materiales recuperados, lo que les permite venderlos y compensar parte de los costes asociados al sistema.

El impacto de los envases reutilizables en el sistema alemán ha sido muy destacable. Ha permitido mantener tasas de retorno del 98%, una de las más altas de Europa (Reloop, 2024), mientras se reducen los residuos y se promueve la eficiencia en el uso de recursos. El modelo también se destaca por combinar sostenibilidad ambiental con beneficios económicos, ya que la reutilización de botellas disminuye los costes a largo plazo al tiempo que refuerza el compromiso del país con la economía circular.

3.3.2 DINAMARCA

En Dinamarca, el SDDR es gestionado por Dansk Retursystem, una organización sin ánimo de lucro fundada en 2002 que opera bajo la supervisión del Ministerio de Medio Ambiente. Propiedad de productores y minoristas, esta entidad asegura la colaboración de todos los actores del sistema, administrando tanto envases de un solo uso como reutilizables de manera eficiente (Dansk Retursystem, 2023).

El uso de envases reutilizables, especialmente botellas de vidrio, es un elemento central del sistema danés desde la década de 1970. Aunque no existe un porcentaje obligatorio de reutilización, el diseño del SDDR y su infraestructura promueven ampliamente su uso, particularmente en bebidas como cerveza y agua. Estas botellas, que pueden rellenarse hasta 30 veces antes de ser recicladas, contribuyendo a reducir residuos y la demanda de nuevos recursos (Reloop, 2024).

El sistema funciona a través de máquinas automáticas de devolución (RVM), ubicadas en supermercados y puntos de venta, donde los consumidores retornan los envases y reciben un depósito que varía entre 0,13 € y 0,40 €, según el tipo y tamaño del envase. Los envases recogidos son transportados a centros de clasificación y limpieza operados por Dansk Retursystem, que garantiza su redistribución a los productores. Este enfoque eficiente está respaldado por envases estandarizados diseñados por los productores y la colaboración de los minoristas en el transporte y las devoluciones iniciales (Dansk Retursystem, 2023).

El impacto del SDDR danés es notable, con una tasa de retorno del 92%, reflejo de su eficacia en la recuperación de materiales y la reducción de residuos (Reloop, 2024).

3.3.3 FINLANDIA

En Finlandia, el SDDR es operado por Palpa, una organización sin ánimo de lucro propiedad conjunta de la industria productora de bebidas y de los minoristas, con una participación del 50% cada uno. Este modelo, similar al de Alemania, destaca por subcontratar todas las actividades relacionadas con la recogida y el tratamiento de envases a una red de empresas externas, actuando Palpa únicamente como una oficina administrativa sin poseer activos operativos propios (Palpa, 2023).

En el sistema finlandés, es fundamental adaptar ciertas operaciones debido a la baja densidad poblacional del país, lo que hace del transporte un coste significativo. Para optimizar recursos, el material recolectado se compacta y clasifica lo antes posible, generalmente en el propio punto de recogida mediante máquinas automáticas (RVM). Los transportistas, que son remunerados por Palpa, recogen los envases de los minoristas y los entregan a plantas de depósito y conteo. Desde estas instalaciones, los materiales son enviados a recicladores que pagan a Palpa por los materiales recuperados para su reciclaje.

Una característica distintiva del sistema finlandés es la gestión de los envases reutilizables a través de un operador de depósito adicional llamado Ekopullo, que también administra las unidades de transporte reutilizables, como bandejas de plástico y palés. En el caso de las botellas de vidrio reutilizables, Ekopullo opera exclusivamente dentro de Finlandia, sin importar envases reutilizables desde otros países. Los miembros de Ekopullo poseen las botellas y las unidades de transporte que utilizan, mientras que Ekopullo asegura que el stock sea suficiente y se encarga de gestionar las reposiciones y compras necesarias (Ekopullo, 2023).

Los consumidores pueden devolver las botellas de vidrio reutilizables en las RVM, y las cajas de plástico utilizadas para su transporte se retornan directamente en las tiendas que venden dichas botellas. Además, todos los puntos de venta que comercializan envases sujetos al SDDR tienen la obligación de aceptar los envases vacíos devueltos, salvo en casos en los que el volumen de retornos sea desproporcionadamente alto en relación con el tamaño del establecimiento, según lo estipulado por la ley finlandesa.

3.3.4 SUECIA

En Suecia, el Sistema de Depósito, Devolución y Retorno (SDDR) es gestionado por Returpack, una organización sin ánimo de lucro que administra la recuperación y reciclaje de envases de plástico y metal de un solo uso, así como de botellas de vidrio reutilizables. Este modelo combina el reciclaje con la reutilización, permitiendo un enfoque eficiente y sostenible que reduce el impacto ambiental y promueve la economía circular. Los consumidores pueden devolver los envases en máquinas automáticas de devolución (RVM) ubicadas en supermercados y otros puntos de venta, recibiendo un depósito que varía entre 0,09 € y 0,18 €, dependiendo del tamaño y material del envase.

Una vez recogidos, los envases de plástico y metal son enviados a plantas de reciclaje, mientras que las botellas de vidrio reutilizables se transportan a centros de lavado para su limpieza y posterior redistribución a los productores, quienes las rellenan para su reutilización. Estas botellas tienen la capacidad de ser utilizadas hasta 40 veces, lo que las convierte en una solución altamente eficiente para reducir la generación de residuos y la necesidad de fabricar nuevos envases. Este enfoque es posible gracias al diseño estandarizado de los envases, que facilita su manejo logístico y optimiza los costes asociados a su transporte y limpieza.

El éxito del sistema sueco radica en la colaboración entre productores, minoristas y consumidores. Los productores son responsables de utilizar envases diseñados para integrarse en el flujo del sistema, mientras que los minoristas ofrecen los puntos de devolución e infraestructura necesaria para el retorno de los envases. Los consumidores, incentivados por el sistema de depósito, participan activamente devolviendo los envases, contribuyendo así al ciclo de reutilización y reciclaje.

3.3.5 HALLAZGOS PRINCIPALES

- **El SDDR es una herramienta eficaz para la gestión de residuos y la promoción de la economía circular**

La implementación del SDDR en 15 países europeos ha demostrado su efectividad para alcanzar altas tasas de retorno, con niveles superiores al 90% en envases como vidrio, PET y latas. Este modelo no solo reduce los residuos en vertederos, sino que también mejora la calidad de los materiales recuperados, facilitando su reciclaje en circuitos cerrados y reduciendo la dependencia de materias primas vírgenes.

- **El vidrio reutilizable como elemento clave en los SDDR europeos**

Aunque no todos los SDDR incluyen envases de vidrio reutilizables, los países que han integrado este material, como Alemania, Dinamarca, Finlandia y Suecia, han demostrado su viabilidad y sostenibilidad. Estos sistemas han logrado combinar la reutilización con beneficios económicos y ambientales, alcanzando tasas de retorno superiores al 90% y reduciendo significativamente las emisiones asociadas a la producción de nuevos envases.

- **Éxito de modelos organizativos adaptados a las particularidades de cada país**

Los SDDR exitosos en Europa han desarrollado estructuras organizativas adaptadas a sus contextos específicos. Ejemplos como Alemania, con su estandarización de envases y su modelo altamente estructurado, o Finlandia, que optimiza los recursos en áreas de baja densidad poblacional, muestran cómo la flexibilidad operativa puede maximizar la eficiencia y la participación de todos los actores del sistema.

3.4 ESTUDIO DE VIABILIDAD TRAGSATEC

En el contexto de la creciente necesidad de modelos sostenibles para la gestión de envases en España, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD) encargó un estudio exhaustivo titulado "*Estudio de viabilidad de la implantación de un Sistema de Depósito, Devolución y Retorno (SDDR) en España*". Este trabajo fue llevado a cabo por la empresa pública Tragsatec, especializada en proyectos medioambientales, con la colaboración de la consultora ENT, reconocida por su experiencia en análisis de sistemas de residuos y economía circular.

El objetivo principal del estudio era evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de implementar un sistema SDDR en España que abarcara distintos tipos de envases de bebidas, siguiendo modelos ya aplicados en otros países europeos. Este análisis, basado en datos empíricos y modelos logísticos, se ha convertido en una referencia clave para entender las implicaciones prácticas y regulatorias de adoptar un SDDR en nuestro país.

3.4.1 VIABILIDAD TÉCNICA

El estudio tiene como objetivo evaluar la viabilidad técnica de implantar un SDDR en España para envases de bebidas de un solo uso, sujetos al RAP y con capacidad inferior a 3 litros. Es importante destacar que de esta forma el alcance del estudio excluye el potencial del uso de envases reutilizables. De este modo, se plantean tres escenarios posibles: el sistema actual SCRAP y dos propuestas de SDDR que, en caso de implementarse, no sustituirían al SCRAP, sino que operarían como un complemento al sistema existente. El modelo denominado SDDR1 incluye envases de bebida de plástico (PET y PEAD), briks, latas (acero y aluminio) y vidrio para productos como agua, cerveza, refrescos y zumos. Por su parte, el SDDR2 se limita a envases de bebida de plástico y latas para los mismos tipos de productos.

El análisis del estudio cuantifica los residuos generados en distintos niveles. En primer lugar, aborda los residuos de envases en general, posteriormente los relacionados específicamente con bebidas, y finalmente aquellos envases de bebidas que podrían gestionarse bajo los

A continuación, se realiza una cuantificación detallada de los envases y residuos generados en España durante el año 2018. Este proceso utiliza datos aportados por los Sistemas Colectivos de Responsabilidad Ampliada del Productor, como Ecoembes y Ecovidrio, con el fin de identificar la subfracción de envases de bebidas que podrían ser incorporados al SDDR. Esto permite dimensionar con precisión el volumen de residuos implicados y evaluar el sistema.

El estudio también explora las distintas posibilidades en cuanto a los modelos de depósito que podrían aplicarse. Entre las alternativas analizadas se encuentran opciones de importes únicos y otros que varían en función del tamaño o material del envase. El estudio determina la implantación de un depósito único de 10 céntimos por envase, que, según el informe de Fletcher et al. (2012), se correspondería con una tasa de devolución del 86,46%. “Este importe es suficientemente elevado para alcanzar un buen nivel de retorno de envases, y a su vez, al tratarse de un depósito único, simplificará el funcionamiento del SDDR” (Tragsatec, 2021, p. 122)

En cuanto a los aspectos técnicos, se abordan cuestiones esenciales para el funcionamiento del SDDR. Esto incluye el diseño del sistema de etiquetado y marcado de los envases que se adhieran al programa, los métodos de devolución disponibles (manuales o automatizados), la logística necesaria para el manejo y transporte de los envases, así como las estrategias para prevenir el fraude y garantizar la transparencia en las operaciones.

También se estima con detalle la infraestructura necesaria para gestionar los flujos de envases de manera eficiente. Esto incluye calcular cuántas máquinas automáticas de recogida se necesitarían, teniendo en cuenta el tipo de establecimiento, el espacio disponible y la capacidad operativa de cada una. Además, se analiza la logística requerida para el almacenamiento y transporte, determinando la cantidad de camiones y operarios necesarios. Por último, se proyecta el número de centros de recuento y clasificación, que realizan el seguimiento del flujo de envases, necesario por cada comunidad autónoma.

3.4.2 VIABILIDAD ECONÓMICA

Partiendo del dimensionamiento del sistema realizado en el apartado anterior, se analiza a continuación su viabilidad económica. El método de valoración económica aplicado se basa en la construcción de un presupuesto que considera los diferentes flujos económicos involucrados en la operativa del Sistema de Depósito, Devolución y Retorno. Estos flujos, identificados y analizados en el estudio de viabilidad técnica, se clasifican en ingresos y costes netos del sistema. En la imagen inferior se muestra el esquema de flujos, donde el verde representa ingresos netos y el rojo, costes asociados.

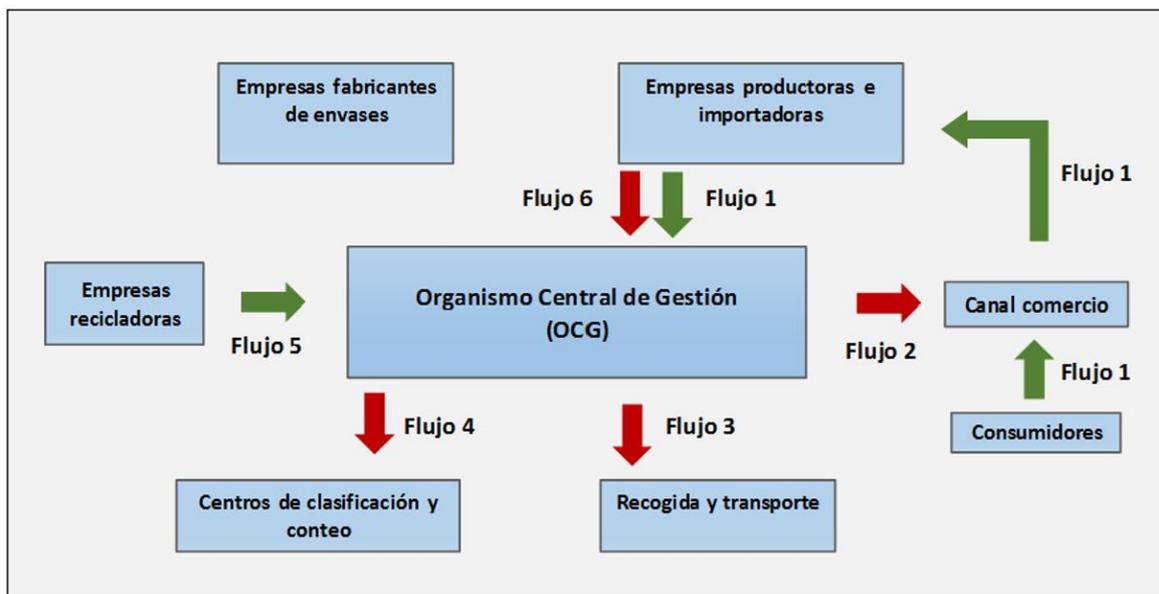


Figura 4. Esquema de los flujos económicos

Fuente: Tragsatec (2021)

El Flujo 1 corresponde a los ingresos del Organismo Central de Gestión (OCG) derivados de los depósitos de los envases que no son retornados por los consumidores. Este ingreso se genera cuando una parte de los consumidores no devuelve el envase tras su consumo, de modo que el depósito pagado inicialmente no se les reembolsa.

El Flujo 2 representa las compensaciones económicas destinadas a los comercios por los costes asociados a la manipulación de los envases y la gestión operativa del SDDR en sus

establecimientos. Esto incluye actividades como el almacenamiento y la devolución de los envases.

El Flujo 3 abarca los costes relacionados con la recogida de los envases devueltos por los consumidores en los comercios y su transporte a los centros de recuento y clasificación. Para ello, Tragsatec diseña íntegramente un modelo económico de transporte predictivo.

El Flujo 4 contempla los costes asociados a los centros de recuento y clasificación. En estas instalaciones, los envases retornados son procesados para su posterior reciclaje o reutilización.

El Flujo 5 representa los ingresos generados por la venta de los materiales de los envases retornados a empresas recicladoras. Estas empresas pagan un importe al OCG por adquirir los materiales recuperados del sistema.

Finalmente, el Flujo 6 garantiza que el balance económico global del sistema sea nulo. Este flujo actúa como un ajuste para equilibrar los ingresos y los costes derivados de los flujos anteriores.

En el estudio, para los costes asociados a la fase de comercio y transporte, dado que cada escenario presenta características complejas, se opta por una simplificación para facilitar su evaluación. Para ello, se desarrollan cuatro modelos de costes base, los cuales combinan dos variables principales:

1. Modalidad de aceptación de envases en los establecimientos:
 - Automática: Utilizando máquinas de devolución automatizada (RVM), que implican una mayor inversión inicial, pero facilitan la eficiencia en el proceso.
 - Manual: Los envases son aceptados y procesados directamente por el personal del establecimiento, lo que puede implicar menores costes de equipamiento pero mayores necesidades operativas.
2. Modalidad de transporte a las plantas de recuento y clasificación:

- Recogida directa: Los envases son recogidos directamente desde los establecimientos y transportados a las plantas, generalmente más costoso debido a la necesidad de rutas específicas.
- Logística inversa: Los envases se trasladan en los vehículos de reparto que ya operan en la cadena de suministro, optimizando los trayectos y reduciendo los costes de transporte.

Los resultados obtenidos se presentan en las tablas inferiores, donde el balance indica la cantidad que los productores deberían aportar anualmente para mantener el sistema en un estado neutral desde el punto de vista financiero. Estos resultados reflejan que la implementación de un SDDR supone un sistema con elevados costes operativos, cuya viabilidad depende en gran medida del apoyo de los agentes regulatorios, quienes deben priorizar la transición hacia un modelo más sostenible.

Un aspecto destacable es que, en ambos escenarios, el subescenario B, caracterizado por un nivel medio de automatización, resulta ser el más costoso. Esto se debe a que dicho nivel implica una inversión significativa en maquinaria para la automatización, sin que esta disminuya de manera proporcional los costes de manipulación de los envases, lo que incrementa los gastos generales del sistema.

Por otro lado, el escenario SDDR1, que incluye envases de vidrio y briks, presenta costes considerablemente más altos, con un incremento del 10-20% en comparación con los otros escenarios, dependiendo del subescenario considerado. Este aumento de costes sugiere que la adopción del SDDR1 solo estaría justificada si se logra demostrar una mejora sustancial en la sostenibilidad del sector, de modo que compense las diferencias económicas respecto a otras configuraciones del sistema.

BALANCE ECONÓMICO DEL SISTEMA				
Escenario 1				
Concepto	Sub-escenario A	Sub-escenario B	Sub-escenario C	Unidad
Ingresos				
Ingresos por venta de material	114.729.145	114.729.145	114.729.145	€/año
Ingresos por depósitos no reclamados	248.414.300	248.414.300	248.414.300	€/año
Total ingresos	363.143.445	363.143.445	363.143.445	€/año
Costes				
Costes de gestión/manipulación	714.428.423	824.937.393	783.533.859	€/año
Coste de transporte	139.150.070	124.833.748	104.178.749	€/año
Coste de centros de recuento y clasificación	32.123.778	31.197.665	29.362.704	€/año
Total costes	885.702.270	980.968.806	917.075.313	€/año
Balance				
Balance	522.558.825	617.825.361	553.931.868	€/año

Tabla 2. Balance económico del escenario 1

Fuente: Tragsatec (2021)

BALANCE ECONÓMICO DEL SISTEMA				
Escenario 2				
Concepto	Sub-escenario A	Sub-escenario B	Sub-escenario C	Unidad
Ingresos				
Ingresos por venta de material	104.041.717	104.041.717	104.041.717	€/año
Ingresos por depósitos no reclamados	192.088.400	192.088.400	192.088.400	€/año
Total ingresos	296.130.117	296.130.117	296.130.117	€/año
Costes				
Costes de gestión/manipulación	612.612.807	718.276.662	693.795.876	€/año
Coste de transporte	95.431.505	85.110.487	69.497.119	€/año
Coste de centros de recuento y clasificación	29.005.405	28.143.886	26.468.922	€/año
Total costes	737.049.717	831.531.035	789.761.917	€/año
Balance				
Balance	440.919.600	535.400.918	493.631.800	€/año

Tabla 3. Balance económico del escenario 2

Fuente: Tragsatec (2021)

Debido a la coexistencia de ambos sistemas, resulta crucial evaluar la "canibalización" de los ingresos del SCRAP. Es decir, medir cómo la entrada en funcionamiento del SDDR afecta a la economía del sistema actual. En la imagen inferior se presentan los resultados

obtenidos en el estudio de Tragsatec, los cuales reflejan que el SDDR1 genera un mayor balance negativo, dado que abarca un mayor número de envases que actualmente son gestionados por el SCRAP.

Sin embargo, es relevante considerar que una parte importante de los ingresos de Ecoembes y Ecovidrio, un 88% y 75% respectivamente, proviene de las contribuciones de los productores por la gestión de los envases que introducen en el mercado a través del sistema de Punto Verde. Este hecho implica que, aunque el SDDR reduzca esos ingresos debido a la menor cantidad de envases gestionados por el SCRAP, dicha reducción sirve para compensar parcialmente los pagos adicionales que los productores deberán realizar para financiar el funcionamiento del SDDR mostrados previamente.

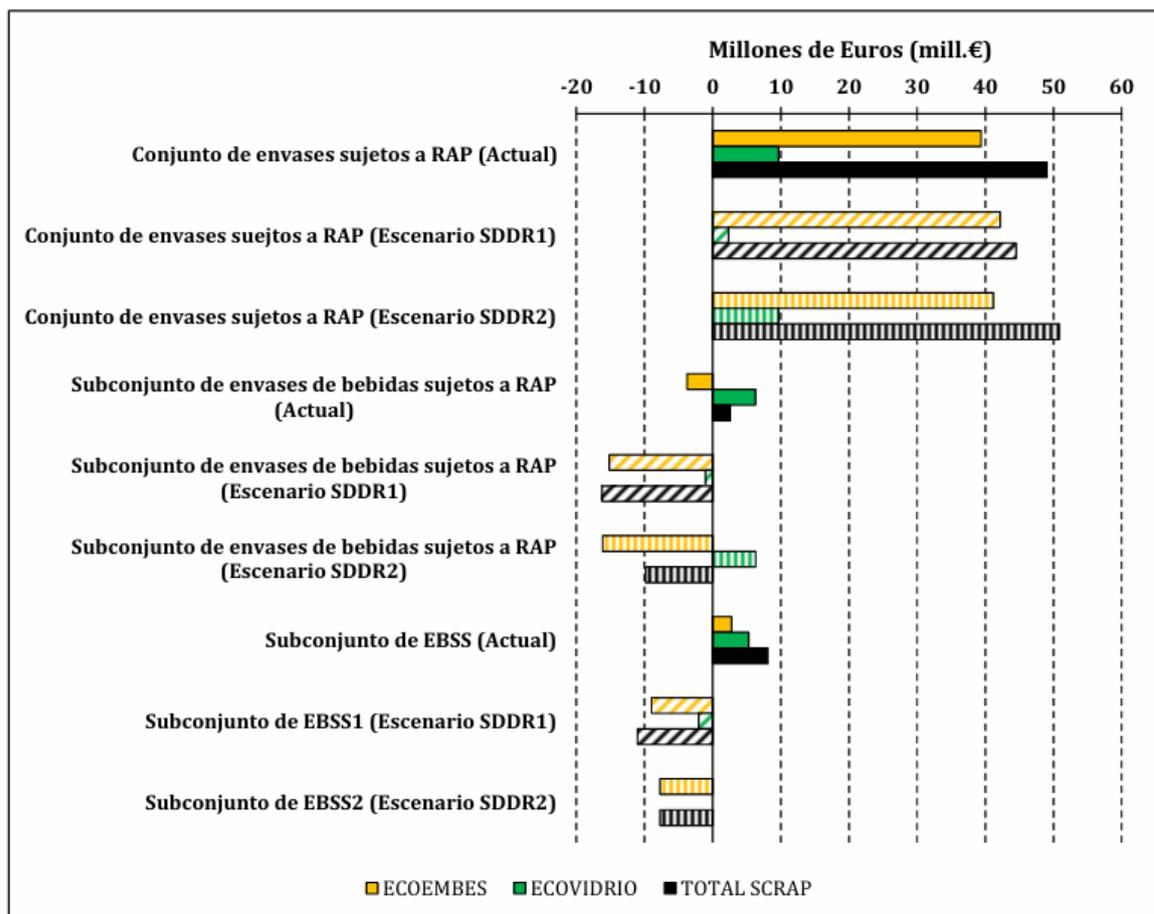


Tabla 4. Impacto de la implantación del SDDR sobre los SCRAP según el escenario

Fuente: Tragsatec (2021)

3.4.3 VIABILIDAD AMBIENTAL

En el estudio se realiza una comparación entre los escenarios propuestos considerando diversos aspectos clave relacionados con la gestión de los envases. En primer lugar, se analizan parámetros como la recogida separada, la recuperación de materiales y la incidencia del *littering*. Además, se abordan de manera cualitativa otros factores relevantes, como los efectos que los distintos escenarios tendrían sobre la reutilización de los envases, la calidad del material recuperado, el impacto en la reducción del *littering* y las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Este enfoque integral permite evaluar el impacto sostenible del sistema.

El estudio permite evaluar si la implantación del SDDR estudiado en España generaría beneficios ambientales en términos de cambio climático en comparación con el sistema actual. Además, analiza si sería ambientalmente favorable incluir envases de vidrio y briks en el SDDR, así como el impacto del grado de automatización en la recepción de los envases retornados. Para ello, se estima la huella de carbono de sus distintos escenarios.

El estudio considera los flujos de envases generados en los ámbitos domiciliario, horeca y privado, y analiza todas las etapas de gestión, desde el momento en que los envases son depositados en los contenedores o puntos de venta hasta que son reciclados, incinerados o depositados en vertederos. Estas etapas incluyen tanto el reprocesado de materiales recuperados, como las emisiones evitadas al sustituir materiales vírgenes y las derivadas de la valorización energética.

En el escenario SCRAP, todos los residuos de envases son gestionados a través de las etapas habituales del sistema actual, mientras que en los escenarios SDDR, parte de los envases son gestionados a través de las actividades específicas del sistema SDDR, aunque otra parte continúa siendo tratada mediante las etapas del SCRAP, incluyendo envases no retornados o no sujetos al SDDR.

Cabe destacar que el análisis excluye los impactos asociados a la fabricación, construcción, desmantelamiento y gestión de equipos, infraestructuras, máquinas, camiones, y otros

elementos físicos del sistema, al considerarlos despreciables en comparación con los impactos asociados a la gestión de residuos de envases. También se omiten los impactos del consumo de bolsas para la separación en origen y el transporte de residuos desde los hogares o puntos de generación hasta los puntos de recogida.

Los resultados sobre la variación de la huella de carbono respecto el sistema actual en función del escenario se detalla en la tabla siguiente:

	Huella de Carbono toneladas CO ₂ eq	Variación huella de Carbono respecto SCRAP	
		(SDDR-SCRAP) toneladas CO ₂ eq	(SDDR-SCRAP)/SCRAP %
SCRAP	-1.174.376		
SDDR 1a	-1.757.659	-583.283	49,67 %
SDDR 1b	-1.759.524	-585.148	49,83 %
SDDR 1c	-1.761.554	-587.177	50,00 %
SDDR 2a	-1.723.045	-548.669	46,72 %
SDDR 2b	-1.724.128	-549.752	46,81 %
SDDR 2c	-1.726.116	-551.739	46,98 %

Tabla 5. Huella de carbono por escenario propuesto

Fuente: Tragsatec (2021)

Los resultados revelan que el impacto ambiental mejora de forma poco significativa en los escenarios con un mayor nivel de automatización. Por otro lado, la inclusión de envases de vidrio y briks en el SDDR ofrecería una mejora ambiental en comparación con el sistema actual SCRAP, aunque esta mejora sería inferior al 10% en relación a un SDDR que gestione únicamente envases de plástico y latas.

3.4.4 CONCLUSIONES

Según el *Estudio de viabilidad de la implantación de un Sistema de Depósito, Devolución y Retorno (SDDR) en España* realizado para el MITERD, se pueden extraer varias conclusiones relevantes. El escenario SDDR que optimiza mejor la relación entre costes y reducción del impacto ambiental es el SDDR 2a, caracterizado por un nivel mínimo de automatización y limitado a la gestión de envases de plástico y latas.

En relación con los niveles de automatización, los resultados indican que es más eficiente evitar configuraciones intermedias. Los subescenarios “a” (mínima automatización) y “c” (máxima automatización) resultan más equilibrados, tanto en términos operativos como económicos. Sin embargo, aunque un sistema altamente automatizado es capaz de gestionar un mayor volumen de envases, su mayor coste no se compensa de manera significativa con la reducción adicional de la huella de carbono, lo que lo hace menos atractivo desde el punto de vista económico.

Por otro lado, el SDDR 1, que incluye vidrio y briks además de plástico y latas, implica un incremento considerable en los costes del sistema. Esto se debe principalmente al mayor coste de transporte asociado al peso del vidrio. Si bien este escenario logra una mayor reducción de la huella de carbono en comparación con el sistema actual SCRAP, la mejora porcentual en términos ambientales es inferior al aumento porcentual de los costes. Esto se explica en parte porque el vidrio ya presenta una alta tasa de reciclaje en el sistema actual, lo que limita el impacto adicional de incluirlo en el SDDR.

En consecuencia, podría argumentarse que el SDDR 2a, con un enfoque más simple y eficiente, representa la opción más viable. Ofreciendo un equilibrio adecuado entre la reducción del impacto ambiental y la contención de los costes operativos del sistema.

Capítulo 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

4.1 JUSTIFICACIÓN

A la luz de las experiencias previas en España, el uso de envases reutilizables en el sector horeca y las lecciones aprendidas de otros sistemas europeos, se puede concluir que el uso de envases reutilizables no solo tiene un impacto positivo en el medio ambiente, sino que también resulta más rentable en comparación con otras alternativas.

Hasta ahora, la falta de concentración en la recogida de envases en los hogares, donde realmente se produce el consumo, ha dificultado la implementación de un modelo similar al de horeca para los envases de gran consumo. Sin embargo, la posible implantación de un SDDR cambia este escenario, ya que los consumidores también jugarían un papel activo al devolver los envases en los puntos de venta.

El modelo de referencia propuesto por el MITERD para la implementación de un SDDR en España no contempla la posibilidad de modificar el modelo actual de envases de un solo uso. Por ello, resulta especialmente relevante realizar una adaptación de este modelo, incorporando los envases de vidrio reutilizables, y evaluar cómo esta modificación puede facilitar la implementación efectiva de un SDDR en el país.

4.2 OBJETIVOS

- 1. Evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de incluir vidrio retornable en el SDDR**

Analizar el impacto que tendría la introducción del vidrio retornable en el funcionamiento y los resultados del SDDR. Examinar si las posibles mejoras en

sostenibilidad estarían respaldadas por una rentabilidad económica que al menos se mantenga neutra.

2. Entender el papel futuro del vidrio en la industria de los envases

Estudiar si el vidrio debiera imponerse como único material para el envasado debido a su gran capacidad para ser reutilizado, o respetar un sistema mixto de reciclaje y reutilización en función del material.

3. Realizar un análisis de sensibilidad del sistema

Explorar cómo cambios en las hipótesis iniciales podrían influir en el desarrollo y desempeño del SDDR. Ejemplos de escenarios a considerar incluyen: variaciones en la cuantía del depósito de los envases, el impacto de un mayor o menor uso de retornable en el sector alimentario, o los efectos derivados de incorporar camiones eléctricos en la logística de transporte.

4.3 METODOLOGÍA

Análisis Comparativo entre Operadores de Sistemas de Retorno: Este análisis examinará los sistemas SDDR en países como Alemania, Suecia y los Países Bajos, donde se gestionan la logística y el tratamiento de envases de vidrio reutilizables, así como la logística del sector horeca para sacar conclusiones para nuestro proyecto.

Evaluación de la Viabilidad: Basándose en el estudio del MITERD y su base de datos, se adaptará su metodología para evaluar el impacto de un sistema que incorpore envases de vidrio retornable desde tres perspectivas clave:

- **Viabilidad técnica:** Analizar cómo el incremento en el volumen de envases retornables afectaría la infraestructura requerida, incluyendo la capacidad de las plantas de lavado y los puntos de recogida, así como el diseño de nuevas rutas.

- **Viabilidad económica:** Examinar las repercusiones económicas de incorporar el vidrio retornable, tanto en términos de costes iniciales como de beneficios a largo plazo para el sistema y los agentes involucrados.
- **Viabilidad ambiental:** Evaluar el impacto sostenible del modelo, considerando aspectos como la reducción de emisiones de carbono y el ahorro de recursos.

Análisis de sensibilidad: Modificar hipótesis y datos de entrada en el modelo, para entender como impactaría en los resultados del sistema.

Capítulo 5. ESTUDIO DE LA VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL

5.1 OBJETO Y PREMISAS DEL ESTUDIO

En este apartado, se ampliará el “*Estudio sobre la viabilidad técnica y ambiental de la implantación de un Sistema de Depósito, Devolución y Retorno (SDDR) en España*”, elaborado para el MITERD, desarrollando un tercer escenario (SDDR3) con el objetivo de evaluar la viabilidad e interés del uso de envases de vidrio reutilizables en el marco de un SDDR.

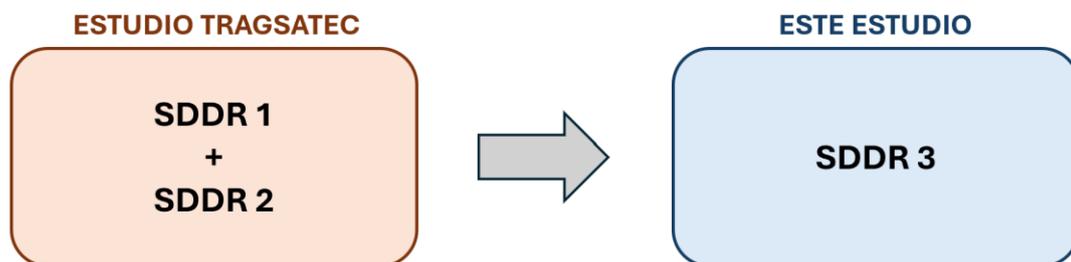


Figura 5. Desarrollo tercer escenario SDDR 3

Fuente: Elaboración propia

El planteamiento busca mejorar las tasas de recuperación de plástico y metales, necesario para cumplir sus objetivos de reciclaje, mientras se aprovecha este sistema para analizar el impacto de transformar los envases de vidrio en reutilizables. Este enfoque permite combinar una gestión eficiente de envases de un solo uso con el potencial de generar beneficios ambientales y económicos al introducir envases de vidrio reutilizables.

Para llevar a cabo este análisis, se toma como base el SDDR2, estudiado previamente por Tragsatec, que contempla la gestión de envases de plástico y metales. El enfoque de este trabajo consiste en evaluar específicamente las diferencias que introduce la incorporación del vidrio reutilizable en el sistema, integrando estos resultados con el impacto del SDDR2.

De este modo, se obtiene una visión completa del escenario SDDR3, que combina envases de vidrio reutilizables con plástico y metales de un solo uso.

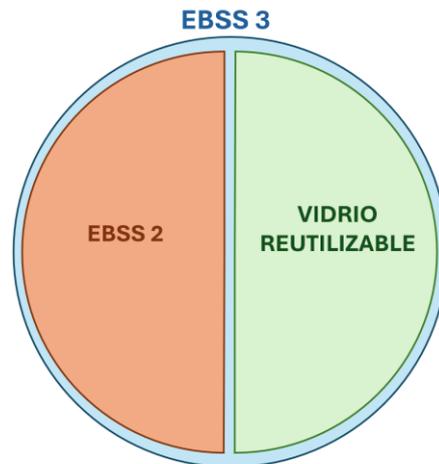


Figura 6. Descripción gráfica de los envases sujetos al SDDR3

Fuente: Elaboración propia

En este análisis, se asume que el 100% de los envases de vidrio actualmente de un solo uso en el sistema SDDR podrían transformarse en reutilizables. Este cambio no solo requiere evaluar los beneficios ambientales y económicos, sino también las implicaciones logísticas y operativas asociadas al mayor peso, los ciclos de vida y los costes de mantenimiento de los envases de vidrio reutilizables.

El estudio original de Tragsatec plantea tres subescenarios con distintos niveles de automatización. Para simplificar este análisis, el trabajo se centra únicamente en el subescenario "a", que destaca por ofrecer la mejor relación coste/beneficio. Este enfoque excluye otras modificaciones propuestas en el estudio original, garantizando un desarrollo más enfocado y manejable.

El análisis realizado en este documento se basa en las siguientes premisas y condiciones fundamentales:

- La metodología seguida para los cálculos y operaciones se basan en el estudio original realizado por Tragsatec siempre que ha sido posible. En los casos donde no

ha sido posible garantizar la trazabilidad de los cálculos, se han formulado hipótesis para estimar los valores necesarios de forma aproximada.

- Las adaptaciones necesarias para incorporar el vidrio reutilizable se han fundamentado en fuentes bibliográficas confiables y en datos proporcionados directamente por agentes del sector (Estrella Galicia).
- El presente estudio tiene como objetivo dimensionar el sistema para evaluar los posibles beneficios y costes asociados al uso generalizado de vidrio retornable. Por tanto, se excluyen del análisis aspectos técnicos, como los modelos de maquinaria a emplear, consideraciones regulatorias o cronogramas de implementación, ya que estos temas han sido abordados en detalle en el informe original de Tragsatec y su inclusión aquí sería redundante.

5.2 VIABILIDAD TÉCNICA

En la tabla siguiente se detallan las características de los envases admitidos en el sistema estudiado (EBSS3), conforme al análisis realizado por Tragsatec:

Categoría	Envases de Bebidas Sujetos al SDDR3
Vida	Envases de un solo uso sujetos a RAP
Producto	Agua, cerveza, zumos y refrescos
Tipo de envase	Botellas de plástico y de vidrio y latas
Volumen del envase	Hasta 3 litros

Tabla 6. Descripción características EBSS3

Fuente: Elaboración propia

El análisis se centra exclusivamente en los envases sujetos a la responsabilidad ampliada del productor (RAP), concepto que se refiere a la obligación legal de los productores de gestionar el impacto ambiental de sus envases a lo largo de su ciclo de vida, incluyendo su recogida, reciclaje o reutilización. Por lo tanto, no se consideran los envases que ya son reutilizables, los cuales se utilizan principalmente en el canal HORECA (hoteles,

restaurantes y cafeterías). Este enfoque nos permitirá evaluar el impacto de sustituir, gracias al SDDR, todas las botellas de vidrio actualmente de un solo uso por botellas de vidrio reutilizables.

En cuanto al tipo de envases, se ha decidido excluir los briks del estudio a pesar de su potencial, debido a su composición mixta, la dificultad para mantener su forma y la ausencia de un eje rotador, lo que complica su incorporación al sistema. Esta decisión también facilita una mayor comparabilidad entre los escenarios SDDR2 y SDDR3, permitiendo evaluar con mayor precisión el impacto del vidrio reutilizable.

5.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA LOGÍSTICA DEL SISTEMA

El sistema comienza con los productores de bebidas sujetas al SDDR, quienes llenan sus envases, ya sean reutilizables (vidrio) o reciclables. Estos envases se distribuyen a los puntos de venta, donde los consumidores finales los adquieren para su consumo. Una vez utilizados, los envases vacíos son devueltos por los consumidores a los establecimientos, desde donde se recogen a través de logística inversa o recogida directa y se envían a los centros de conteo y clasificación.

En estos centros, el Organismo Central de Gestión (OGC) organiza y clasifica los envases. Posteriormente, los materiales reciclables son enviados a las plantas de reciclaje, mientras que las botellas reutilizables se devuelven a los productores. En el caso de las botellas reutilizables, los propios productores son los encargados de lavarlas y prepararlas para su posterior llenado, reintegrándolas nuevamente al mercado.

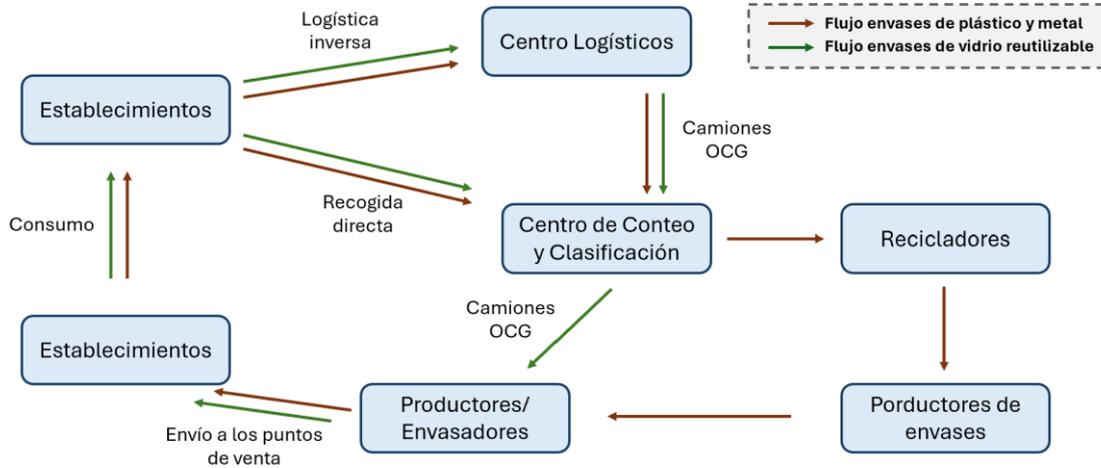


Figura 7. Flujo de los envases en el SDDR3

Fuente: Elaboración propia

5.2.2 USO DE ENVASES EN ESPAÑA

Las tablas 7 y 8 muestran la distribución de envases vendidos en España, clasificados por material y tipo de producto. En estas se observa que el vidrio tiene un peso significativo en nuestro país, representando el 17% de los envases de bebidas y el 74% en peso. Es importante destacar el elevado consumo de cerveza y refrescos en España, con un total de 7.419 millones de unidades vendidas. Estas categorías tienen un alto porcentaje de uso de vidrio y, a su vez, son predominantemente consumidas fuera del hogar. Este patrón de consumo contribuye significativamente al abandono de envases en la vía pública y en espacios naturales, lo que refuerza la relevancia de incluir los envases de vidrio en el sistema SDDR.

		Toneladas							
		Acero	Aluminio	Cartón bebida	PEAD	PET	Vidrio	Total	%
Bebidas	Aguas	0	11	22	336	88,599	25,287	114,255	7%
	B. Espirituosas	27	386	0	2	381	899	90,696	6%
	B. Refrescantes	44,319	25,058	262	14	61,085	66,687	197,424	12%
	Cervezas	26,258	40,526	0	0	1,141	479,445	547,364	34%
	Lácteos	0	1	86,063	8,951	6,103	3,728	104,845	7%
	Espumosos	2	287	0	0	2	2,745	27,741	2%
	Vinos	2	36	2,518	1	1,969	464,776	469,301	29%
	Zumos	65	62	21,583	261	4,687	14,568	41,225	3%
	Total	70,672	66,366	110,447	9,564	163,967	1,171,835	1,592,852	100%
	%	4%	4%	7%	1%	10%	74%	100%	

Tabla 7. Distribución de bebidas vendidas en España por peso

Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por Nielsen

		Unidades (Millones)							
		Acero	Aluminio	Cartón bebida	PEAD	PET	Vidrio	Total	%
Bebidas	Aguas	0	1	1	8	4,241	80	4,331	19%
	B. Espirituosas	3	22	0	0	10	188	224	1%
	B. Refrescantes	172	1,995	11	1	1,769	389	5,885	25%
	Cervezas	1,039	3,182	0	0	35	2,155	6,411	27%
	Lácteos	0	0	3,175	221	179	27	3,602	15%
	Espumosos	0	21	0	0	0	55	75	0%
	Vinos	0	3	99	0	43	997	1,142	5%
	Zumos	2	7	1,451	8	182	70	172	7%
	Total	2,763	523	4,738	238	646	3,961	2,339	100%
	%	12%	22%	20%	1%	28%	17%	100%	

Tabla 8. Distribución de bebidas vendidas en España por unidades

Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por Nielsen

5.2.3 CUANTIFICACIÓN DE ENVASES Y RESIDUOS GENERADOS

Siguiendo el estudio realizado por Tragsatec, se analizan y cuantifican los envases y residuos generados en España durante 2018, centrándose en los envases sujetos a la responsabilidad ampliada del productor (RAP). Para ello, se utilizan información proporcionada principalmente por los SCRAP (Ecoembes y Ecovidrio) sobre la puesta en el mercado de envases, su recogida separada, fracción resto y recuperación de materiales. Además, se realizan balances de masa para estimar ratios de recogida, recuperación y *littering*, evaluando la eficiencia del sistema de gestión de residuos de envases en el contexto español.

Como parte del análisis, se intentaron contrastar los datos de los SCRAP con otras fuentes, como un estudio de Nielsen proporcionado al MITERD y los datos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 2019). Sin embargo, se encontraron discrepancias significativas entre estas fuentes y los datos de los SCRAP. Por ejemplo, Nielsen no incluía el consumo fuera del hogar ni las ventas en las Islas Canarias, lo que dificultó una comparación directa. Además, los datos del MAPA, que deberían haber sido superiores por incluir envases reutilizables, resultaron ser considerablemente inferiores a los reportados por los SCRAP, sin una explicación clara de las diferencias.

Estas discrepancias en las tasas de recogida y recuperación evidencian la necesidad de mayor estandarización en la recolección y análisis de datos y ponen entredicho la veracidad de los datos aportados por los operadores SCRAP.

Debido a estas inconsistencias, el trabajo se centra exclusivamente en los datos proporcionados por los SCRAP. A partir de estos datos se obtiene el balance de masas de envases sujetos al RAP en el escenario actual SCRAP en 2018

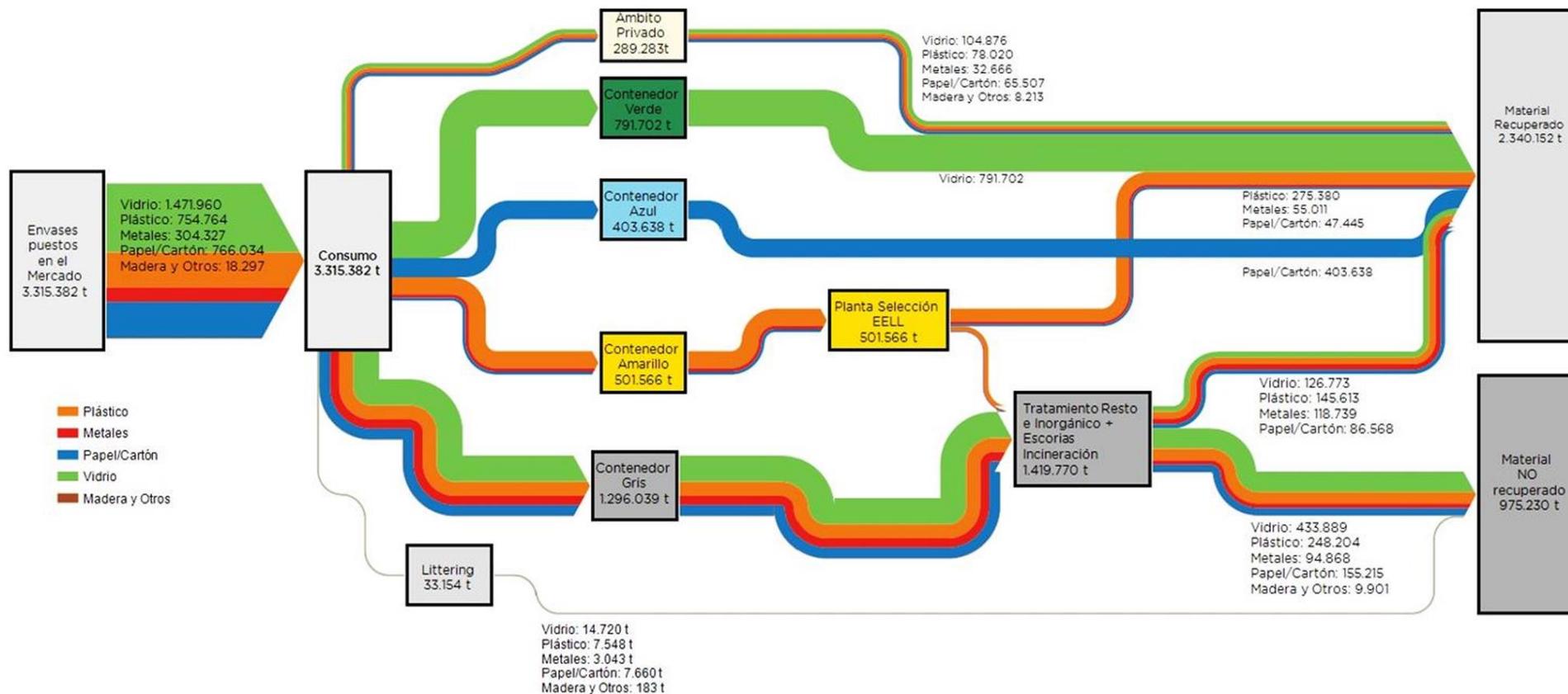


Figura 8. Diagrama de masas del escenario actual SCRAP

Fuente: Tragsatec (2021)

5.2.3.1 Puesta en el mercado

En la tabla 9 se presenta la distribución de los envases puestos en el mercado en 2018, según los datos proporcionados por Ecoembes y Ecovidrio. El total asciende a 3,3 millones de toneladas de envases sujetos a la responsabilidad ampliada del productor (RAP), de las cuales 1,6 millones corresponden a envases de bebidas. De este total, 0,88 millones de toneladas se identifican como envases sujetos al SDDR3 (EBSS3).

Cabe destacar, aunque no está reflejado en la tabla, que el cambio de botellas de vidrio de un solo uso por botellas reutilizables implicaría un aumento del 39% en las toneladas de vidrio gestionadas dentro del sistema. Este porcentaje se ha extrapolado a partir de la diferencia de peso entre una botella de 1/3 de cerveza reutilizable (250 g) y una no reutilizable (180 g). El incremento se debe a la necesidad de fabricar botellas reutilizables con un grosor mayor, lo que garantiza su resistencia a los ciclos de uso y lavado, pero también incrementa su peso.

Material		Envases sujetos a RAP	Bebidas sujetas a RAP		EBSS3	
		Toneladas	Toneladas	Millones de Unidades	Toneladas	Millones de Unidades
Vidrio		1,471,960	11,715,835	3,961	585,981	2,694
Plástico	PET	309,640	163,967	6,460	155,512	6,227
	PEAD	131,311	9,564	238	611	17
	Otros plásticos	313,814	-	-	-	-
Metales	Acero	210,524	70,672	2,763	70,641	2,760
	Aluminio	93,803	66,366	5,230	65,656	5,185
Papel/cartón & compuestos	Bebida	110,447	110,447	4,738	-	-
	No-bebida	655,587	-	-	-	-
Otros materiales	Madera	12,573	-	-	-	-
	Otros	5,724	-	-	-	-
TOTAL		3,315,382	1,592,852	23,390	878,401	16,880

Tabla 9. Distribución de envases puestos en el mercado en 2018

Fuente: Ecoembes y Ecovidrio

5.2.3.2 Gestión de residuos y balance de masa

A partir de los datos proporcionados por Ecoembes y Ecovidrio, y considerando el balance de masa de los 3,32 millones de toneladas de envases puestos en el mercado en 2018, se pueden determinar los porcentajes de distribución de la recogida separada para cada material, así como los porcentajes de recuperación en función del origen del material recuperado (recogida separada, fracción resto o escorias de incineración). Estos datos se presentan detalladamente en las tablas 10 y 11.

El balance de masa proporciona una visión clara de cómo se gestionan los envases sujetos a la responsabilidad ampliada del productor (RAP), diferenciando los flujos de materiales por su vía de recogida y recuperación. Es importante señalar que el vidrio tiene un peso significativo en el sistema, con una recogida separada del 54% y una recuperación total del 88%, mientras que los porcentajes de recuperación para fracción resto (10%) y escorias (13%) son mucho más bajos.

Extrapolando los datos presentados en las tablas 10 y 11, y considerando la distribución de EBSS3 según el material descrita en la tabla 9, se ha calculado el balance de masa del subconjunto EBSS3 para el actual modelo SCRAP. El resultado de este análisis se representa gráficamente en la figura 10, proporcionando una visión clara de la distribución y composición del subconjunto estudiado. Este diagrama representa el escenario actual, y por tanto, no se considera el aumento de peso debido a vidrio retornable.

MATERIAL		Porcentaje de Recogida (%)				
		Vidrio	Papel Cartón	Envases ligeros	Ámbito privado	Fracción resto
Vidrio		54			7	38
Plástico	PET			40	11	49
	PEAD			32	22	45
	Otros			65	5	29
Metales	Acero			27	9	62
	Aluminio			15	14	70
Papel cartón	Cartón / bebida			51	9	40
	Papel /cartón		62	1	9	28
Otros materiales	Madera				65	34
	Otros					99

Tabla 10. Porcentajes de recogida estimados con el balance de masa de los envases sujetos a RAP

Fuente: ENT (2021)

MATERIAL		Porcentaje de Recuperación (%)					
		Vidrio	Papel Cartón	Envases Ligeros	Ámbito Privado	Plantas Resto	Escorias Incineración
Vidrio		100			100	10	13
Plástico	PET			80	100	62	
	PEAD			77	100	60	
	Otros			71	100	18	
Metales	Acero			78	100	68	7
	Aluminio			73	100	30	1
Papel y cartón	Cartón / bebida			78	100	28	
	Papel /cartón		100	79	100	40	
Otros materiales	Madera				100		
	Otros						

Tabla 11. Eficiencias de recuperación estimadas con el balance de masa de los envases sujetos a RAP

Fuente: ENT (2021)

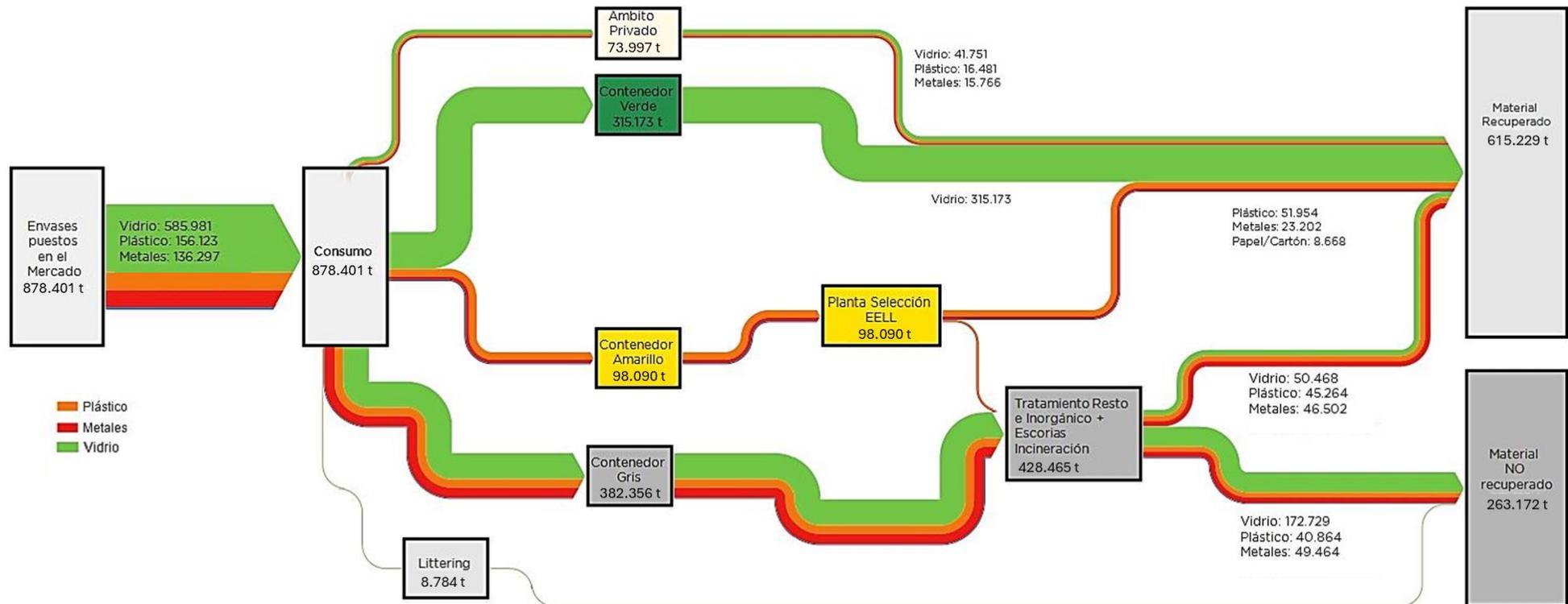


Figura 9. Balance de masa de EBSS en el escenario actual de gestión de residuos (SCRAP) en el año 2018

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ENT (2021)

En el balance de masas se evidencia la relevancia del vidrio, que representa el 65% del peso de los EBSS puestos en el mercado. Aunque su tasa de recuperación es alta en comparación con otros materiales (69,5% según el balance de masas de 2018), aún resulta en una cantidad significativa de toneladas de vidrio que terminan en vertederos y recursos desaprovechados.

Lo más preocupante es que esta tasa de recuperación ha mostrado una evolución mínima en los últimos cinco años, situándose en un 70,1% en 2023 (Ecovidrio, 2024). Mientras que otros materiales han experimentado mejoras notables en sus tasas de reciclaje, la limitada progresión del vidrio pone de manifiesto la saturación del sistema SCRAP para incrementar de su eficiencia. Esto compromete el cumplimiento de los ambiciosos objetivos europeos de reciclaje previstos para los próximos años.

En este contexto, se subraya la necesidad de incluir el vidrio en el SDDR, ya que su implementación podría proporcionar las herramientas necesarias para aumentar de manera sustancial las tasas de reciclaje, reducir los residuos en los vertederos y avanzar hacia un modelo alineado con las metas europeas.

5.2.4 ELECCIÓN DEL DEPÓSITO

La determinación del importe del depósito es un aspecto fundamental, ya que condiciona el funcionamiento integral del sistema y tiene un impacto significativo tanto en términos económicos como ambientales.

Los SDDR implantados en Europa presentan una amplia diversidad en la elección de los depósitos. Algunos sistemas utilizan depósitos homogéneos para todos los envases, mientras que otros los ajustan según el tamaño o el material del envase. La tabla a continuación detalla los depósitos implementados en diferentes SDDR europeos.

País	Depósito (€)
Austria	0.25
Croacia	0.07
Dinamarca	0.13 - 0.40
Estonia	0.10
Finlandia	0.10 - 0.40
Alemania	0.25
Groenlandia	N/A
Hungría	0.13
Islandia	0.13
Letonia	0.10
Lituania	0.10
Malta	0.10
Países Bajos	0.15 - 0.25
Noruega	0.17- 0.25
Irlanda	0.15
Rumanía	0.10
Eslovaquia	0.15
Suecia	0.09 - 0.18

Tabla 12. Depósitos utilizados en los SDDRs europeos

Fuente: Elaboración propia

El uso de depósitos simples y estandarizados facilita la gestión del sistema. Por ejemplo, establecer depósitos fraccionados, como 17 céntimos, generaría inconvenientes logísticos, al requerir la devolución de monedas de 1 o 2 céntimos. Asimismo, asignar importes diferentes a cada tipo de envase complicaría enormemente la devolución, especialmente en procesos manuales.

Es crucial considerar la relación entre el importe del depósito y la tasa de recuperación de envases. Un importe más alto incentiva a los consumidores a devolver los envases, aumentando las tasas de recuperación. Sin embargo, este importe debe mantenerse en un rango razonable, ya que un valor demasiado elevado respecto al precio de las bebidas podría generar una percepción de encarecimiento, reduciendo así el consumo.

Por otro lado, el importe del depósito tiene un impacto directo en el balance económico del sistema SDDR. Este se financia, en parte, con los depósitos de envases que no son devueltos, lo que representa un ingreso que debería maximizarse. Además, el importe afecta

directamente la tasa de recuperación de los envases, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental del sistema.

En este contexto, el estudio de Fletcher et al. (2012) analiza la relación entre el importe del depósito y el nivel de devolución, proporcionando evidencia que ayuda a diseñar un sistema equilibrado entre incentivos económicos, sostenibilidad operativa y objetivos ambientales.

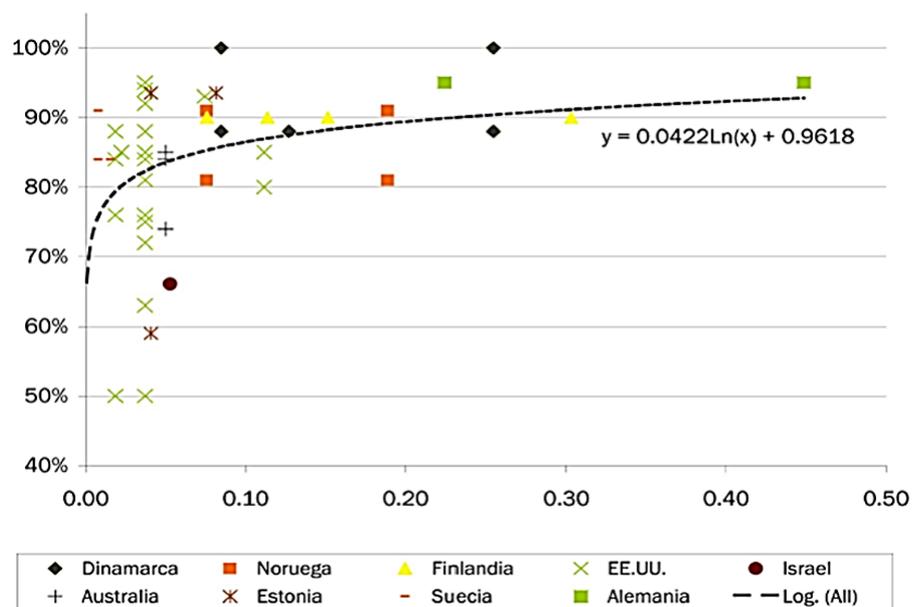


Figura 10. Índice de devolución en función de los depósitos

Fuente: Fletcher et al. (2012)

De acuerdo con el estudio original realizado por Tragsatec (2021), se considera adecuada la definición de un importe de depósito fijo de 10 céntimos de euro por unidad al que correspondería un nivel de devolución del 86,46%.

5.2.5 ASPECTOS TÉCNICOS DEL SISTEMA

5.2.5.1 Sistema de retorno

La devolución de envases en los establecimientos podría llevarse a cabo de dos formas: manualmente, gestionada por el personal del establecimiento, o mediante máquinas

automáticas de retorno de envases (RVM). Cada establecimiento tendría la flexibilidad de elegir la opción que mejor se adapte a sus necesidades, considerando factores como el volumen de ventas, el espacio disponible o la inversión requerida.

Para calcular la capacidad del sistema, se estima la participación de los establecimientos y se determina el número de locales por categoría que estarían disponibles para el retorno de envases. De acuerdo con las asunciones de Tragsatec (2021), se prevé que aproximadamente un 25% de pequeños comercios y áreas de servicio queden fuera del sistema, principalmente debido a limitaciones de espacio o a la imposibilidad de proporcionar este servicio de manera eficiente.

Categoría	Número de establecimientos	Porcentaje de participación (%)	Establecimientos participantes
Hipermercado (> 2.500 m ²)	452	100	452
Supermercado (1.000 - 2.499 m ²)	3,684	100	3,684
Supermercado (400 - 999 m ²)	5,332	100	5,332
Supermercado (100 - 399 m ²)	10,086	100	10,086
Pequeño comercio	32,057	75	24,043
Gasolineras, Áreas de servicio	10,712	75	8,034
Subtotal comercios	62,323		51,631
Hoteles y restaurantes	62,316	100	62,316
Café bar	174,429	100	174,429
Consumo nocturno	18,138	100	18,138
Subtotal HORECA	254,883		254,883
TOTAL	317,206		306,514

Tabla 13. Estimación de establecimientos participantes en el SDDR

Fuente: Tragsatec (2021)

A continuación, se calcula el número de envases devueltos en cada categoría de establecimiento, tanto comerciales como del sector horeca. En el caso de los comercios, se asume que los envases se devolverán mayoritariamente en el lugar de compra, lo que implica que la distribución de las devoluciones será proporcional al volumen de ventas en cada categoría de establecimiento. Para estos cálculos, se han utilizado los datos de ventas proporcionados por Nielsen. Para los establecimientos horeca, la estimación de los envases retornados en cada tipología se basa en la distribución porcentual de las ventas por categoría,

calculada a partir de los datos de envases devueltos en estos establecimientos publicados en el informe del proyecto Ariadna (Tragsatec, 2021).

Ante la falta de acceso directo a los datos proporcionados por Nielsen, la distribución de devolución de envases de vidrio se ha calculado indirectamente. Para ello, se ha utilizado la diferencia entre los sistemas SDDR1 y SDDR2 analizados en el informe del MITERD (Tragsatec, 2021), lo que permitió estimar la cantidad combinada de vidrio y briks por categoría de establecimiento. Posteriormente, para desagregar el vidrio de los briks, se ha asumido una distribución homogénea de ambos tipos de envases en todas las categorías de establecimientos. Esta aproximación garantiza una estimación razonable de la distribución de los envases de vidrio retornados.

Además, de acuerdo con lo expuesto en el apartado anterior, se estima que los depósitos seleccionados lograrán una tasa de devolución del 86,46% del total de envases.

La tabla 14 presenta la cantidad de envases recogidos en establecimientos comerciales o almacenados en el sector horeca, desglosada por categoría de establecimiento. Los datos se expresan en valores absolutos, detallando las cifras anuales y diarias correspondientes a los envases que potencialmente entrarían en el sistema.

Unidad	Envases Recogidos				VIDRIO		RESTO	
	VIDRIO		RESTO		Envases por establ y año	Envases por establ y día	Envases por establ y año	Envases por establ y día
	miles	toneladas	miles	toneladas	uds	uds	uds	uds
Hipermercado (> 2.500 m2)	189,254	33,883	1,048,769	22,304	418,704	1,193	2,320,285	6,610
Supermercado (1.000 - 2.499 m2)	747,782	133,875	4,143,902	88,128	202,981	578	1,124,838	3,205
Supermercado (400 - 999 m2)	287,793	51,524	1,594,834	33,917	53,975	154	299,106	852
Supermercado (100 - 399 m2)	132,793	23,774	735,883	15,650	13,166	38	72,961	208
Pequeño comercio	93,489	16,737	518,078	11,018	3,888	11	21,548	61
Gasolineras, Áreas de servicio	33,465	5,991	185,447	3,944	4,165	12	23,083	66
Subtotal comercios	1,484,576	265,784	8,226,913	174,961	696,880	1,985	3,164,941	9,017
Hoteles y restaurantes	237,618	67,765	1,137,004	21,908	3,813	11	18,246	52
Café bar	538,460	153,560	2,576,538	49,645	3,087	9	14,771	42
Consumo nocturno	68,476	19,529	327,661	6,313	3,775	11	18,065	51
Subtotal HORECA	844,554	240,855	4,041,203	77,866	10,675	30	51,082	146
TOTAL	2,329,130	506,639	12,268,116	252,827				

Tabla 14. Envases recogidos por tipo de establecimiento

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Tragsatec (2021)

Como se mencionó anteriormente, en el escenario SDDR3 se asume que todo el vidrio será reutilizable, por lo que se considera el incremento de peso correspondiente debido a esta característica. En la tabla 15 se detalla el peso total resultante de los envases sujetos al SDDR3, teniendo en cuenta este aumento en las especificaciones del vidrio reutilizable.

Material	Peso (tn)			Total
	Vidrio Ret	Vidrio NR	Otros	
Hipermercado (> 2.500 m ²)	47,059	0	22,304	69,363
Supermercado (1.000 - 2.499 m ²)	185,937	0	88,128	274,065
Supermercado (400 - 999 m ²)	71,561	0	33,917	105,478
Supermercado (100 - 399 m ²)	33,019	0	15,650	48,669
Pequeño comercio	23,246	0	11,018	34,264
Gasolineras, Áreas de servicio	8,321	0	3,944	12,265
Subtotal comercios	369,145	0	174,961	544,106
Hoteles y restaurantes	94,118	0	21,908	116,026
Café bar	213,278	0	49,645	262,923
Consumo nocturno	27,124	0	6,313	33,437
Subtotal HORECA	334,520	0	77,866	412,386
TOTAL	703,665	0	252,827	956,492

Tabla 15. Impacto de la retornabilidad del vidrio en peso

Fuente: Elaboración propia

La modalidad de recogida ya sea manual o automática, sería definida por cada establecimiento. En la tabla 16 se detallan las hipótesis utilizadas y el número de establecimientos comerciales que se asignarían a cada modalidad. Además, el 100% del retorno en horeca se realiza de forma manual (tabla 17).

Categoría	Retorno manual		Retorno automático	
	Puntos	%	Puntos	%
Hipermercado (> 2.500 m ²)	0	0%	452	100%
Supermercado (1.000 - 2.499)	0	0%	3,684	100%
Supermercado (400 - 999 m ²)	800	15%	4,532	85%
Supermercado (100 - 399 m ²)	7,060	70%	3,026	30%
Pequeño comercio	24,043	100%	0	0%
Gasolineras, Áreas de servicio	8,034	100%	0	0%
TOTAL comercios	39,937		11,694	

Tabla 16. Puntos con retorno manual y con retorno automático

Fuente: Tragsatec (2021)

Categoría	Número
Hoteles y restaurantes	62,316
Café bar	174,429
Consumo nocturno	18,138
TOTAL HORECA	254,883

Tabla 17. Establecimientos HORECA por categoría

Fuente: Tragsatec (2021)

Un aspecto importante a considerar es que el uso de vidrio reutilizable no permite la compactación de los envases en las máquinas automáticas, una funcionalidad presente en la mayoría de los modelos debido a las limitaciones de espacio de almacenamiento. Por este motivo, se ha asumido que todo el vidrio se devolvería exclusivamente de forma manual. En otras palabras, los establecimientos que cuenten con máquinas automáticas las utilizarían únicamente para los demás materiales, mientras que el 100% del vidrio sería gestionado manualmente.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede determinar la distribución de los envases devueltos mediante el método manual o automático en cada tipo de establecimiento (Tabla 18):

Categoría	Retorno manual		Retorno automático	
	Miles de unidades	Peso (toneladas)	Miles de unidades	Peso (toneladas)
Hipermercado (> 2.500 m ²)	189,254	47,059	1,048,769	22,304
Supermercado (1.000 - 2.499 m ²)	747,782	185,937	4,143,902	88,128
Supermercado (400 - 999 m ²)	527,018	76,649	1,355,609	28,829
Supermercado (100 - 399 m ²)	647,911	43,974	220,765	4,695
Pequeño comercio	611,567	34,264	0	0
Gasolineras, Áreas de servicio	218,912	12,265	0	0
TOTAL comercios	2,942,444	400,149	6,769,045	143,956
Hoteles y restaurantes	1,374,622	116,026	0	0
Café bar	3,114,998	262,923	0	0
Consumo nocturno	396,137	33,437	0	0
TOTAL HORECA	4,885,757	412,386	0	0

Tabla 18. Distribución de envases devueltos por establecimiento

Fuente: Elaboración propia

El número de máquinas automáticas de retorno a instalar en cada establecimiento dependerá, una vez más, de las decisiones de los propios establecimientos. Según el análisis de Eunomia (2019), la inversión en una máquina automática de retorno se justifica únicamente cuando se procesan más de 500 envases diarios, una cantidad que solo alcanzan los tres tipos de establecimientos comerciales más grandes. Este dato respalda la decisión de mantener un porcentaje relativamente bajo de automatización en el sistema.

Por su parte, ENT (2021) presenta una hipótesis sobre el número de máquinas automáticas necesarias en función de la categoría de cada establecimiento, sirviendo como base del trabajo.

Categoría	Nº de máquinas
Hipermercado (> 2.500 m ²)	2
Supermercado (1.000 - 2.499 m ²)	1
Supermercado (400 - 999 m ²)	1
Supermercado (100 - 399 m ²)	1
Pequeño comercio	0
Gasolineras, Áreas de servicio	0
Hoteles y restaurantes	0
Café bar	0
Consumo nocturno	0
Espacios públicos	0

Tabla 19. Número de máquinas automáticas de retorno a instalar por punto de recogida

Fuente: ENT (2021)

Basándose en el número de establecimientos existentes, los porcentajes estimados de participación por categoría, los niveles de retorno automático previstos y el rango de máquinas necesarias por establecimiento, se calcula que el número total de máquinas automáticas de retorno a instalar sería de **12,146**.

Nota: No se realiza una comparación directa entre la eficiencia de la recogida manual y automatizada de los materiales, ya que, como premisa principal, se ha asumido que el vidrio se recoge íntegramente de forma manual, siendo su incorporación el foco principal de este estudio.

5.2.5.2 Logística

Este apartado describe diversos aspectos relacionados con la logística del almacenamiento y la recogida de envases, así como su transporte posterior hacia los centros de recuento y clasificación.

ALMACENAJE

Vidrio reutilizable

Según datos de Tragsatec, en España se consumen 2,693,881,225 botellas de vidrio de un solo uso al año. Si el 100% de estas se sustituyera por botellas reutilizables, serían necesarios 673,470,306 envases reutilizables, considerando la velocidad de rotación (ciclos anuales) dentro del sistema.

$$\text{Botellas reutilizables} = \frac{\text{Botellas de un solo uso}}{\text{Ciclos al año}}$$

Para el transporte de las botellas de vidrio reutilizable, con el fin de evitar daños, se emplearán cajas de plástico reutilizables estandarizadas, similares a las utilizadas actualmente en el sistema de botellas de vidrio retornables del canal horeca. Estas cajas tendrán unas dimensiones de 30 x 40 x 25 cm, proporcionando un método seguro y eficiente para su almacenamiento y transporte de 24 botellas por caja.



Figura 11 . Caja de vidrio reutilizable para botellas de vidrio

Fuente: Elaboración propia

Las cajas reutilizables no solo son utilizadas por los establecimientos y productores, sino también por los consumidores, quienes las emplean para transportar los envases a sus hogares. En este contexto, las cajas suelen estar sujetas a un depósito asociado, similar al de las botellas, lo que incentiva su devolución y determina una tasa de retorno. Sin embargo, debido a la falta de datos específicos sobre este aspecto, se simplificará el análisis asumiendo una tasa de devolución del 100% para las cajas que son utilizadas por los consumidores.

Esta práctica permite a los productores reducir o eliminar el uso de packaging adicional, lo que genera un importante impacto ambiental y económico. Aunque este aspecto no será analizado en detalle en el presente trabajo, se propone como una línea de investigación a explorar en el futuro.

Para estimar la cantidad de cajas necesarias en el sistema, se asume que cada caja rotará junto con las botellas un promedio de 4 veces al año. Adicionalmente, se considera que no todos los consumidores que utilicen una caja transportarán 24 unidades, de la misma forma que aquellos que adquieran una cantidad reducida de cervezas probablemente no utilizarán caja.

Para garantizar que el sistema cuente con un número suficiente de cajas disponibles durante las rotaciones, se ha aplicado un sobredimensionamiento del 25% sobre el número estimado de cajas necesarias.

Millones de ud.	Cajas
Escenario	35.08

Tabla 20. Número de cajas de vidrio necesarias para el SDDR3

Fuente: Elaboración propia

Resto

Para el resto de los materiales (plástico y metales), el dimensionamiento de las bolsas necesarias es equivalente al calculado para el escenario 2 del estudio realizado por Tragsatec (2021).

En el caso del retorno manual, los envases se depositarán en bolsas de plástico estandarizadas, las cuales deberán cerrarse con un sistema de seguridad también estandarizado una vez estén llenas. Se ha estimado que, utilizando bolsas de 500 litros y 160 micras de espesor, cada bolsa tendrá una capacidad aproximada de 200 latas o 150 botellas de plástico.

Millones de ud.	Bolsas de plástico	Sistemas de cierre
Escenario	8.50	8.50

Tabla 21. Estimación de materiales necesarios para el almacenaje de los envases de retorno manual

Fuente: Tragsatec (2021)

Para el retorno automático, la capacidad y el sistema de almacenaje depende del tipo de máquina instalada. Los resultados se muestran en la tabla 22.

Millones de ud.	Bolsas plástico 500 L (100 micras)	Bolsas plástico 500 L (160 micras)	Bolsas plástico 1.000 L (160 micras)	Sistemas de cierre
Escenario	-	-	2.82	2.82

Tabla 22. Estimación de materiales necesarios para el almacenaje de los envases de retorno automático

Fuente: Tragsatec (2021)

Por último, en el sector horeca, el retorno de envases se llevará a cabo exclusivamente de forma manual. Considerando el volumen estimado de envases que serían devueltos en estos establecimientos y la capacidad calculada de las bolsas estándar (200 latas, 150 botellas de plástico), se estima que serán necesarias aproximadamente 22.37 millones de bolsas y sistemas de cierre para el almacenamiento de los envases retornados.

Millones de ud.	Bolsas de plástico	Sistemas de cierre
Escenario	22.37	22.37

Tabla 23. Estimación de materiales necesarios para el almacenaje en horeca

Fuente: Tragsatec (2021)

TRANSPORTE

El transporte de envases desde los puntos de retorno hasta los centros de recuento y clasificación será responsabilidad del Organismo Central Gestor (OCG). Se priorizará el uso de logística inversa, aprovechando los trayectos de retorno de los camiones que distribuyen productos a los establecimientos para recoger los envases devueltos. Una vez en los centros logísticos, un operador logístico contratado por el OCG trasladará los envases a los centros de recuento y clasificación. Este modelo busca optimizar recursos existentes y reducir el impacto ambiental asociado al transporte.

Las hipótesis sobre los porcentajes de logística inversa por tipo de establecimiento, según el estudio de Tragsatec (2021), se aplicarán en este trabajo y se detallan en la tabla 24.

Categoría establecimiento	% de logística inversa	Envases recogidos mediante logística inversa	
		Millones de unidades	Toneladas
Hipermercado (> 2.500 m ²)	90%	1,114	62,427
Supermercado (1.000 - 2.499 m ²)	90%	4,403	246,659
Supermercado (400 - 999 m ²)	70%	1,318	73,835
Supermercado (100 - 399 m ²)	70%	608	34,068
Pequeño comercio	60%	367	20,559
Gasolineras, Áreas de servicio	50%	109	6,133
Hoteles y restaurantes	100%	1,375	116,026
Café bar	100%	3,115	262,923
Consumo nocturno	100%	396	33,437
TOTAL		12,805	856,067

Tabla 24. Estimación de porcentaje de logística inversa por categoría de establecimiento

Fuente: Tragsatec (2021)

5.2.6 INFRAESTRUCTURA NECESARIA

Atendiendo a la figura 7, se observa cómo el flujo de materiales influye en el uso de los centros de clasificación y lavado. Todos los materiales recogidos son transportados a estos centros para su conteo y separación. Posteriormente, los envases reutilizables que deben ser acondicionados para un nuevo uso son lavados en las propias fábricas de los productores antes de ser rellenados.

5.2.6.1 Centros de Conteo y Clasificación

Los envases devueltos en los puntos de retorno son transportados a centros especializados para su recuento y clasificación, dependiendo del tipo de retorno (manual o automático). Existen dos tipos principales de infraestructuras para este proceso:

1. Centros de recuento de envases: Se encargan de los envases devueltos manualmente en establecimientos sin máquinas automáticas. En estos centros, los envases son contados y compactados, y en algunos casos clasificados por material. Las máquinas de recuento pueden procesar entre 60 y 300 envases por minuto, con un 99,5% de precisión, y cuentan con sistemas para verificar si los envases pertenecen al sistema.
2. Centros de clasificación de envases: Aunque las máquinas realizan una clasificación básica, puede ser insuficiente, por lo que es necesaria una clasificación posterior antes de entregar los materiales a los recicladores.

Una vez clasificados por tipo de material, los envases son prensados en balas y enviados a las empresas recicladoras para su procesamiento final.

La cantidad de centros de recuento necesarios para un SDDR se define según el volumen de envases que requieren contabilización, incluyendo los devueltos manualmente, los recogidos en el canal horeca y aquellos procesados en máquinas automáticas sin compactación. A continuación, se detallan los envases, tanto en unidades como en peso, que requerirían pasar por estos centros de recuento.

	Envases a conteo
Unidades (miles)	7,828,201
Peso (toneladas)	812,536

Tabla 25. Envases enviados a centros de conteo

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la clasificación, se prevé que todos los envases sean clasificados, independientemente del sistema de retorno utilizado. Esto se debe a que, aunque las máquinas automáticas de retorno cuentan con sistemas básicos de clasificación, es necesario un mayor nivel de separación dentro de cada tipo de material y preparar balas más grandes para facilitar su transporte a las plantas de gestión final. Por tanto, se obtiene la siguiente tabla.

	Envases a clasificación
Unidades (miles)	14,597,246
Peso (toneladas)	956,492

Tabla 26. Envases enviados a centros de clasificación

Fuente: Elaboración propia

Para determinar el número de centros necesarios por comunidad autónoma, se han considerado las siguientes pautas (Tragsatec, 2021):

1. En Cataluña, Comunidad Valenciana y País Vasco se han utilizado datos de estudios específicos ya existentes.
2. Cada comunidad autónoma contará con al menos un centro, aunque en regiones con menor volumen de envases, como La Rioja, se podría optar por trasladar los envases a centros en comunidades vecinas.
3. En comunidades con grandes volúmenes de envases, como Madrid o Andalucía, se priorizan centros de mayor tamaño con más líneas de conteo.
4. El número de líneas puede ajustarse mediante un aumento en los turnos de trabajo.

En primer lugar, el número de líneas de recuento necesarias en cada comunidad autónoma se determina según los envases retornados en esa región y la capacidad de recuento de cada línea.

Se calcula la distribución de envases sujetos a SDDR en función del patrón de recuperación actual en las plantas de selección, según datos proporcionados por Ecoembes y Ecovidrio (Tabla 18).

Para el cálculo de la capacidad de conteo por línea, se ha considerado una capacidad media de recuento anual de 48,655,543 envases por línea, basada en una velocidad de 180 envases por minuto, con dos turnos diarios, seis días a la semana y un 10% de tiempo no operativo. Estos parámetros, como el número de turnos y días trabajados, podrían ajustarse según las necesidades específicas para evitar infra o sobredimensionamiento de los centros.

En segundo lugar, para dimensionar el número de líneas de lavado necesarias, se calcula la cantidad de botellas de vidrio devueltas en cada comunidad autónoma (tabla 27), considerando además la capacidad operativa de cada línea de lavado.

Comunidad autónoma	Envases retornados (miles de unidades)	Envases a recuento (miles)
Andalucía	2,318,795	1,144,308
Aragón	574,230	283,378
Asturias, Principado de	239,111	117,999
Balears, Illes	632,777	312,271
Canarias	659,329	325,374
Cantabria	175,406	86,562
Castilla - La Mancha	690,833	340,921
Castilla y León	648,440	320,000
Cataluña	3,542,770	1,748,330
Ceuta	0	0
Comunidad Valenciana	1,378,046	680,055
Extremadura	236,882	116,899
Galicia	590,408	291,362
Madrid, Comunidad de	2,383,878	1,176,426
Melilla	1,010	498
Murcia, Región de	487,337	240,497
Navarra, Comunidad Foral de	319,456	157,649
País Vasco	848,449	418,703
Rioja, La	135,700	66,967
TOTAL	15,862,857	7,828,201

Tabla 27. Envases a recuento por comunidad autónoma

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ENT (2021)

Finalmente, se determina el número de centros requeridos en cada comunidad autónoma, junto con la cantidad necesaria de líneas de conteo para garantizar el adecuado procesamiento de los envases (tabla 28).

Comunidad autónoma	SDDR	
	Centros	Nº líneas de conteo por centro
Andalucía	3	8
Aragón	1	6
Asturias, Principado de	1	3
Balears, Illes	1	7
Canarias	2	4
Cantabria	1	2
Castilla - La Mancha	2	4
Castilla y León	2	4
Cataluña	5	8
Ceuta		0
Comunidad Valenciana	3	5
Extremadura	1	3
Galicia	1	6
Madrid, Comunidad de	3	9
Melilla		0
Murcia, Región de	1	5
Navarra, Comunidad Foral de	1	4
País Vasco	1	9
Rioja, La	1	2
TOTAL	30	

Tabla 28. Centros y líneas de conteo por comunidad autónoma

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ENT (2021)

5.2.6.2 Grupos de Lavado

La inclusión de vidrio reutilizable en el sistema requiere la implementación de grupos de lavado. En estas máquinas, las botellas pasan por un proceso que elimina las etiquetas y restos de adhesivo, seguido de una limpieza exhaustiva que garantiza la seguridad alimentaria para su reutilización en futuros ciclos. En nuestro sistema, el 100% de las botellas de vidrio pasarán por la etapa de lavado.

	Envases a lavado
Unidades (miles)	2,329,130
Peso (toneladas)	703,665

Tabla 29. Envases que deben pasar por un grupo de lavado

Fuente: Elaboración propia

Para optimizar la logística del sistema, se establece que los grupos de lavado deben ubicarse en las instalaciones de los propios productores. Esta decisión permite lavar y llenar las botellas de manera consecutiva, sin ningún transporte de por medio.

Aunque se valoró la posibilidad de incorporar los grupos de lavado en los centros de conteo y clasificación, con el objetivo de enviar las botellas sanitizadas y listas para rellenar a los productores, esta opción presenta limitaciones operativas. En concreto, sería necesario paletizar y embalar las botellas de una forma específica que actualmente no es compatible con su transporte en cajas de plástico reutilizables. Implementar esta modificación rompería la cadena logística, precisando enviar las cajas por separado y encareciendo considerablemente la logística.

Para dimensionar el número de grupos de lavado necesarios, se utilizan los datos proporcionados por Estrella Galicia sobre su tren de lavado para botellas retornables utilizadas en el canal horeca. Un grupo de lavado tiene una capacidad de 72.000 botellas por hora y una eficiencia operativa del 70%.

Dado que productos como la cerveza y los refrescos presentan estacionalidad, es necesario sobredimensionar la capacidad en un 11% para cubrir los picos de demanda. Asumiendo que cada máquina opera en 2 turnos de 8 horas al día, 6 días a la semana, la capacidad anual de un grupo de lavado asciende a 223,921,152 botellas al año.

Bajo estas condiciones, se estima que serían necesarios más de 10 grupos de lavado para procesar la totalidad de las botellas retornables en España. Aunque esta capacidad corresponde a un grupo de lavado de gran tamaño, que solo sería requerido por los mayores productores, se asume que para grupos de menor capacidad los costes por botella serían similares, permitiendo una extrapolación razonable del modelo.

5.2.7 BALANCE DE MASAS

La incorporación del SDDR, coexistiendo con el sistema actual SCRAP, implica una reconfiguración en el balance de masas de los envases de bebidas sujetos a SDDR (EBSS). En este nuevo escenario, la principal vía de recuperación de los EBSS sería a través del retorno, alcanzando una tasa del 86.46 %. Este sistema se complementaría con la recogida separada, la fracción resto y las recogidas complementarias para gestionar los envases no retornados (13.54 % de los EBSS). Para los envases no retornados, se asume un comportamiento similar al del sistema actual en términos de recogida y recuperación.

En el balance global de los EBSS (figura 13), se estima que un 86.46 % de los envases serían retornados, mientras que un 7.49 % se recogería de manera separada, un 5.80 % acabaría en la fracción resto y un 0.25 % se perdería como *littering*.

En total, se recuperarían 1,059,664 toneladas de EBSS, lo que representa el 95.74 % del total de envases puestos en el mercado, siendo los envases retornados responsables del 90.31 % de lo recuperado. Estos resultados reflejan la alta eficiencia del SDDR en la recuperación de materiales, especialmente en comparación con el modelo tradicional.

Las tasas de retorno en el nuevo escenario SDDR3 analizado son idénticas a las de los escenarios previamente estudiados por Tragsatec, ya que esta entidad asume que la tasa es independiente del tipo de material. Por ello, el análisis comparativo se centra en evaluar las diferencias entre los escenarios en función de la cantidad de material incluido en el SDDR.

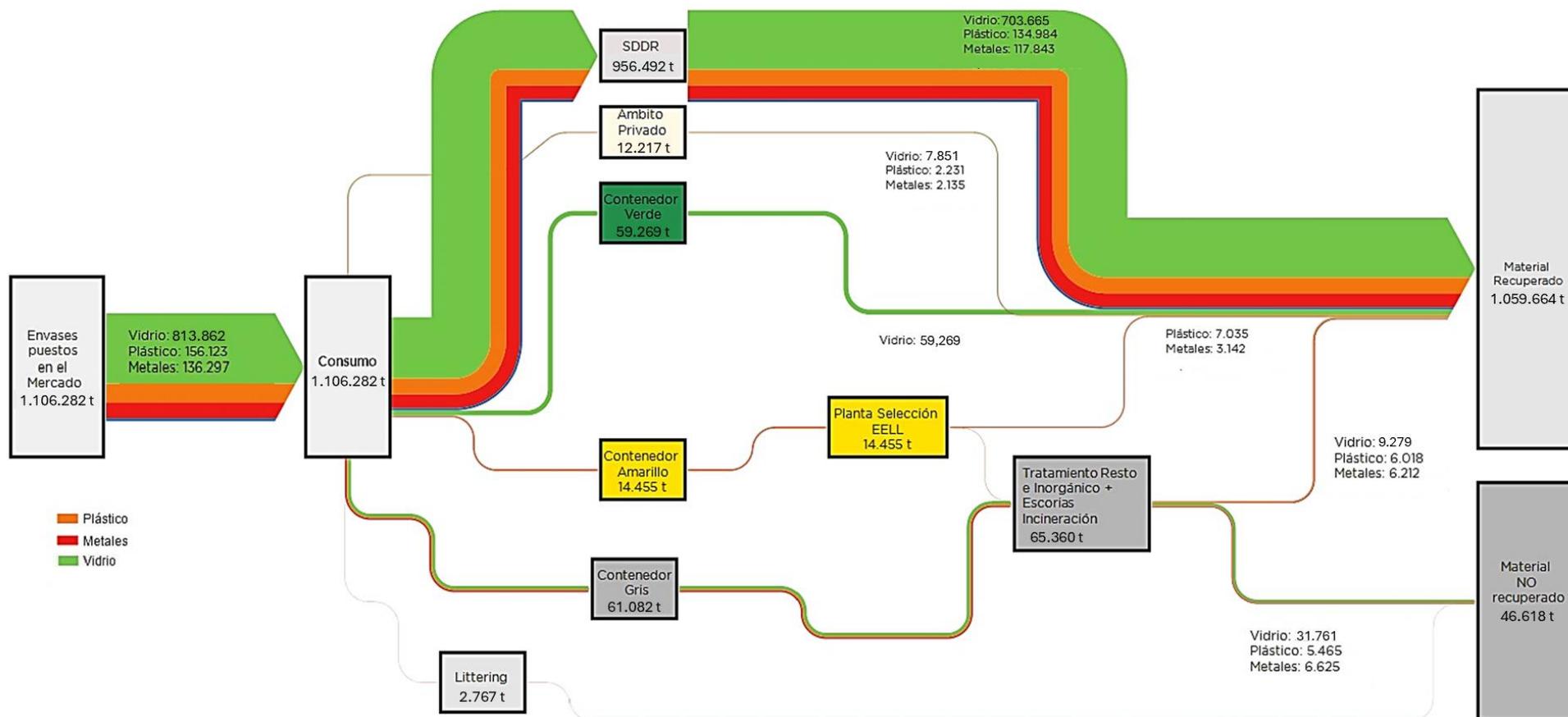


Figura 12. Balance de masa de EBSS en el escenario SDDR3

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ENT (2021)

5.3 VIABILIDAD ECONÓMICA

5.3.1 OBJETO Y PREMISAS DE LA VALORACIÓN ECONÓMICA

Este apartado tiene como objetivo estimar el valor económico asociado a la implementación del SDDR3, centrándose específicamente en evaluar las repercusiones económicas de incluir vidrio reutilizable dentro del sistema.

El análisis de viabilidad económica realizado se basa en las siguientes premisas y condiciones fundamentales:

- El modelo diseñado no busca prever con precisión los costes exactos de un hipotético SDDR a nivel nacional, sino proporcionar una aproximación del orden de magnitud de los costes asociados a su implementación. Por lo tanto, este modelo debe interpretarse como una herramienta preliminar.
- El SDDR3 representa el conjunto del SDDR2, estudiado previamente, con la incorporación del vidrio retornable. Para evitar cálculos duplicados sólo se incluirá el desarrollo del sistema de vidrio por separado, siempre que sea posible.
- La propiedad de las botellas y plantas de lavado se considera indiferente en términos de impacto global, ya que, bajo la Responsabilidad Ampliada del Productor (RAP), los productores asumen los costes necesarios para equilibrar el sistema a través de pagos al OCG. En este modelo, se asume que el OCG es propietario de las botellas y cajas, que alquila a los productores, mientras que las líneas de lavado pertenecen a los productores y sus costes operativos son compensados por el OCG.
- Los valores monetarios han sido ajustados según el Índice de Precios al Consumo (IPC) publicado por el Instituto Nacional de Estadística (INE), tomando como referencia el periodo comprendido entre enero de la fuente original y enero del año 2018, salvo que se indique expresamente lo contrario.

- La unidad de referencia para los cálculos es el euro, específicamente expresado como euros por año. Así, el modelo económico propuesto presenta los resultados en términos de flujos anuales dentro del sistema.

5.3.2 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

Una vez dimensionado el sistema en el apartado de viabilidad técnica, se procede a estimar el valor económico asociado a la implementación del SDDR. Para ello, se define y calcula cada flujo económico involucrado en el sistema, asegurando que el balance global sea nulo. A continuación, se describen los principales flujos:

Flujo 1: Representa los gastos asociados al Organismo Central de Gestión (OCG) para la adquisición de botellas reutilizables y las cajas necesarias para su transporte. El OCG asume la responsabilidad de comprar estas botellas, ya que estas circulan dentro del sistema, garantizando su retorno a los productores.

Flujo 2: Ingreso correspondiente a los depósitos no recuperados por los consumidores, que se destinan a financiar parcialmente el sistema.

Flujo 3: Compensa a los comercios por los gastos derivados de la manipulación de envases y la gestión del SDDR en sus establecimientos.

Flujo 4: Considera los gastos logísticos asociados a la recogida de envases devueltos en los comercios y su traslado a los centros de recuento, clasificación y lavado.

Flujo 5: Incluye los gastos de operación de los centros de recuento y clasificación, donde se procesan los envases devueltos.

Flujo 6: Refleja los gastos de transporte de las botellas reutilizables desde los centros de clasificación y conteo hasta las fábricas de los productores.

Flujo 7: Refleja el coste asociado al proceso de lavado de los envases reutilizables llevado a cabo por los productores.

Flujo 8: Se divide en dos componentes: (a) los ingresos del OCG por la venta de materiales reciclables a empresas recicladoras, y (b) el pago de los productores al OCG por el alquiler de botellas que vuelven a poner en el mercado.

Flujo 9: Este flujo asegura el equilibrio económico del sistema, cubriendo la diferencia entre los ingresos y los gastos de los flujos anteriores, de manera que el balance global sea nulo.

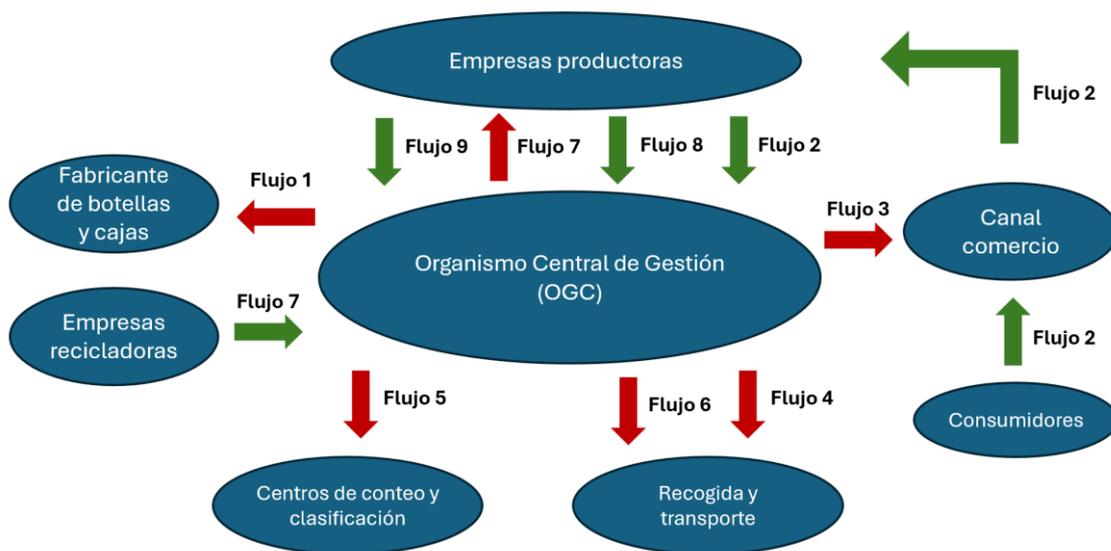


Figura 13. Esquema del flujo económico SDDR3

Fuente: Elaboración propia

5.3.3 COSTES Y PARÁMETROS CONSIDERADOS

Atendiendo a la metodología del estudio original, se definieron cuatro modelos de costes base, derivados de la combinación de dos variables principales: el método de aceptación de envases en los establecimientos (manual o automática) y el modelo de transporte (recogida directa o logística inversa).

Estos cuatro modelos son los siguientes:

- **Modelo 1: Aceptación automática y recogida directa**

Utiliza máquinas RVM (Reverse Vending Machines) para aceptar los envases en los establecimientos, reduciendo el tiempo dedicado a las devoluciones. El transporte se realiza mediante camiones gestionados por el Organismo Central de Gestión (OCG), que recogen directamente los envases en los establecimientos y los llevan a las plantas de recuento y clasificación.

- **Modelo 2: Aceptación automática y logística inversa**

También emplea máquinas RVM para la aceptación, pero el transporte inicial lo gestionan las empresas logísticas de los distribuidores de bebidas, quienes llevan los envases a un centro logístico. Desde allí, el OCG utiliza vehículos de gran capacidad para trasladar los envases a las plantas de recuento y clasificación.

- **Modelo 3: Aceptación manual y recogida directa**

En este modelo, los empleados de los establecimientos realizan manualmente la aceptación de los envases, sin el uso de máquinas RVM. El transporte es directo, gestionado por el OCG, desde los establecimientos hasta las plantas de recuento y clasificación.

- **Modelo 4: Aceptación manual y logística inversa**

La aceptación de los envases es manual, como en el Modelo 3, pero el transporte inicial lo gestionan los distribuidores de bebidas mediante logística inversa, antes de que el OCG recoja los envases en centros logísticos y los transporte a las plantas de recuento.

El número de establecimientos participantes, clasificados por tipo y modelo, se presenta en la siguiente tabla:

Número de Establecimientos	Gestión / Transporte	SDDR3	
		MANUAL	AUTO.
Hipermercado	R. DIRECTA		45
	LI		407
Supermercado grande	R. DIRECTA		368
	LI		3,316
Supermercado mediano	R. DIRECTA	240	136
	LI	560	3,173
Supermercado pequeño	R. DIRECTA	2,118	908
	LI	4,942	2,118
Pequeño comercio	R. DIRECTA	9,617	
	LI	14,426	
Gasolinera	R. DIRECTA	4,017	
	LI	4,017	
Café-bar	R. DIRECTA		
	LI	174,429	
Rest./hotel	R. DIRECTA		
	LI	62,316	
Cons. Nocturno	R. DIRECTA		
	LI	18,138	

Tabla 30. Número de establecimientos por tipo de recogida y transporte

Fuente: Elaboración propia

Estos cuatro modelos se aplicarán en la gestión de las botellas de plástico y latas (SDDR2). Sin embargo, en el caso del vidrio, se ha asumido que su recogida será exclusivamente manual, lo que simplifica el análisis al considerar únicamente dos modelos: recogida manual con transporte directo y recogida manual con logística inversa.

Número de Establecimientos	Gestión / Transporte	VIDRIO
		MANUAL
Hipermercado	R. DIRECTA	45
	LI	407
Supermercado grande	R. DIRECTA	368
	LI	3,316
Supermercado mediano	R. DIRECTA	376
	LI	3,733
Supermercado pequeño	R. DIRECTA	3,026
	LI	7,060
Pequeño comercio	R. DIRECTA	9,617
	LI	14,426
Gasolinera	R. DIRECTA	4,017
	LI	4,017
Café-bar	R. DIRECTA	
	LI	174,429
Rest./hotel	R. DIRECTA	
	LI	62,316
Cons. Nocturno	R. DIRECTA	
	LI	18,138

Tabla 31. Número de establecimientos por tipo de recogida y transporte (vidrio)

Fuente: Elaboración propia

5.3.4 VALORACIÓN DE LOS FLUJOS ECONÓMICOS DEL SDDR

5.3.4.1 Adquisición de Botellas y Cajas Reutilizables

El depósito de devolución, y su ratio de devolución asociado, son cruciales para la rentabilidad de las botellas reutilizables. Las botellas no devueltas al sistema SDDR serán recicladas o, en el peor de los casos, desechadas. Esto representa un mayor desperdicio que el sistema actual, dado el mayor coste y material de las botellas reutilizables.

Por ello, en sistemas con botellas reutilizables, el depósito debería ser lo más alto posible para maximizar tanto la rentabilidad como la sostenibilidad ambiental. Sin embargo, siguiendo la decisión del estudio original de Tragsatec (2021), se aplicará un depósito de 10 céntimos, con una tasa de devolución estimada del 86,46%.

Teniendo en cuenta el número de botellas necesarias para el parque de botellas reutilizables dimensionado en el apartado de viabilidad técnica, el coste anual de mantenimiento del

parque se calcula considerando las siguientes circunstancias que requieren la reposición de una botella:

- Pérdida por no devolución: Botellas que no son devueltas al sistema SDDR y, por lo tanto, deben ser reemplazadas.

$$\text{Botellas perdidas} = \text{Botellas reutilizables} \times \text{Ciclos al año} \times (1 - \% \text{ devolución})$$

- Rotura durante el retorno: Botellas que, aunque son devueltas, sufren daños y no pueden ser reutilizadas. Según Estrella Galicia esto ocurre a un 2% de los envases recogidos.

$$\text{Botellas rotas} = \text{Botellas reutilizables} \times \text{Ciclos al año} \times \% \text{ devolución} \times 2\%$$

- Fin de vida útil: Botellas que alcanzan el límite de ciclos para los que fueron diseñadas y por tanto, su deterioro por un uso normal exige el cambio.

$$\text{Botellas deterioradas} = \text{Botellas reutilizables} \times (\% \text{ devolución})^{\text{vida útil (ciclos)}}$$

Sumando todos los factores anuales que requieren la reposición de botellas, como las pérdidas por no devolución, las roturas durante el retorno y las botellas que alcanzan el final de su vida útil, y multiplicando este total por el precio de adquisición unitario de cada botella reutilizable, se obtiene el coste total anual necesario para mantener el parque de botellas operativas.

Considerando un precio de 125 euros por cada millar de botellas reutilizables (105 euros actualizados al IPC de 2018), dato proporcionado por Estrella Galicia para botellas de cerveza de un tercio, el coste anual total asciende a **43,896,501 €**.

Para el transporte de las botellas, también debe considerarse el coste de las cajas de plástico reutilizables con capacidad para 24 botellas. El dimensionamiento de estas cajas se realizó previamente, obteniendo un parque total de 35,076,578 unidades. Dado que en este estudio se ha excluido el análisis del depósito de las cajas, se asume una tasa de devolución del 100%.

Considerando un coste unitario de 6 euros por caja (5.03 euros actualizados al IPC 2018), proporcionado por Estrella Galicia, y una vida útil de 100 ciclos (Bala y Fullana, 2017), el coste anual asociado al uso de las cajas asciende a **7,062,398 €**.

5.3.4.2 Ingresos por Depósitos no Devueltos

En segundo lugar, se calcula el ingreso generado por los envases no devueltos por los consumidores. Estos depósitos no reclamados se convierten en un ingreso directo para el OCG.

El ingreso se determina restando el número de envases retornados por los consumidores al total de envases vendidos, incluyendo todos los materiales. Luego, este valor se multiplica por el importe del depósito unitario establecido, obteniendo así su valoración monetaria de manera directa.

Concepto	Cantidad	Unidad
Envases puestos en mercado sujetos a SDDR3	16,882,632,293	ud
Depósito	0.10	€/ud
Tasa de retorno	86.46%	%
Envases retornados	14,597,245,707	ud
Envases no retornados	2,285,386,586	ud
Depósitos no reclamados (ingresos del sistema)	228,538,659	€/año

Tabla 32. Cálculo de los ingresos del sistema por envases no devueltos

Fuente: Elaboración propia

5.3.4.3 Costes de Gestión de los Envases Retornados

Los costes asociados a la manipulación y gestión en los comercios representan el esfuerzo y los recursos adicionales que los establecimientos necesitan invertir para llevar a cabo la operación del SDDR. Para evitar que estos costes recaigan sobre los comercios, deben ser asumidos y compensados por el propio sistema.

Para la estructura de costes relacionadas con la fase de comercio, se debe diferenciar entre las modalidades de aceptación de envases: manual y automática.

MODELO DE GESTIÓN MANUAL

El coste de gestión manual de los envases se basará en los resultados del SDDR2 original (botellas de plástico y latas), ajustándose para incorporar los costes adicionales derivados de la inclusión de los envases de vidrio en el sistema.

Tragsatec utiliza el siguiente esquema de costes en el cálculo:

ACEPTACIÓN MANUAL	
CONCEPTO	VALOR Y FUENTE
BOLSAS Y SISTEMAS DECIERRE NECESARIOS	Precio unitario de las bolsas (500 L, 160 µm): 2,19 € (2021). Valor monetario equivalente (2018): 2,13 €. <i>Fuente: Jaymafer S.L.</i> https://www.jaymafer.com/
	Precio unitario de los sistemas de cierre: 0,07 € (2021). Valor monetario equivalente (2018): 0,06 €. <i>Fuente: Precygrap S.L.</i> https://www.precygrap.com/
PERSONAL - Aceptación de envases y devolución del retorno - Almacenamiento de envases	Coste laboral del personal: - <u>Comercio al por mayor y al por menor:</u> 12,66 €/hora (2021). Valor monetario equivalente (2018): 12,33 €/hora. - <u>Hostelería y restauración:</u> 9,73 €/hora (2021). Valor monetario equivalente (2018): 9,48 €/hora. <i>Fuente: Encuesta trimestral de coste laboral (ETCL); Primer trimestre de 2021. https://www.ine.es/daco/daco42/etcl/etcl0121.pdf</i>
FORMACIÓN	- ACES estima una formación mínima de 5 horas para todo el personal que interviene en el SDDR; con un coste de la formación de 25 €/hora (2014). Valor monetario equivalente (2018): 25,48 €/hora. <i>Fuente: Proyecto Ariadna, (Abril 2017) "Estudio de sostenibilidad sobre la introducción de un SDDR obligatorio para envases en España: análisis ambiental, social y económico comparativo con la situación actual".</i>

<p>OCUPACIÓN DEL SUELO</p> <ul style="list-style-type: none"> - Suelo comercial - Suelo de almacén 	<p>El coste de ocupación del suelo es equivalente al coste de alquiler de suelo comercial (aplicable tanto al suelo comercial como al suelo de almacenamiento): 8,85 €/m²-mes (2012). Valor monetario equivalente (2018): 9,27 €/m²-mes.</p> <p><i>Fuente: Anuario Estadístico del Mercado inmobiliario Español 2011-2012 R.R. de Acuña y Asociados.</i></p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 33. Estructura de costes para los modelos de costes de aceptación manual de los envases

Fuente: Tragsatec (2021)

Para calcular los costes asociados a la aceptación manual de los envases, tiempo dedicado por los trabajadores de los establecimientos, se toma como referencia el tiempo estimado por Tragsatec (2021) en su estudio. Este detalla los tiempos requeridos para la interacción inicial, la revisión de los envases y el desplazamiento desde el área comercial al espacio de almacenamiento. Estos datos serán presentados en la tabla 34.

Concepto	Valor	Unidad
Interacción con el usuario	15	seg/usuario
Verificación de envases	3	seg/envase
Desplazamiento	2	min/bolsa

Tabla 34. Estimaciones tiempo en la gestión de envases

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Tragsatec (2021)

En el caso base proporcionado, se considera que el traslado de envases se realiza utilizando bolsas, que implica un tiempo de desplazamiento de 2 minutos por bolsa desde el área comercial hasta el espacio de almacenamiento. Sin embargo, para las botellas de vidrio reutilizables, se modifica este criterio: en lugar de emplear bolsas, se utilizan cajas con capacidad para 24 botellas cada una. Al ser apilables y tener un peso manejable para su transporte manual, se ha asumido que se podrían transportar 2 cajas en cada viaje. Por tanto, según esta adaptación, se estima un tiempo de desplazamiento de 1 minuto por caja, permitiendo calcular el coste asociado a la aceptación de envases de vidrio en función de este nuevo enfoque para cada tipo de establecimiento.

	Envases de vidrio	Tiempo de trabajo	Coste
Unidad	miles	horas	euros
Hipermercado (> 2.500 m ²)	189,254	289,138	3,565,078
Supermercado (1.000 - 2.499 m ²)	747,782	1,142,444	14,086,336
Supermercado (400 - 999 m ²)	287,793	439,684	5,421,300
Supermercado (100 - 399 m ²)	132,793	202,878	2,501,481
Pequeño comercio	93,489	142,831	1,761,106
Gasolineras, Áreas de servicio	33,465	51,127	630,393
Subtotal comercios	1,484,576	2,268,102	27,965,694
Hoteles y restaurantes	237,618	363,028	3,532,260
Café bar	538,460	822,647	8,004,353
Consumo nocturno	68,476	104,616	1,017,917
Subtotal HORECA	844,554	1,290,291	12,554,530
TOTAL	2,329,130	3,558,393	40,520,225

Tabla 35. Desglose del cálculo del coste laboral

Fuente: Elaboración propia

En cuanto el almacenamiento y custodia de los envases, se debe calcular el coste de la utilización del suelo de los establecimientos. El espacio comercial ocupado corresponde a la huella que dejan las bolsas en el suelo, sumado a un área equivalente para la manipulación y un metro cuadrado adicional para facilitar la movilidad del empleado. Por otro lado, el espacio de almacenamiento se calcula según una capacidad máxima de 6 bolsas en supermercados pequeños y medianos, y 3 bolsas en establecimientos más pequeños (como comercios minoristas, gasolineras y horeca), teniendo en cuenta que se pueden apilar hasta 3 bolsas, y añadiendo 2 m² por bolsa para garantizar su manejo adecuado.

Con la incorporación del vidrio reutilizable en el sistema, se considera que el espacio comercial necesario no varía, ya que se comparte con la recepción de envases de otros materiales. Respecto al espacio de almacenamiento, se asume la hipótesis de que los almacenes destinan un 50% más de espacio para acomodar el vidrio. Partiendo de la premisa de que la capacidad de bolsas tiene en cuenta apilar hasta 3 de ellas, y que la huella de una bolsa equivale a 1 metro cuadrado, se obtiene el almacenamiento máximo de vidrio por establecimiento (tabla 36).

Tipo de Establecimiento	Grandes	Mediano y pequeño	Pequeño y horeca
Capacidad bolsas otros materiales	9	6	3
Almacenamiento vidrio neto (m2)	1.5	1	0.5
Espacio extra (m2)	3	2	1
Espacio vidrio (m2)	4.5	3	1.5

Tabla 36. Espacio destinado al almacenamiento de envases de vidrio por tipo de establecimiento

Fuente: Elaboración propia

	Coste
Unidad	euros
Hipermercado (> 2.500 m2)	226,262
Supermercado (1.000 - 2.499 m2)	1,844,137
Supermercado (400 - 999 m2)	1,371,255
Supermercado (100 - 399 m2)	3,365,900
Pequeño comercio	4,011,815
Gasolineras, Áreas de servicio	1,340,553
Subtotal comercios	12,159,923
Hoteles y restaurantes	10,398,048
Café bar	29,105,223
Consumo nocturno	3,026,507
Subtotal HORECA	42,529,777
TOTAL	54,689,700

Tabla 37. Coste total por el alquiler del m2

Fuente: Elaboración propia

Por último, el material requerido para el almacenamiento de envases plásticos y metálicos (bolsas y sistemas de cierre), se calcula en función de su capacidad estimada (apartado 5.3). Con esta información, y considerando los precios unitarios (tabla 33), se determina el coste anual necesario para su adquisición y uso, que coincide con el del SDDR2.

	SDDR2
Bolsas (millones uds.)	30,93
Sistemas de cierre (millones uds.)	30,93
Inversión en bolsas (millones €)	65,89
Inversión en sistemas de cierre (millones €)	1,99

Tabla 38. Coste en bolsas y sistemas de cierre para los envases de plástico y metal del SDDR3

Fuente: Tragsatec (2021)

MODELO DE GESTIÓN AUTOMÁTICA

Dado que el vidrio retornable no se gestiona mediante devolución automática, los escenarios SDDR2 y SDDR3 comparten un modelo de gestión automática idéntico. Por ello, se utilizarán directamente los resultados del estudio original para esta modalidad, sin necesidad de recalculer sus impactos.

Basándose en el dimensionamiento realizado en el apartado 5.2., se calcula el coste de inversión requerido para las máquinas automáticas necesarias en el sistema. Asimismo, considerando el número estimado de bolsas necesarias, se determina su coste anual.

	SDDR2
Nº Máquinas (uds.)	12,146
Inversión en máquinas (millones €)	392,560

Tabla 39. Inversión en maquinaria para el SDDR3

Fuente: Tragsatec (2021)

	SDDR2
Bolsas (millones uds.)	2,83
Sistemas de cierre (millones uds.)	2,83
Cajas (millones uds.)	-
Inversión en bolsas (millones €)	9,04
Inversión en sistemas de cierre (millones €)	0,18
Inversión en cajas (millones €)	-

Tabla 40. Inversión total en bolsas y sistemas de cierre

Fuente: Tragsatec (2021)

Considerando todos los costes fijos y variables asociados al uso de las máquinas, junto con el coste del espacio utilizado en los establecimientos, se calcula el coste total anual por establecimiento.

COSTE DE GESTIÓN TOTAL

Basándose en los cálculos presentados previamente, se determina el coste total de gestión del vidrio. Sumando este valor a los costes de gestión de botellas de plástico y latas (SDDR2), se obtiene el coste total de gestión del sistema SDDR3.

COSTES TOTALES DE GESTIÓN			
Sub-escenario / Establecimiento	VIDRIO (€/año)	SDDR2 (€/año)	TOTAL SDDR3
Hipermercados	3,791,340	12,688,651	16,479,991
Supermercados (1.000 - 2.499 m ²)	15,930,473	51,443,097	67,373,570
Supermercados (400 - 999 m ²)	6,792,556	55,320,753	62,113,309
Supermercados (100 - 399 m ²)	5,867,381	55,204,187	61,071,568
Pequeños comercios	5,772,921	37,400,014	43,172,935
Gasolineras	1,970,946	12,855,732	14,826,678
TOTAL COMERCIOS	40,125,617	224,912,436	265,038,053
Café-bar	37,109,576	260,686,195	297,795,771
Hoteles y restaurantes	13,930,308	98,442,114	112,372,422
Consumo nocturno	4,044,424	28,572,060	32,616,484
TOTAL HORECA	55,084,308	387,700,370	442,784,678
TOTAL	95,209,924	612,612,807	707,822,731

Tabla 41. Costes totales de gestión

Fuente: Elaboración propia

5.3.4.4 Costes de Recogida y Transporte

Para la recogida y transporte de los envases desde los establecimientos hasta los centros de conteo y clasificación, se plantea un sistema independiente y exclusivo para el vidrio. En este apartado, se presentarán únicamente los cálculos y la metodología específicos para la gestión del vidrio. Posteriormente, igual que en apartados anteriores, los resultados del SDDR2 del estudio original se integrarán con los del vidrio para obtener los resultados completos del SDDR3.

La valoración económica de esta parte del sistema distingue entre dos escenarios:

1. **Recogida directa:** Establecimientos en los que la recogida es gestionada directamente por el OCG. En este modelo, los envases son enviados directamente a los centros de conteo y clasificación.
2. **Logística inversa:** Establecimientos que trasladan los envases hasta los centros logísticos, optimizando recursos al aprovechar los desplazamientos de los camiones de reparto. Adicionalmente, se fletan camiones gestionados por la OCG para transportar los envases desde los centros logísticos hasta los centros de conteo y clasificación.

Aunque la logística inversa es preferible por su eficiencia en el uso de recursos, el porcentaje de establecimientos aptos para esta modalidad ya se ha dimensionado previamente en el apartado de viabilidad técnica. Por lo tanto, esta base será utilizada para integrar los costes asociados al transporte del vidrio en el sistema.

RECOGIDA DIRECTA (RD)

En este modelo, los camiones gestionados por la OGC se desplazan a los establecimientos para recoger los envases vacíos. Durante su ruta, los camiones van realizando paradas en distintos establecimientos hasta completar su capacidad de carga. Una vez llenos, se dirigen a los centros de conteo y clasificación, donde descargan los envases.

El coste de la operación de recogida directa se compone de los costes asociados a los camiones y el coste laboral de los transportistas. Los costes de los vehículos se calculan sumando los costes fijos y variables:

Costes fijos:

- Cuota anual basada en el precio del camión y remolque, financiada en un periodo de amortización de cinco años.
- Coste de seguros e impuestos mínimos necesarios para la circulación.

Costes variables:

- Combustible: Calculado según los kilómetros recorridos anualmente por cada camión y el consumo correspondiente a la carga transportada.
- Neumáticos: Determinado a partir del número de neumáticos y su tasa promedio de reposición.
- Mantenimiento y reparación: Asociado al kilometraje anual del camión.

Para el desarrollo del modelo de costes, Tragsatec (2021) proporciona un esquema detallado con los distintos componentes involucrados en la operación del sistema.

RECOGIDA DIRECTA	
CONCEPTO	VALOR Y FUENTE
VEHÍCULOS (PARTE FIJA) <ul style="list-style-type: none"> - Precio total del vehículo (camión y carrozado) - Seguros e impuestos 	<p>Camión de 9,3 t:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Precio de venta del camión (2018): 69.853,25 €. - Precio de venta del carrozado (2018): 7.577,55 €. - Seguros e impuestos: Responsabilidad civil del camión (2018): 1.573,69 €. Responsabilidad civil de la mercancía (2018): 113,80 €. Seguro de la mercancía (2018): 384,59 €. <p>Camión de 5 t:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Precio de venta del camión (2018): 42.097,28 €. - Precio de venta del carrozado (2018): 6.736,41 €. - Seguros e impuestos: Responsabilidad civil del camión (2018): 1265,45 €. Responsabilidad civil de la mercancía (2018): 113,80 €. Seguro de la mercancía (2018): 384,59 €. <p><i>Fuente: Observatorio de costes del transporte de mercancías por carretera, enero2018</i> https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/observatoriocostes_enero2018.pdf</p>
VEHÍCULOS (PARTE VARIABLE) <ul style="list-style-type: none"> - Combustible - Neumáticos - Mantenimiento y reparación 	<p>Camión de 9,3 t:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Precio del combustible (IVA incluido) (2018): 1,1618 €/litro. - Precio por neumático (2018): 598,38 €/unidad. - Coste de mantenimiento (2018): 0,0178 €/km. - Coste de reparación (2018): 0,0237 €/km. <p>Camión de 5 t:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Precio del combustible (IVA incluido) (2018): 1,1618 €/litro. - Precio por neumático (2018): 410,65 €/unidad. - Coste de mantenimiento (2018): 0,0107 €/km. - Coste de reparación (2018): 0,0178 €/km. <p><i>Fuente: Observatorio de costes del transporte de mercancías por carretera, enero2018</i></p>

	https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/observatoriocostes_enero2018.pdf
TRANSPORTISTA	<p>Se contabiliza el tiempo invertido por el transportista dentro de una jornada laboral de máximo 9 horas diarias.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Coste laboral medio conductor/reparto (2021): 14,21 €/hora. Valormonetario equivalente (2018): 13,84 €/hora <p><i>Fuente: Encuesta trimestral de coste laboral (ETCL); Primer trimestre de 2021. https://www.ine.es/daco/daco42/etcl/etcl0121.pdf</i></p>

Tabla 42. Estructura de costes para los modelos de transporte de los envases con recogida directa

Fuente: Tragsatec (2021)

Costes fijos de vehículos:

En primer lugar, se debe dimensionar el número de camiones necesarios para satisfacer la necesidad de recogida directa de los establecimientos. Para ello, se calcula la frecuencia máxima de recogida, es decir, el número de viajes semanales que debe realizar el camión para garantizar que los envases acumulados en los establecimientos no superen su capacidad máxima de almacenamiento.

Para determinar esta capacidad máxima, se considera el espacio de almacenamiento disponible, previamente dimensionado en metros cuadrados para cada tipo de establecimiento, las dimensiones de las cajas de plástico utilizadas para transportar las botellas (20x30x25 cm) y su capacidad de apilado. Se ha asumido que es posible apilar hasta 8 cajas, ya que suman una altura de 2 metros, lo cual es manejable y alcanzable para cualquier operario. A partir de estos datos, se obtiene la capacidad total de almacenamiento de envases por tipo de establecimiento.

Teniendo en cuenta la recogida diaria de envases de vidrio se obtiene la frecuencia máxima (tabla 43).

	Almacenamiento máximo	Recogida al día	Frecuencia max
Unidad	envases	envases	
Hipermercado (> 2.500 m ²)	2,304	1,193	1.9
Supermercado (1.000 - 2.499 m ²)	2,304	578	4.0
Supermercado (400 - 999 m ²)	1,536	154	10.0
Supermercado (100 - 399 m ²)	1,536	38	40.9
Pequeño comercio	768	11	69.3
Gasolineras, Áreas de servicio	768	12	64.7

Tabla 43. Cálculo de la frecuencia máxima

Fuente: Elaboración propia

Para optimizar el transporte, se determina el máximo número de cajas que puede llevar un camión según su capacidad de carga. Los camiones utilizados serán de 9,3 o 5 toneladas según el tamaño de los establecimientos a cubrir.

Estas cajas se colocan hasta 64 de ellas sobre pallets en los camiones. Considerando el peso medio de una botella de vidrio retornable vacía (300g), el peso de la caja vacía (1,2 kg) y el de un pallet (20kg) se calcula la cantidad máxima de cajas que puede cargar el camión, teniendo en cuenta que el último pallet no necesariamente debe estar completo.

	Camión utilizado	Capacidad envases/camión	Capacidad pallets/camión
Hipermercado (> 2.500 m ²)	9.3t	25,446	16.6
Supermercado (1.000 - 2.499 m ²)	9.3t	25,446	16.6
Supermercado (400 - 999 m ²)	9.3t	25,446	16.6
Supermercado (100 - 399 m ²)	5.0t	13,689	8.9
Pequeño comercio	5.0t	13,689	8.9
Gasolineras, Áreas de servicio	5.0t	13,689	8.9

Tabla 44. Capacidad de transporte de envases y pallets de los camiones

Fuente: Elaboración propia

Dividiendo esta capacidad máxima entre la cantidad almacenada en cada establecimiento, se determina el número de establecimientos que un camión puede cubrir en cada viaje. Además, se asume que el camión solo se desplaza a un nuevo establecimiento si puede recoger al menos la mitad de su carga.

Con esto se puede calcular el número de camiones necesarios para dar cobertura a los envases devueltos en cada establecimiento (fórmula utilizada por Tragsatec):

$$N^{\circ} \text{ de camiones} = \frac{A * B}{C * D}$$

Donde:

A: N° de establecimientos de la misma tipología que funcionan con el mismo sistema de gestión y recogida.

B: N° de visitas a la semana a cada establecimiento en función de su capacidad.

C: N° de establecimientos recogidos en cada viaje.

D: N° de jornadas laborales a la semana.

	N° establecimientos	Visitas/sem	Establecimientos /viaje	Jornadas a la semana	N° camiones
Hipermercado (> 2.500 m2)	45	3.62	11	7	3
Supermercado (1.000 - 2.499 m2)	368	1.76	11	7	9
Supermercado (400 - 999 m2)	376	0.70	17	7	3
Supermercado (100 - 399 m2)	3026	0.17	9	7	9
Pequeño comercio	9617	0.10	18	7	8
Gasolineras, Áreas de servicio	4017	0.11	18	7	4
TOTAL					36

Tabla 45. Dimensionamiento número de camiones necesario en recogida directa

Fuente: Elaboración propia

Basándose en los precios detallados en la tabla 42, se calcula el coste fijo anual asociado a los vehículos de transporte. Este cálculo incluye la amortización del camión y el remolque, así como los gastos correspondientes a seguros e impuestos necesarios para su operación.

	Camión+ carrozado	Seguros e impuestos	Vida útil	€/año
Hipermercado (> 2.500 m ²)	77,431	2,070	15	21,696
Supermercado (1.000 - 2.499 m ²)	77,431	2,070	15	65,088
Supermercado (400 - 999 m ²)	77,431	2,070	15	21,696
Supermercado (100 - 399 m ²)	48,834	1,764	15	45,175
Pequeño comercio	48,834	1,764	15	40,155
Gasolineras, Áreas de servicio	48,834	1,764	15	20,078
TOTAL				213,889

Tabla 46. Coste fijo derivado del transporte RD

Fuente: Elaboración propia

Costes variables de vehículos:

El coste variable de los camiones se calcula sumando los costes de combustible consumido, mantenimiento del vehículo y reposición de neumáticos.

Para estimar el kilometraje recorrido por camión, que sirve como base para evaluar el consumo de diésel, se utiliza la tabla proporcionada por Tragsatec, que detalla las distancias entre dos puntos. Esta tabla permite determinar con precisión el impacto económico de los desplazamientos en función de las características específicas del sistema.

CONCEPTO	VALOR (Km)	FUENTE
Distancia origen - 1 ^{er} establecimiento	25	ESCI-UPF (2017)
Distancia último establecimiento - centro de recuento y clasificación	155	ENT (2021)
Distancia entre 2 establecimientos:		
- Hipermercados	15	ESCI-UPF (2017)
- Supermercados (1.000 - 2.499 m ²)	10	ESCI-UPF (2017)
- Supermercados (400 - 999 m ²)	5	ESCI-UPF (2017)
- Supermercados (100 - 399 m ²), pequeños comercios y HORECA	2,5	ESCI-UPF (2017)
- Gasolineras, espacios públicos	5	ESCI-UPF (2017)

Tabla 47. Hipótesis de distancias asumidas para el modelo de transporte con recogida directa

Fuente: Tragsatec (2021)

Basándose en estas distancias, considerando el número de establecimientos que se puede recoger por viaje en cada caso y asumiendo que el recorrido de regreso al garaje desde el

centro de conteo equivale a la distancia entre este y el último establecimiento visitado, se calcula la distancia total del trayecto.

Unidad (km)	Origen - 1er est	Est - est	Est - conteo	Distancia total trayecto
Hipermercado (> 2.500 m ²)	25	15	155	485
Supermercado (1.000 - 2.499 m ²)	25	10	155	435
Supermercado (400 - 999 m ²)	25	5	155	415
Supermercado (100 - 399 m ²)	25	2.5	155	355
Pequeño comercio	25	2.5	155	378
Gasolineras, Áreas de servicio	25	5	155	420

Tabla 48. Cálculo de los trayectos por categoría de establecimiento

Fuente: Elaboración propia

Para calcular el consumo de diésel en el trayecto, es necesario diferenciar entre tres etapas, ya que el consumo varía en función de la carga y el tipo de desplazamiento:

1. **Trayecto con el camión vacío:** Comprende la distancia recorrida antes de llegar al primer establecimiento y la vuelta al garaje después de completar todo el trayecto.
2. **Trayecto de carga progresiva (recogida):** Involucra los desplazamientos entre establecimientos mientras el camión va acumulando carga hasta alcanzar su capacidad máxima.
3. **Trayecto con el camión lleno:** Corresponde al transporte desde el último establecimiento hasta el centro de conteo y clasificación.

Unidad (km)	Distancia vacío	Distancia cargando	Distancia lleno
Hipermercado (> 2.500 m ²)	180	150	155
Supermercado (1.000 - 2.499 m ²)	180	100	155
Supermercado (400 - 999 m ²)	180	80	155
Supermercado (100 - 399 m ²)	180	20	155
Pequeño comercio	180	43	155
Gasolineras, Áreas de servicio	180	85	155

Tabla 49. Distancias utilizadas para el cálculo del consumo de diésel en RD

Fuente: Elaboración propia

Para calcular con mayor precisión el consumo de diésel en cada etapa, se tienen en cuenta las siguientes características del transporte:

- **Consumo por peso de carga:** Para la etapa de recogida, el consumo de combustible se modela en función del peso de los residuos recogidos (l/t), como sugiere Larsen et al. (2009), ya que las distancias recorridas no son un factor determinante en este tipo de operaciones. Ante la falta de datos específicos sobre el consumo de combustible durante la recogida de envases retornados, se ha asumido que el consumo es equivalente al utilizado en las recogidas del sistema SCRAP, es decir, 5 litros/t vidrio (Tragsatec, 2021).
- **Diferencia de eficiencia entre camión vacío y lleno:** Según Hogg et al. (2012), un camión vacío puede recorrer aproximadamente 1,7 veces la distancia que cubriría un camión lleno con la misma cantidad de combustible. Este factor se utiliza para ajustar los kilómetros recorridos con y sin carga, ya que Tragsatec sólo proporciona el consumo de los camiones cargados.

De esta manera en las tables 50 y 52 se detallan los costes de la recogida y transporte al año, considerando 351 días hábiles.

	Toneladas	Consumo (l/tn)	Coste del diesel (euro/litro)	€/año
Hipermercado (> 2.500 m ²)	4,706	5	1.1618	27,336.64
Supermercado (1.000 - 2.499 m ²)	18,594	5	1.1618	108,011.09
Supermercado (400 - 999 m ²)	21,468	5	1.1618	124,710.03
Supermercado (100 - 399 m ²)	9,906	5	1.1618	57,542.50
Pequeño comercio	9,299	5	1.1618	54,015.27
Gasolineras, Áreas de servicio	4,161	5	1.1618	24,169.51
				395,785

Tabla 50. Coste anual en la recogida de envases

Fuente: Elaboración propia

Origen	Destino	Tipo de recogida	Tipo de establecimiento origen	Tipo de camión	Consumo diésel (l/km/t)	Distancia (km)
Domicilio – retorno manual	Planta conteo y clasificación	Recogida específica	Pequeño comercio	5t	0,025	155
				80 km/h		
			Mediano y gran comercio	9,3t	0,018	
				80 km/h		

Tabla 51. Detalles del consumo del trayecto de recogida directa

Fuente: ENT (2021)

Para estimar el consumo de los camiones durante el transporte, se ha utilizado el dato proporcionado por ENT (2021), calculado en función del tipo de camión empleado y de su velocidad de operación.

	Distancia lleno equivalente	Camión utilizado	Consumo (l/km/t)	Coste del diésel (euro/litro)	€/año
Hipermercado (> 2.500 m ²)	261	9.3t	0.018	1.1618	53,426.89
Supermercado (1.000 - 2.499 m ²)	261	9.3t	0.018	1.1618	160,280.67
Supermercado (400 - 999 m ²)	261	9.3t	0.018	1.1618	53,426.89
Supermercado (100 - 399 m ²)	261	5.0t	0.025	1.1618	119,683.89
Pequeño comercio	261	5.0t	0.025	1.1618	106,385.68
Gasolineras, Áreas de servicio	261	5.0t	0.025	1.1618	53,192.84
					546,397

Tabla 52. Coste anual del transporte de envases

Fuente: Elaboración propia

Además, los costes variables también incluyen el mantenimiento y reparación de los camiones, calculados en función del total de kilómetros recorridos al año, independientemente de la carga transportada. Asimismo, se considera el coste anual de neumáticos, basado en su tasa de reposición media.

Dado que esta tasa no se especifica en el estudio original de Tragsatec (2021), se ha estimado extrapolando el coste de neumáticos del SDDR1 por año y camión, y aplicándolo proporcionalmente al número de camiones empleados para la recogida de vidrio. Esta aproximación permite integrar de manera coherente este componente en el modelo de costes.

	Distancia total al año	Coste mant/km	Mant/camion* año	Mant/año
Hipermercado (> 2.500 m2)	170,235	0.0415	7,065	21,194
Supermercado (1.000 - 2.499 m2)	152,685	0.0415	6,336	57,028
Supermercado (400 - 999 m2)	145,665	0.0415	6,045	18,135
Supermercado (100 - 399 m2)	124,605	0.0285	3,551	31,961
Pequeño comercio	132,503	0.0285	3,776	30,211
Gasolineras, Áreas de servicio	147,420	0.0285	4,201	16,806
				175,335

Tabla 53. Coste anual en mantenimiento y reparaciones de los camiones

Fuente: Elaboración propia

	Nº camiones	Coste/camión	(€/AÑO)
SDDR1	408	6,935	2,829,659
Sistema Vidrio	36	6,935	249,676

Tabla 54. Coste anual por la reposición de neumáticos de los camiones

Fuente: Elaboración propia

Coste laboral:

Por último, se calcula el coste laboral asociado. Para ello, se utilizan los siguientes datos proporcionados por Tragsatec (2021):

CONCEPTO	VALOR (min)	FUENTE
Tiempo de firma de albaranes	1.5	ESCI-UPF (2017)
Tiempo de bocadillo/descanso	45	https://www.boe.es/doue/2006/102/L00001-00013.pdf
Tiempo de descarga en el centro de recuento y clasificación	10	ESCI-UPF (2017)

Tabla 55. Estimaciones de la duración de actividades

Fuente: Tragsatec (2021)

El resto de las hipótesis de tiempo proporcionadas por Tragsatec se descartan, ya que las modificaciones introducidas en el almacenamiento y la logística respecto al estudio original las invalidan. Por ello, se han realizado nuevas estimaciones propias, las cuales han sido validadas por Estrella Galicia:

- **Transporte interno:** Las cajas se trasladan desde el almacenamiento hasta el camión utilizando una carretilla manual con capacidad para 12 cajas. Este recorrido, ida y

vuelta, toma 2 minutos, asumiendo que es igual que el traslado desde el almacenamiento a la zona comercial.

- **Carga en el camión:** Cada caja se sube y coloca manualmente en el camión sobre pallets (montando hasta 64 cajas), estimándose un tiempo de 10 segundos por caja.
- **Descarga en el destino:** Se considera un tiempo fijo de 10 minutos para la descarga (Tragsatec, 2021), más 2 minutos por pallet descargado.

Los pallets no requieren la aplicación de film estirable para asegurar la carga durante la recogida, gracias a la forma apilable de las cajas y al diseño del suelo de los camiones de recogida, que cuenta con una ligera inclinación que permite que el peso de las cajas se apoye entre sí, logrando un equilibrio estable.

Para el desplazamiento entre los distintos puntos (origen, establecimientos y planta), se calcula el tiempo en función de las distancias indicadas en la tabla 49 y las velocidades medias asumidas: 40 km/h en trayectos interurbanos y 80 km/h en trayectos extraurbanos.

Además, se incluye el tiempo necesario para la firma de albaranes en cada establecimiento y los descansos obligatorios por jornada laboral.

	Albarán	Desc.	Recogida	Transp.	Descarga	Total (horas)	Salario	Coste/día *camión	Coste total anual
Hiper	17	45	352	430	34	14.6	13.8	202	213,208
Super grande	17	45	352	369	34	13.6	13.8	188	594,687
Super mediano	26	45	385	344	34	13.9	13.8	192	202,641
Super pequeño	14	45	204	274	18	9.2	13.8	128	404,027
Pequeño comercio	27	45	204	300	18	9.9	13.8	137	384,749
Gasol.	27	45	204	350	18	10.7	13.8	149	208,713
									2,008,026

Tabla 56. Cálculo del coste laboral por trayecto por tipo de establecimiento

Fuente: Elaboración propia

Si las horas de trabajo diarias superan el máximo permitido (9 horas), será necesario que el transportista reciba apoyo en las tareas de recogida y descarga de envases para reducir su tiempo de trabajo efectivo. Sin embargo, esta medida no afecta al coste total, ya que el gasto laboral se mantiene constante independientemente del reparto de tareas.

LOGÍSTICA INVERSA (LI)

En esta modalidad de transporte, los operadores logísticos que distribuyen las bebidas llenas a sus clientes realizan logística inversa, recogiendo los envases vacíos devueltos en cada establecimiento durante su ruta habitual. Una vez completada la ruta, los camiones descargan los envases vacíos en el centro logístico, donde un transporte contratado por el OGC (con camiones de 22 toneladas) recoge los envases y los transporta hasta los centros de conteo y clasificación.

Para dimensionar la cantidad de cajas que pueden ser transportadas por camión, se considera la capacidad volumétrica máxima, que en camiones de 22 toneladas suele ser de 33 pallets.

Igual que en la recogida directa, para el desarrollo del modelo de costes, Tragsatec (2021) proporciona un esquema detallado con los distintos componentes involucrados en la operación del sistema.

MODELO DE TRANSPORTE. LOGÍSTICA INVERSA	
CONCEPTO	VALOR Y FUENTE
VEHÍCULOS (PARTE FIJA) <ul style="list-style-type: none"> - Precio total del vehículo (camión, carrozado y remolque) - Seguros e impuestos 	<p>Camión de 22 t:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Precio de venta del camión y carrozado (2018): 105.595,18 €. - Precio de venta del remolque (2018): 29.783,99 €. - Seguros e impuestos: <ul style="list-style-type: none"> Responsabilidad civil del camión (2018): 1.518,22€. Responsabilidad civil del remolque (2018): 478,97 € Responsabilidad civil de la mercancía (2018): 113,80 €. Seguro de la mercancía (2018): 644,20 €. <p><i>Fuente: Observatorio de costes del transporte de mercancías por carretera, enero 2018</i></p> <p>https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/observatoriocostes_enero2018.pdf</p>

<p>VEHÍCULOS(PARTE VARIABLE)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Combustible - Neumáticos - Mantenimiento y reparación 	<p>Camión de 22 t:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>Precio del combustible (IVA incluido) (2018):</u> 1,1618 €/litro. - <u>Precio por neumático (2018):</u> 457,58 €/unidad. - <u>Coste de mantenimiento (2018):</u> 0,0166 €/km. - <u>Coste de reparación (2018):</u> 0,0268 €/km. <p><i>Fuente: Observatorio de costes del transporte de mercancías por carretera, enero2018</i></p> <p>https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/observatoriocostes_enero2018.pdf</p>
<p>TRANSPORTISTA</p>	<p>Se contabiliza el tiempo invertido por el transportista dentro de una jornada laboral de máximo 9 horas diarias.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Coste laboral medio conductor/reparto (2021): 14,21 €/hora. Valor monetario equivalente (2018): 13,84 €/hora <p><i>Fuente: Encuesta trimestral de coste laboral (ETCL); Primer trimestre de 2021.</i> https://www.ine.es/daco/daco42/etcl/etcl0121.pdf</p>
<p>OCUPACIÓN DE SUELO LOGÍSTICO</p>	<p>El coste de ocupación del suelo en los centros logísticos es equivalente al coste de alquiler de suelo industrial: 4,75 €/m² (2016). Valor monetario equivalente (2018): 4,92 €/m²</p> <p><i>Fuente: Informe del mercado industrial y logístico en España (Madrid y Barcelona), 2016.</i></p>

Tabla 57. Estructura de costes para los modelos de transporte de los envases con logística inversa

Fuente: Tragsatec (2021)

Se asume que la logística inversa realizada por los operadores logísticos genera un coste adicional mínimo, limitado al peso de los envases vacíos transportados hasta el centro logístico y al tiempo necesario para que los operarios descarguen los envases vacíos en dicho centro. El tiempo empleado en la recogida de los envases vacíos en los establecimientos se considera despreciable, ya que los movimientos necesarios para la descarga de envases llenos permiten realizar simultáneamente esta operación. Además, también se debe compensar el espacio de los centros logísticos destinado a la ocupación de los envases vacíos.

Dimensionamiento de centros logísticos y camiones OCG

Para dimensionar el número mínimo de centros logísticos necesarios, se ha asumido que cada centro dispone de una capacidad de almacenamiento de envases vacíos equivalente a la capacidad de carga de un camión de 22 toneladas. Bajo esta hipótesis, cada día el centro logístico alcanzaría su capacidad máxima de almacenamiento y un camión realizaría un

único desplazamiento al centro, donde se cargaría por completo y se trasladaría al centro de conteo y clasificación.

Considerando la capacidad de carga de un camión y la cantidad diaria de envases recogidos en establecimientos con logística inversa, se determina el número de centros logísticos necesarios y, en consecuencia, el número de camiones de la OCG requeridos para cubrir la operación.

	Camión utilizado	Capacidad envases/camión	Unidades recogidas/día	Centros logísticos necesarios
Hipermercado	22.0t	50,688	485,506	10
Supermercado grande	22.0t	50,688	1,917,620	38
Supermercado mediano	22.0t	50,688	574,038	12
Supermercado pequeño	22.0t	50,688	264,821	6
Pequeño comercio	22.0t	50,688	159,813	4
Gasolinera	22.0t	50,688	47,671	1
Café-bar	22.0t	50,688	1,534,073	31
Rest./hotel	22.0t	50,688	676,975	14
Cons. Nocturno	22.0t	50,688	195,089	4
				120

Tabla 58. Dimensionamiento del número de camiones de la OCG necesarios en LI

Fuente: Elaboración propia

Costes repercutidos en los operadores logísticos

Al igual que en el caso de la recogida directa, para el cálculo del consumo de diésel es necesario diferenciar dos etapas: la recogida de los envases y el transporte de las cargas hasta su destino.

En el caso de la logística inversa, el consumo de combustible de la ruta entre el centro logístico y los puntos de venta se distribuye de la siguiente manera: un 90% se asigna a los productos distribuidos y un 10% a los envases vacíos recogidos.

Por tanto, en la recogida de envases, se imputa únicamente el 10% del consumo, equivalente a 5 litros por tonelada. Además, Tragsatec (2021), también proporciona un consumo de diésel en el transporte de logística inversa en función del peso del camión.

De este modo, el consumo de combustible asignado a la logística inversa imputable al transporte de los envases vacíos se calcula como la diferencia entre el consumo del camión con un 10% de carga y el consumo del camión vacío.

Para el cálculo del consumo del camión se ha considerado su peso (5tn o 9.3tn) además de una velocidad media de 59 km/h.

	Toneladas	Consumo (l/tn)	Coste del diesel (euro/litro)	€/año
Hipermercado (> 2.500 m ²)	42,353	0.5	1.1618	24,603
Supermercado (1.000 - 2.499 m ²)	167,344	0.5	1.1618	97,210
Supermercado (400 - 999 m ²)	50,093	0.5	1.1618	29,099
Supermercado (100 - 399 m ²)	23,113	0.5	1.1618	13,427
Pequeño comercio	13,948	0.5	1.1618	8,102
Gasolineras, Áreas de servicio	4,161	0.5	1.1618	2,417
Café-bar	213,278	0.5	1.1618	123,893
Rest./hotel	94,118	0.5	1.1618	54,673
Cons. Nocturno	27,124	0.5	1.1618	15,756
				369,181

Tabla 59. Coste repercutido por la recogida en logística inversa

Fuente: Elaboración propia

	Toneladas	Distancia lleno (km)	Consumo (l/km/t)	Coste del diesel (euro/litro)	€/año
Hipermercado (> 2.500 m ²)	42,353	59	0.007	1.1618	20,322
Supermercado (1.000 - 2.499 m ²)	167,344	59	0.007	1.1618	80,295
Supermercado (400 - 999 m ²)	50,093	59	0.007	1.1618	24,036
Supermercado (100 - 399 m ²)	23,113	59	0.009	1.1618	14,259
Pequeño comercio	13,948	59	0.009	1.1618	8,605
Gasolineras, Áreas de servicio	4,161	59	0.009	1.1618	2,567
Café-bar	213,278	59	0.009	1.1618	131,575
Rest./hotel	94,118	59	0.009	1.1618	58,063
Cons. Nocturno	27,124	59	0.009	1.1618	16,733
					356,455

Tabla 60. Coste repercutido del transporte realizado por logística inversa

Fuente: Elaboración propia

En este caso, se incluye también el coste asociado al espacio utilizado en los centros logísticos para fines del SDDR. Este cálculo se realiza contabilizando la huella de cada pallet (1 metro cuadrado) que soporta 64 cajas de vidrio.

	Capacidad CL		Nº Centros Logísticos	Precio	TOTAL
Unidades	pallets	m ² /CL		euro/m ² *mes	euros/año
Cantidad	33	33	120	4.92	233,798

Tabla 61. Coste del espacio utilizado en centros logísticos

Fuente: Elaboración propia

Coste fijo camiones OCG

Teniendo en cuenta el esquema de costes presentado por Tragsatec, se calcula el coste fijo asociado a los camiones necesarios para la OCG, en este caso todos de 22tn, en la operación de transporte desde los centros logísticos hasta los centros de conteo, clasificación y lavado. Este cálculo incluye tanto la cuota anual derivada del precio del camión, su carrozado y remolque, calculada considerando un periodo de amortización de cinco años, según lo establecido en el estudio de ESCI-Upf (2017). Además, se incluye el coste de los seguros e impuestos mínimos necesarios para que los vehículos puedan circular legalmente.

	Camión + carrozado	Seguros e impuestos	Vida útil	€/año
Unidad	euros	euros	años	euros
Cantidad	135,379	2,755	15	1,413,609

Tabla 62. Coste fijo de los camiones de la OCG para LI

Fuente: Elaboración propia

Coste variable camiones OCG

Los costes variables asociados al transporte son los siguientes: el coste de combustible, calculado en función de los kilómetros recorridos anualmente por cada camión y el consumo correspondiente a la carga transportada; el coste de los neumáticos, estimado a partir de la extrapolación del coste por camión del SDDR1; y el coste de mantenimiento y reparación, relacionado directamente con los kilómetros recorridos anualmente por los camiones.

En primer lugar, se calcula el kilometraje diario de los camiones en sus trayectos, utilizando los datos proporcionados por Tragsatec (tabla 63). Este cálculo incluye la distancia recorrida desde el origen al centro logístico, desde el centro logístico hasta el centro de conteo, clasificación y lavado, y el trayecto de vuelta al origen, considerando que esta última distancia es equivalente a la existente entre los centros.

Además, para determinar el consumo de combustible, es necesario diferenciar entre los kilómetros recorridos con carga y sin carga, siguiendo la metodología aplicada en apartados anteriores (tabla 64). Con esta información y basándonos en el esquema de costes de Tragsatec, se calcula el coste total asociado al consumo de diésel para el transporte de los camiones (tabla 65).

	Origen - Centro Logístico	Centro Logístico - Conteo	Distancia total/ trayecto
Unidades	km	km	km
Cantidad	25	155	335

Tabla 63. Cálculo de la distancia del trayecto

Fuente: Elaboración propia

	Distancia vacío	Distancia lleno	Distancia lleno equivalente
Unidades	km	km	km
Cantidad	205	155	276

Tabla 64. Distancias consideradas en la evaluación del consumo

Fuente: Elaboración propia

	Total envases LI	Distancia lleno	Consumo	Coste del diésel	Total
Unidades	toneladas	km	l/km/t	euro/litro	€/año
Cantidad	635,532	276	0.011	1.1618	2,238,321

Tabla 65. Coste anual del transporte de los camiones de la OCG en LI

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, se calcula el coste variable asociado al mantenimiento, las reparaciones necesarias y el recambio de neumáticos de los camiones.

	Distancia total al año	Coste mantenimiento	Mantenimiento anual	Total
Unidades	km/año*camión	€/km	€/año*camión	€/año
Cantidad	117,585	0.0434	5,103	612,383

Tabla 66. Coste del mantenimiento y reparación de los camiones de la OCG en LI

Fuente: Elaboración propia

	Nº camiones	Coste/camión	Total
Unidades	camiones	€/camión	€/año
Cantidad	120	10,981	1,317,720

Tabla 67. Coste de la reposición de neumáticos en los camiones de la OCG en LI

Fuente: Elaboración propia

Coste laboral

Además de los costes asociados al vehículo, se ha considerado también el coste relacionado con el tiempo de los transportistas y operarios. Tragsatec (2021) detalla el tiempo empleado

en algunas actividades en la tabla 68. Esto se ha complementado nuevamente con ciertas asunciones propias realizadas junto Estrella Galicia para la elaboración del modelo.

CONCEPTO	VALOR (min)	FUENTE
Tiempo de firma de albaranes	1,5	ESCI-UPF (2017)
Tiempo de bocadillo/descanso	45	https://www.boe.es/doue/2006/102/L00001-00013.pdf
Tiempo de carga (recogida) en el centro logístico	10	Tragsatec
Tiempo de descarga en el centro de recuento y clasificación	10	ESCI-UPF (2017)

Tabla 68. Estimaciones tiempo de trabajo

Fuente: Tragsatec (2021)

Los camiones llegan al centro logístico con los pallets llenos de cajas con envases de vidrio vacíos. El tiempo de descarga, una operación adicional que normalmente no realizarían, debe ser contabilizado y compensado, asumiendo un tiempo de 2 minutos de manipulación por pallet. Además, para su transporte posterior en tráileres estándar de mayor tamaño (22 toneladas), los pallets deben ser envueltos con film estirable para garantizar la estabilidad de la carga. El tiempo estimado para realizar esta operación de embalaje es de 1 minuto por pallet.

Una vez que el almacén del centro logístico alcanza su capacidad máxima (igual a la capacidad de carga de 22tn), el camión de la OGC llega para recoger todos los envases. Dado que las plataformas logísticas operan con mecanismos automatizados y los envases ya están paletizados, se estima un tiempo fijo de carga de 10 minutos (Tragsatec, 2021). El camión cargado se traslada posteriormente al centro de conteo y clasificación a una velocidad media de 80 km/h (Tragsatec, 2021).

Al llegar al centro de conteo y clasificación, la descarga del camión requiere un tiempo fijo de 10 minutos (Tragsatec, 2021), más 2 minutos por cada pallet descargado. Además, se considera un tiempo adicional de 1 minuto por pallet para retirar el film plástico y preparar las botellas para las operaciones de recuento y clasificación.

Teniendo en cuenta todas estas actividades, la logística completa de un camión de la OGC implica un total de 8.6 horas de trabajo de operarios. Considerando el número de camiones y los días hábiles al año, se calcula un coste laboral total de **4,996,288 €**.

COSTE TOTAL

Al considerar todos los costes asociados a la recogida directa y la logística inversa, se obtiene el coste total de la recogida y transporte del vidrio en el SDDR. Posteriormente, al incorporar los costes del sistema SDDR2, que gestiona plástico y metales, se calcula el coste total del SDDR3.

Se observa que la operación del vidrio respecto al SDDR2 resulta significativamente más costosa en hipermercados y grandes supermercados. Esta diferencia se debe a que, en este tipo de establecimientos, el SDDR2 funciona con un sistema de recogida 100% automático, que permite compactar los residuos, optimizando de manera considerable los costes de operación. En cambio, el vidrio, se ha evaluado considerando su gestión manual.

COSTES TOTALES DE RECOGIDA Y TRANSPORTE			
Sub-escenario / Establecimiento	VIDRIO (€/año)	SDDR2 (€/año)	TOTAL (SDDR3)
Hipermercados	1,303,603	1,428,284	2,731,887
Supermercados (1.000 - 2.499 m ²)	4,648,858	5,579,587	10,228,445
Supermercados (400 - 999 m ²)	1,575,762	6,294,058	7,869,820
Supermercados (100 - 399 m ²)	1,289,100	10,077,108	11,366,208
Pequeños comercios	1,048,111	9,773,421	10,821,532
Gasolineras	445,786	3,821,415	4,267,201
TOTAL COMERCIOS	10,311,220	36,973,873	47,285,093
Café-bar	3,048,599	37,248,004	40,296,603
Hoteles y restaurantes	1,374,150	16,413,104	17,787,255
Consumo nocturno	392,893	4,796,524	5,189,417
TOTAL HORECA	4,815,643	58,457,632	63,273,275
TOTAL	15,126,862	95,431,505	110,558,367

Tabla 69. Coste total de la recogida y transporte de envases del SDDR3

Fuente: Elaboración propia

5.3.4.5 Costes de los Centros de Conteo y Clasificación

Estos costes están relacionados con la necesidad del sistema de contar con instalaciones adecuadas para recibir el material recogido en los establecimientos comerciales. Estas instalaciones permiten realizar el conteo y clasificación del material antes de su traslado a los centros de reciclaje.

Según Tragsatec (2021), la implantación de un SDDR a nivel nacional requeriría el funcionamiento de 45 plantas de conteo, cuyo coste total asciende a 34,30 millones €/año, actualizado al IPC de 2018. Asimismo, se estima la necesidad de 4,5 plantas de clasificación, con un coste total de 3,12 millones €/año (actualizado al IPC de 2018). A partir de estos datos, se calcula el coste anual promedio por cada tipo de instalación.

La valoración de estas instalaciones se ha realizado agregando el coste unitario promedio de un centro de conteo y el coste unitario promedio de un centro de clasificación, ajustando dicho coste mediante un porcentaje de reducción proporcional al número de envases que no requieren pasar por los centros de recuento. Este porcentaje se detalla en la tabla siguiente.

Considerando lo expuesto en este apartado y el número de envases procesados por cada centro, se obtienen los resultados presentados en la tabla 70.

	SDDR3	FUENTE
Coste promedio por centro de recuento (mill. €)	0.76	Precio actualizado a 2018 a partir de ESCI-UPF (2017)
Coste promedio por centro de clasificación (mill. €)	0.69	Precio actualizado a 2018 a partir de ESCI-UPF (2017)
Número de centros de recuento y clasificación	30	Propio
Proporción de envases destinados a recuento (%)	54%	Propio
Coste centros de conteo y clasificación (mill. €/año)	33.90	Propio

Tabla 70. Coste total de los centros de conteo y clasificación

Fuente: Elaboración propia

5.3.4.6 Coste del Transporte de Envases Reutilizables al Productor

En este apartado se busca determinar el impacto económico del transporte de envases reutilizables de vidrio hacia los productores. Para ello, se plantea el uso de camiones de 22 toneladas, similares a los utilizados en el trayecto desde los centros logísticos hasta los centros de conteo y clasificación. Estos camiones serán cargados con envases de vidrio vacíos y sucios que serán enviados a los productores. Dependiendo del tamaño del productor, algunos requerirán recibir varios camiones al día, mientras que otros, más pequeños, se abastecerán mediante rutas compartidas que incluyan paradas en varias fábricas. Una vez vacíos, los camiones regresarán a su punto de origen, es decir, las plantas de procesado.

Dado que no se dispone de información específica sobre la distancia promedio entre los centros de procesado y las fábricas de los productores, se ha realizado una aproximación utilizando las distancias entre las principales fábricas de cerveza en España y el centro de cada comunidad autónoma. Por un lado, el cálculo de la oferta de envases reutilizables se ha realizado en función del número de centros de conteo y clasificación por comunidad autónoma dimensionados previamente en el apartado técnico, según los envases recogidos.

Por otro lado, el estudio se centra en el sector cervecero como principal demanda de envases, ya que la cerveza representa más del 80% del peso y las unidades de los envases de vidrio, según los datos reportados por Ecovidrio (tabla 7). Además, un informe de Cerveceros de España (2023) señala que el 95% de la cerveza producida en España proviene de las cuatro principales compañías cerveceras, que operan en un total de 17 fábricas. Esto permite realizar una aproximación razonable de la demanda con un número reducido de puntos de entrada.

El análisis no incluye las Islas Baleares, las Islas Canarias, Ceuta y Melilla, ni considera los flujos de envases producidos o consumidos fuera de España. Aunque esto implica que los costes reales serían más altos que los calculados en este apartado, se considera que la aproximación es suficiente para cumplir con el objetivo del estudio.

Finalmente, debido a la falta de datos específicos sobre la producción de cada fábrica, se ha asumido una producción homogénea entre las fábricas de una misma compañía (tabla 71). En la tabla 72 se detalla la producción por provincia y su porcentaje de demanda de envases que se utiliza en el estudio.

Mahou	32%	13.19 Millones HI
<i>Burgos</i>		1.9
<i>Córdoba</i>		1.9
<i>Granada</i>		1.9
<i>Guadalajara</i>		1.9
<i>Lleida</i>		1.9
<i>Málaga</i>		1.9
<i>Tenerife</i>		1.9
Damm	26%	10.84 Millones HI
<i>Barcelona</i>		2.7
<i>Málaga</i>		2.7
<i>Murcia</i>		2.7
<i>Valencia</i>		2.7
Heineken	25%	10.21 Millones HI
<i>Jaén</i>		2.0
<i>Madrid</i>		2.0
<i>Málaga</i>		2.0
<i>Sevilla</i>		2.0
<i>Valencia</i>		2.0
Hijos de Rivera	12%	5.04 Millones HI
<i>A coruña</i>		5.0
Total	95%	39.28 Millones HI

Tabla 71. Principales productores cerveza en España y su producción por provincia

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en las tablas 72 y 73, se detallan los porcentajes de oferta y demanda de envases que se han utilizado como base para el cálculo de la distancia media. Estos porcentajes se consideran como condiciones para modelar los flujos de envases entre los puntos de oferta y demanda. Además, en la tabla 74, se especifican las distancias entre cada uno de estos puntos.

Con esta información y utilizando la herramienta Solver de Excel, se ha realizado una optimización de rutas para minimizar la distancia media recorrida. En la tabla 75 se observa la distribución óptima de las rutas. Como resultado, se ha obtenido una distancia media mínima de **193.4 km**.

DEMANDA DE ENVASES		
Provincias	HI	%
A coruña	5.0	13%
Barcelona	2.7	7%
Burgos	1.9	5%
Córdoba	1.9	5%
Granada	1.9	5%
Guadalajara	1.9	5%
Jaén	2.0	5%
Lleida	1.9	5%
Madrid	2.0	5%
Málaga	6.6	18%
Murcia	2.7	7%
Sevilla	2.0	5%
Valencia	4.8	13%
	37.4	100%

Tabla 72. Distribución de la demanda de envases estudiada

Fuente: Elaboración propia

OFERTA DE ENVASES		
CCAA	Envases devueltos	%
Andalucía	2,318,795	16%
Aragón	574,230	4%
Asturias, Principado de	239,111	2%
Cantabria	175,406	1%
Castilla - La Mancha	690,833	5%
Castilla y León	648,440	4%
Cataluña	3,542,770	24%
Comunidad Valenciana	1,378,046	9%
Extremadura	236,882	2%
Galicia	590,408	4%
Madrid, Comunidad de	2,383,878	16%
Murcia, Región de	487,337	3%
Navarra, Comunidad Foral de	319,456	2%
País Vasco	848,449	6%
Rioja, La	135,700	1%
	14,569,741	100%

Tabla 73. Distribución de la oferta de envases estudiada

Fuente: Elaboración propia

km	Andalucía	Aragón	Asturias	Cantabria	Castilla - La Mancha	Castilla y León	Cataluña	C. Valen.	Extrema- dura	Galicia	Madrid	Murcia	Navarra	País Vasco	Rioja, La
A Coruña	717	647	208	360	597	358	898	798	465	90	509	856	554	445	495
Barcelona	731	257	696	546	499	576	0	303	753	864	507	471	350	469	404
Burgos	540	245	209	96	303	115	498	424	388	366	214	530	171	119	96
Córdoba	38	534	615	592	235	418	712	422	223	593	296	321	595	617	524
Granada	108	548	713	668	275	506	683	380	350	714	360	236	634	678	575
Guadalaj.	369	222	376	291	111	173	457	271	300	467	51	342	261	292	191
Jaén	87	496	644	600	212	437	649	351	292	648	293	235	575	613	512
Lleida	644	126	566	417	395	445	132	253	635	732	387	430	224	345	272
Madrid	331	273	372	308	94	162	506	303	248	441	0	349	304	322	229
Málaga	95	626	747	718	340	548	770	468	349	724	415	324	704	737	639
Murcia	321	407	717	625	260	510	471	177	482	783	349	0	524	604	492
Sevilla	112	644	663	665	345	486	830	541	234	604	390	433	694	702	618
Valencia	436	246	629	511	248	441	303	0	513	738	303	177	374	472	362

Tabla 74. Distancia media entre comunidades autónomas y provincias estudiadas

Fuente: Elaboración propia

	Andalucía	Aragón	Asturias	Cantabria	Castilla -La Mancha	Castilla y León	Cataluña	C. Valen.	Extrema- dura	Galicia	Madrid	Murcia	Navarra	País Vasco	Rioja, La	
A Coruña	0.0%	0.0%	1.6%	1.2%	0.0%	3.9%	0.0%	0.0%	0.0%	4.1%	0.0%	0.0%	0.0%	2.7%	0.0%	13%
Barcelona	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	7.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	7%
Burgos	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.9%	3.2%	0.9%	5%
Córdoba	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5%
Granada	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5%
Guadalaj.	0.0%	3.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.3%	0.0%	0.0%	5%
Jaén	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5%
Lleida	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5%
Madrid	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5%
Málaga	15.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	18%
Murcia	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	7%
Sevilla	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.5%	0.0%	0.0%	1.6%	0.0%	3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5%
Valencia	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.2%	9.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	13%
	16%	4%	2%	1%	5%	4%	24%	9%	2%	4%	16%	3%	2%	6%	1%	

Tabla 75. Distribución de los trayectos para la optimización de la distancia media

Fuente: Elaboración propia

Para el dimensionamiento y valoración de los costes asociados al transporte, se aplican las mismas premisas y metodología utilizadas para los camiones de la OGC en las operaciones de logística inversa. Sin embargo, en este caso, la distancia del trayecto corresponde a la calculada específicamente en este apartado.

Las tablas que se presentan a continuación muestran el dimensionamiento de los camiones necesarios para llevar a cabo las operaciones dentro de la península. Asimismo, incluyen la valoración de los costes fijos, los costes variables y los costes laborales de los transportistas asociados a dichas operaciones.

	Envases península	Centros Logístico	Envases /dia*centro	Capacidad	Camiones/ dia*centro	Numero de camiones
Andalucía	340,466,684	3	323,330	50,688	7	21
Aragón	84,313,699	1	240,210	50,688	5	5
Asturias	35,108,463	1	100,024	50,688	2	2
Cantabria	25,754,713	1	73,375	50,688	2	2
Castilla - La Mancha	101,434,418	2	144,493	50,688	3	6
Castilla y León	95,209,890	2	135,627	50,688	3	6
Cataluña	520,181,885	5	296,400	50,688	6	30
Comunidad Valenciana	202,337,314	3	192,153	50,688	4	12
Extremadura	34,781,181	1	99,092	50,688	2	2
Galicia	86,689,101	1	246,977	50,688	5	5
Madrid	350,022,765	3	332,405	50,688	7	21
Murcia	71,555,274	1	203,861	50,688	5	5
Navarra	46,905,451	1	133,634	50,688	3	3
País Vasco	124,577,040	1	354,920	50,688	8	8
Rioja, La	19,924,715	1	56,766	50,688	2	2
						130

Tabla 76. Dimensionamiento de camiones para el transporte a productores

Fuente: Elaboración propia

	Camión + carrozado	Seguros e impuestos	Vida útil	€/año
Unidad	euros	euros	años	euros
Cantidad	135,379	2,755	15	1,531,410

Tabla 77. Coste fijo total de los camiones

Fuente: Elaboración propia

	Total envases península	Distancia lleno equivalente	Consumo	Coste del diésel	Total
Unidades	toneladas	km	l/km/t	euro/litro	€/año
Cantidad	646,304	307	0.011	1.1618	2,536,971

Tabla 78. Coste total del transporte

Fuente: Elaboración propia

	Distancia	Coste mantenimiento	Mantenimiento anual	Total
Unidades	km/año*camion	€/km	€/año*camion	€/año
Cantidad	135,762	0.0434	5,892	765,967

Tabla 79. Coste anual del mantenimiento y reparación de los camiones

Fuente: Elaboración propia

	Nº camiones	Coste/camión	Total
Unidades		€/camión	€/año
Cantidad	130	10,981	1,427,530

Tabla 80. Coste anual de la reposición de neumáticos

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo del tiempo de trabajo empleado, se consideran los mismos elementos que en los camiones de logística inversa, incluyendo el tiempo de firma de los albaranes, los descansos obligatorios, el tiempo de carga y descarga de pallets y el tiempo de transporte, asumiendo una velocidad media de 80 km/h.

En este caso, además, se tiene en cuenta que las botellas, una vez contadas y clasificadas, deben ser nuevamente paletizadas. Se estima que un operario tarda 15 minutos en montar un pallet con 64 cajas y asegurarlo con film plástico.

Con base en estas estimaciones, se calcula un coste laboral anual total de **10,336,801 €**, reflejando el tiempo necesario para todas las actividades involucradas en el proceso.

COSTE TOTAL

En total, los costes asociados al envío de las botellas reutilizables desde los centros de conteo y clasificación ascienden a **16,598,680 €/año**, incluyendo tanto los costes de transporte como los costes laborales asociados a estas operaciones.

5.3.4.7 Costes derivados del lavado de las botellas

Para los productores, el uso de envases reutilizables conllevará un coste adicional derivado de su lavado. No obstante, es fundamental comprender el funcionamiento de una planta de llenado para poner en contexto este extracoste.

Antes del proceso de llenado, tanto las botellas de un solo uso como las reutilizables pasan por un tren de lavado. Sin embargo, las botellas de un solo uso, al venir pre-sanitizadas, requieren únicamente un proceso de enjuagado simple. Por el contrario, las botellas reutilizables, al haber sido retornadas, requieren un lavado más completo y complejo para garantizar su adecuada sanitización.

Por tanto, los trenes de lavado utilizados para cada tipo de botella son diferentes, al igual que los costes asociados a su operación y mantenimiento. Estos costes se detallan en la tabla 81, donde se comparan los requerimientos específicos y los valores económicos correspondientes a cada sistema según datos de Estrella Galicia.

	Concepto	Cantidad	Unidad
Producción	Capacidad	72,000	botellas/hora
	OE	70%	%
	Estacionalidad	11%	%
Retombale	Inversión	15	Millones de €
	Mantenimiento	450	Miles de €/año
	Electricidad	0.0099	kWh/botella
	Agua	0.198	litro/botella
	E. Térmica	0.0040	kWh/botella
	Operarios	7	# personas
No Retombale	Inversión	12	Millones de €
	Mantenimiento	350	Miles de €/año
	Electricidad	0.0099	kWh/botella
	Agua	0.119	litro/botella
	E. Térmica	0.0028	kWh/botella
	Operarios	8	# personas

Tabla 81. Capacidad y consumos de un grupo de lavado de botellas de vidrio retornables y no retornables

Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por Estrella Galicia

	Precio	Unidad
Electricidad	100	€/Mwh
Agua	2	€/m3
Energía térmica	50	€/Mwh

Tabla 82. Precio de los consumos de un grupo de lavado

Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por Estrella Galicia

La cantidad de grupos de lavado dimensionados se considera que sustituirán a los grupos de lavado para botellas no reutilizables utilizados actualmente. Para calcular el coste del cambio para los productores, se tendrá en cuenta el coste de inversión integro de los grupos de lavado nuevos, asumiendo que los trenes de lavado existentes para botellas retornables no disponen de capacidad ociosa y que no se produce ninguna reducción de costes por transformar los trenes de lavado de botellas no retornables en aptos para botellas retornables. Los costes anuales se detallan en la tabla 83 actualizados al IPC de 2018.

	Número de camiones	Coste inversión	Vida útil	€/año
Unidad		millones de euros/centro	años	euros/año
Cantidad	10	12.58	20	6,544,607

Tabla 83. Cálculo coste de la inversión en camiones para el transporte a productores

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los costes variables, se evaluará la diferencia de costes derivada del proceso de lavado de botellas retornables en comparación con el lavado simplificado de las botellas no retornables. Tomando en cuenta los datos sobre el consumo de la línea de embotellado según su capacidad, y actualizando los precios al IPC de 2018, se obtienen los resultados que se presentan a continuación.

	Electricidad	Agua	Energía Térmica
	kWh/año	litros/año	kWh/año
Retornable	2,216,819	44,336,388	886,728
No retornable	2,216,819	26,601,833	620,709
Diferencia	-	17,734,555	266,018

Tabla 84. Cálculo de la diferencia de consumo por grupo retornable y no retornable

Fuente: Elaboración propia

	Electricidad		Agua		Energía Térmica	
	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
Unidades de medida	-	kWh	184,467,073	litros	2,767,006	kWh
Coste unitario	0.0839	€/kWh	0.0017	€/litro	0.0419	€/kWh
Coste total anual	-	€	309,509	€	116,066	€

Tabla 85. Coste total por la diferencia de consumos

Fuente: Elaboración propia

Por último, se debe considerar el incremento en el coste laboral, ya que el grupo de lavado de envases retornables requiere un operario adicional, aumentando de 7 a 8 operarios. Teniendo en cuenta las horas anuales del tren de lavado en funcionamiento, y asumiendo un salario de 12.33 euros por hora (igual al de los empleados en establecimientos comerciales), el coste laboral adicional asciende a **640,230 €/año**.

5.3.4.8 Ingresos por la Venta de Materiales Recuperados

La valoración de los ingresos por la venta de materiales recuperados incluye dos componentes principales: por un lado, los ingresos generados por la venta a los productores de los envases de vidrio reutilizables recuperados por el SDDR, y por otro, los ingresos obtenidos de la venta de otros materiales recuperados (botellas de plástico y latas) que serán comercializados a plantas de reciclaje. En la tabla 86 se detalla la cantidad de materiales recuperados por el sistema.

Material retornado	Escenario SDDR3	Unidad
Vidrio	703,665	t/año
PET	134,456	t/año
PEAD	528	t/año
Acero	61,076	t/año
Aluminio	56,766	t/año
TOTAL	956,491	t/año

Tabla 86. Materiales recuperados por el SDDR3

Fuente: Elaboración propia

MATERIALES PARA RECICLAJE

Dado que no se dispone de información real ni actualizada sobre la posible variación en los precios medios de venta de materiales procedentes de un hipotético SDDR en España, los valores se han estimado a partir de los precios medios de venta de materiales recuperados proporcionados por Ecoembes y Ecovidrio para el año 2018 (Tragsatec, 2021).

No obstante, siguiendo la experiencia de otros sistemas SDDR europeos ya implantados, se prevé que los precios unitarios de venta sean superiores a los que actualmente proporcionan los sistemas SCRAP, debido a que los materiales recuperados en el SDDR suelen estar mejor clasificados y poseen una mayor calidad. Según estas estimaciones, los incrementos en los precios medios de venta serían de un 200% para el PET, un 25% para el PEAD y un 10% para el vidrio. En el caso de los materiales restantes, no se contempla ninguna variación en sus precios.

Aplicando estos incrementos a los valores base proporcionados por los SCRAP, se obtienen los precios unitarios hipotéticos de venta para cada material, que se recogen en la tabla 87.

Concepto	Cantidad	Unidad
Precio PET retornado	307.15	€/t
Precio PEAD retornado	412.71	€/t
Precio Acero retornado	170.84	€/t
Precio Aluminio retornado	917.65	€/t

Tabla 87. Estimación del precio de compra de los materiales para reciclaje

Fuente: Tragsatec (2021)

Asumiendo que la totalidad del material retornado y recuperado por el SDDR es vendido a recicladores, se calcula el valor total de estas ventas multiplicando las cantidades de material recuperado por los precios unitarios estimados, según las hipótesis mencionadas. Este cálculo proporciona una estimación del ingreso total generado por la venta de materiales reciclables en el sistema.

Material	Cantidad	Unidad
Valor PET retornado	41,298,219	€/año
Valor PEAD retornado	218,024	€/año
Valor acero retornado	10,434,014	€/año
Valor aluminio retornado	52,091,461	€/año
Ingresos por venta de materiales	114,729,145	€/año

Tabla 88. Ingresos totales derivados de la venta de materiales para reciclaje

Fuente: Elaboración propia

MATERIALES PARA REUTILIZACIÓN

Para evaluar los ingresos generados por la venta de botellas reutilizables, se asume que estas botellas serían alquiladas a los productores en cada llenado al precio de venta de una botella de un solo uso. De esta manera, los productores no experimentarían un cambio económico por el cambio a botellas reutilizables, lo que permite analizar el impacto total de este nuevo escenario (SDDR3) a través del balance global del sistema.

Para determinar el precio de las botellas de un solo uso de vidrio, dado que puede variar según el modelo, se ha decidido utilizar el modelo de botella de vidrio más consumido, el tercio de cerveza. Mediante contacto directo con Estrella Galicia, se ha utilizado un precio de 9 céntimos por botella (7.6 céntimos actualizado al IPC de 2018) como referencia para este cálculo.

	Cantidad	Unidad
Ingresos por alquiler de botellas	175,857,109	€/año

Tabla 89. Ingresos totales por el alquiler de botellas retornables

Fuente: Elaboración propia

5.3.4.9 Balance Global del Sistema

La diferencia entre los ingresos y los costes previamente cuantificados requiere la existencia de un flujo de financiación adicional que garantice la sostenibilidad del sistema a lo largo del tiempo. Este flujo sería aportado por las empresas productoras e importadoras de bebidas sujetas al SDDR, como parte de su responsabilidad ampliada del productor. Dichos fondos serían gestionados por el OCG, encargado de distribuirlos para compensar los costes asumidos por cada agente involucrado en el sistema.

En las siguientes tablas se detalla la cuantificación de este flujo de balance o compensación, considerando los importes derivados del modelo de costes desarrollado para evaluar la viabilidad económica del escenario SDDR3 propuesto en este estudio.

BALANCE ECONÓMICO DEL SISTEMA		
Concepto	SDDR3	Unidad
Ingresos		
Ingresos por venta de material reciclables	104,041,718	€/año
Ingresos por la venta de botellas reutilizables	175,857,109	€/año
Ingresos por depósitos no reclamados	228,538,659	€/año
Total ingresos	508,437,485	€/año
Costes		
Coste por la reposición de botellas y cajas reutilizables	50,958,899	€/año
Costes de gestión/manipulación	707,822,731	€/año
Coste de transporte	110,558,367	€/año
Coste de centros de recuento y clasificación	33,900,982	€/año
Coste del transporte del retornable al productor	16,598,680	€/año
Coste de lavado	7,610,411	€/año
Total costes	927,450,071	€/año
Balance		
Balance	419,012,586	€/año

Tabla 90. Balance global del sistema SDDR3

Fuente: Elaboración propia

5.3.5 COMPARACIÓN ENTRE ESCENARIOS

En esta tabla se presentan los resultados obtenidos para el escenario SDDR3, analizado en este documento, junto con los escenarios SCRAP, SDDR1 (envases de vidrio, plástico, metal y bricks no retornables) y SDDR2 (envases de plástico y metal no retornables).

BALANCE ECONÓMICO DEL SISTEMA				
Concepto	SDDR 1	SDDR 2	SDDR 3	Unidad
Ingresos				
Ingresos por venta de material reciclable	114,729,145	104,041,717	104,041,718	€/año
Ingresos por botellas reutilizables	-	-	175,857,109	€/año
Ingresos por depósitos no reclamados	248,414,300	192,088,400	228,538,659	€/año
Total ingresos	363,143,445	296,130,117	508,437,485	€/año
Costes				
Coste por la reposición de botellas y cajas reutilizables	-	-	50,958,899	€/año
Costes de gestión/manipulación	714,428,423	612,612,807	707,822,731	€/año
Coste de transporte	139,150,070	95,431,505	110,558,367	€/año
Coste de centros de recuento y clasificación	32,123,778	29,005,405	33,900,982	€/año
Coste del transporte del retornable al productor	-	-	16,598,680	€/año
Coste de lavado	-	-	7,610,411	€/año
Total costes	885,702,270	737,049,717	927,450,071	€/año
Balance				
Balance	522,558,825	440,919,600	419,012,586	€/año

Tabla 91. Comparativa del balance económico entre escenarios SDDR

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Tragsatec (2021)

Los resultados evidencian que tanto los ingresos como los gastos del escenario SDDR3 son significativamente más altos que en los demás escenarios. Esto se explica por los elevados ingresos derivados de las botellas reutilizables, que superan ampliamente los ingresos obtenidos por la venta de otros materiales reciclables. No obstante, estos ingresos se ven contrarrestados por los considerables costes asociados, como la infraestructura necesaria y el transporte.

Al comparar los escenarios SDDR2 y SDDR3, se observa que la incorporación de vidrio reutilizable podría ser económicamente viable, ya que el balance del SDDR3 es más favorable. Asimismo, los resultados demuestran que, bajo un marco de SDDR, el uso de envases de vidrio reutilizables es mucho más rentable que el de envases de un solo uso. Esto queda reflejado en que el SDDR1, que incluye los envases de briks además de los materiales

contemplados en el SDDR3, resulta más costoso a pesar de que los briks representan una fracción muy pequeña del total.

5.3.6 IMPACTO ECONÓMICO DEL SDDR SOBRE LOS SCRAP

La implementación del SDDR tendría un impacto económico tanto en los operadores SCRAP (Ecoembes y Ecovidrio) como en los productores, quienes actualmente financian el sistema de recogida de envases.

Para analizar este efecto, se parte del hecho de que el SDDR, al asumir la gestión de parte de los envases actualmente en el mercado, provocará una disminución de los costes operativos para los SCRAP asociados a la recogida y tratamiento de dichos envases. No obstante, también se reducirá su ingreso procedente del cobro del Punto Verde y de la venta de materiales recuperados. La cuantificación de estas reducciones dependerá directamente del volumen de envases que el SDDR pase a gestionar.

Dada la complejidad de estimar a escala real cómo se redistribuirán y ajustarán los flujos económicos de los SCRAP en un modelo de gestión de residuos que combine ambos sistemas operando en paralelo, este estudio no abordará la cuantificación del balance global sobre los SCRAP. No obstante, el análisis original realizado por Tragsatec incluye una aproximación que puede servir como referencia para evaluar el impacto global en nuestro escenario.

Por otro lado, este estudio sí cuantificará la reducción de los ingresos por el Punto Verde, ya que este factor impacta directamente en el balance global de los productores.

5.3.6.1 Impacto sobre el Punto Verde

Los ingresos de los SCRAP proceden principalmente de dos fuentes: la tasa del Punto Verde, pagada por los envasadores para financiar la gestión de residuos de envases, y la venta de materiales recuperados. En el caso de Ecoembes, el Punto Verde representa la mayor parte

de los ingresos del sistema (88%). Para Ecovidrio, aunque el modelo es similar, el Punto Verde representa un 75% de los ingresos.

Las tarifas del Punto Verde, determinadas anualmente y basadas en el tipo de material del envase, han sido utilizadas para los cálculos de este estudio. Sin embargo, en un escenario donde los SCRAP y un SDDR coexistan, es probable que estas tarifas aumenten (manteniendo un balance económico neutro). La disminución en el volumen de envases gestionados por los SCRAP generaría un incremento en los costes por unidad debido a la pérdida de economías de escala.

La reducción de los ingresos por el Punto Verde impacta directamente en el balance global del SDDR3 analizado en este estudio. Dado que son los productores, a través del RAP, quienes mantienen el equilibrio económico del sistema, el coste de implementar el SDDR se compensa parcialmente al eliminar el pago del Punto Verde para los envases gestionados bajo este sistema.

Aunque un posible aumento de precios podría alterar los resultados, los cálculos presentados en la tabla 92 indican que la implementación del SDDR supondría una reducción de aproximadamente 90 millones de euros en los pagos que los productores realizan a los actuales operadores del sistema SCRAP.

Afección a los SCRAP en el ingreso por la tarifa del Punto Verde.			ESCENARIO SDDR3				
			Situación actual (solo SCRAP)	Situación hipotética del Escenario SDDR3 (SCRAP y SDDR3)	Impacto del SDDR3 sobre los SCRAP (PÉRDIDAS)		
Conjunto de envases sujetos a RAP	Cantidad de material puesto en mercado (kg)	ECOEMBES	1,843,423,000 kg	1,551,003,000 kg	-292,420,000 kg	-15,86 %	
		ECOVIDRIO	1,471,960,000 kg	885,979,000 kg	-585,981,000 kg	-39,81 %	
		TOTAL	3,315,383,000 kg	2,436,982,000 kg	-878,401,000 kg	-27,15 %	
	Ingresos por PV (€)	ECOEMBES	431,278,512 €	359,689,721 €	-71,588,791 €	-16,60 %	
		ECOVIDRIO	47,898,762 €	27,393,965 €	-20,504,797 €	-42,81 %	
		TOTAL	479,177,274 €	387,083,686 €	-92,093,588 €	-20,69 %	
Subconjunto de envases de bebidas sujetos a RAP	Cantidad de material puesto en mercado (kg)	ECOEMBES	421,016,000 kg	128,596,000 kg	-292,420,000 kg	-69,46 %	
		ECOVIDRIO	1,171,835,000 kg	585,854,000 kg	-585,981,000 kg	-50,01 %	
		TOTAL	1,592,851,000 kg	714,450,000 kg	-878,401,000 kg	-56,52 %	
	Cantidad de envases puestos en mercado (uds.)	ECOEMBES	19,429,000,000 ud	5,240,000,000 ud	-14,189,000,000 ud	-73,03 %	
		ECOVIDRIO	3,961,000,000 ud	1,267,000,000 ud	-2,694,000,000 ud	-68,01 %	
		TOTAL	23,390,000,000 ud	6,507,000,000 ud	-16,883,000,000 ud	-78,44 %	
	Ingresos por PV (€)	ECOEMBES	114,326,310 €	42,737,520 €	-71,588,791 €	-62,62 %	
		ECOVIDRIO	36,725,902 €	16,221,105 €	-20,504,797 €	-55,83 %	
		TOTAL	151,052,212 €	58,958,625 €	-92,093,588 €	-65,64 %	
	Subconjunto de EBSS	Cantidad de material puesto en mercado (kg)	ECOEMBES	292,420,000 kg	0 kg	-292,420,000 kg	-100,00 %
			ECOVIDRIO	585,981,000 kg	0 kg	-585,981,000 kg	-100,00 %
			TOTAL	878,401,000 kg	0 kg	-878,401,000 kg	-100,00 %
Cantidad de envases puestos en mercado (uds.)		ECOEMBES	14,189,000,000 ud	0 ud	-14,189,000,000 ud	-100,00 %	
		ECOVIDRIO	2,694,000,000 ud	0 ud	-2,694,000,000 ud	-100,00 %	
		TOTAL	16,883,000,000 ud	0 ud	-16,883,000,000 ud	-100,00 %	
Ingresos por PV (€)		ECOEMBES	71,588,791 €	0 €	-71,588,791 €	-100,00 %	
		ECOVIDRIO	20,504,797 €	0 €	-20,504,797 €	-100,00 %	
		TOTAL	92,093,588 €	0 €	-92,093,588 €	-100,00 %	

Tabla 92. Ingresos de los SCRAP asociados al cobro de la tarifa del Punto Verde (datos de 2018)

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Tragsatec (2021)

5.4 VIABILIDAD AMBIENTAL

La implementación de un Sistema de Depósito, Devolución y Retorno genera una amplia gama de beneficios, entre los que destacan la reducción del *littering*, la mejora en la recogida separada de residuos y, en consecuencia, una mayor calidad en el proceso de reciclaje y la capacidad de reutilización. De esta manera, el sistema permite alcanzar tasas de recuperación más altas, facilitando el cumplimiento de los objetivos europeos en materia de gestión de residuos. Uno de los efectos más relevantes es la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) asociada al sistema.

La implementación del SDDR propuesto en este estudio fomentaría una economía circular para los envases, incrementaría la recuperación de materiales y reduciría de manera significativa los residuos enviados a incineración, vertederos y los abandonados como *littering*. Para determinar si este sistema generaría una reducción de emisiones de GEI en comparación con el modelo actual, se han calculado y comparado las huellas de carbono de los escenarios considerados (SCRAP frente a SDDR).

5.4.1 METODOLOGÍA

Este apartado tiene como objetivo evaluar si la implementación de un SDDR en España generaría beneficios ambientales en términos de cambio climático, en comparación con la situación actual (SCRAP). Más en concreto, se busca analizar si la introducción de envases de vidrio retornable resulta ambientalmente favorable. Para ello, se realizará una comparación final de la huella de carbono del escenario propuesto (SDDR3) con los escenarios del estudio original (SDDR1 y SDDR2).

Siguiendo la metodología de los capítulos anteriores, el análisis del impacto del SDDR3 se centrará únicamente en el vidrio retornable. Posteriormente, se sumará el impacto asociado al SDDR2 (plástico y metales). En los casos donde la operación de todos los materiales esté integrada y no sea posible evaluar el vidrio de manera independiente, se realizará el cálculo del impacto global.

La unidad funcional de referencia es la generación de residuos de envases en España correspondiente al año 2018, excluyendo los envases de papel y cartón y otros materiales como madera, textil y cerámica. La tabla 93 muestra el flujo de referencia utilizado en el estudio, el cual varía en el caso del SDDR3 debido al mayor peso de los envases retornables de vidrio. En este escenario, el peso total de los envases de vidrio sujetos al SDDR (EBSS3 vidrio) aumenta de 585,981 toneladas a 813,862 toneladas.

ESCENARIOS	SCRAP	SDDR3
Material	Puesta en el mercado (toneladas)	
Vidrio	1,471,960	1,699,841
PET	309,640	309,640
PEAD	131,311	131,311
Otros plásticos ₁	313,814	313,814
Acero	210,524	210,524
Aluminio	93,803	93,803
Cartón/Bebida	110,447	110,447
TOTAL	2,641,499	2,869,380

Tabla 93. Flujo de referencia de estudio de la huella de carbono sobre la implantación de un SDDR

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Tragsatec (2021)

Siguiendo la metodología utilizada en el estudio original (Tragsatec, 2021), se analiza el sistema de gestión de residuos de envases, desde su depósito en contenedores o puntos de venta hasta su reciclaje, incineración o disposición en vertederos. Se incluye las emisiones de GEI generadas por el reprocesado de materiales recuperados y las emisiones evitadas por la sustitución de materiales vírgenes y la valorización energética.

Atendiendo al esquema de funcionamiento de la figura 15. En el escenario SCRAP, todos los residuos se gestionan según las etapas actuales del sistema, mientras que en los escenarios SDDR, parte de los envases se procesan en las actividades específicas del sistema (marcadas en verde), y el resto sigue gestionándose como en el modelo SCRAP (marcadas en blanco).

La huella de carbono calculada excluye los impactos asociados a la fabricación, construcción, desmantelamiento o gestión de equipos, infraestructuras, edificios y maquinaria, ya que estos son despreciables frente a los impactos derivados de la gestión de

residuos (Tragsatec, 2021). También se excluye el consumo de bolsas para la separación en origen y el transporte de residuos desde los hogares a los puntos de recogida.

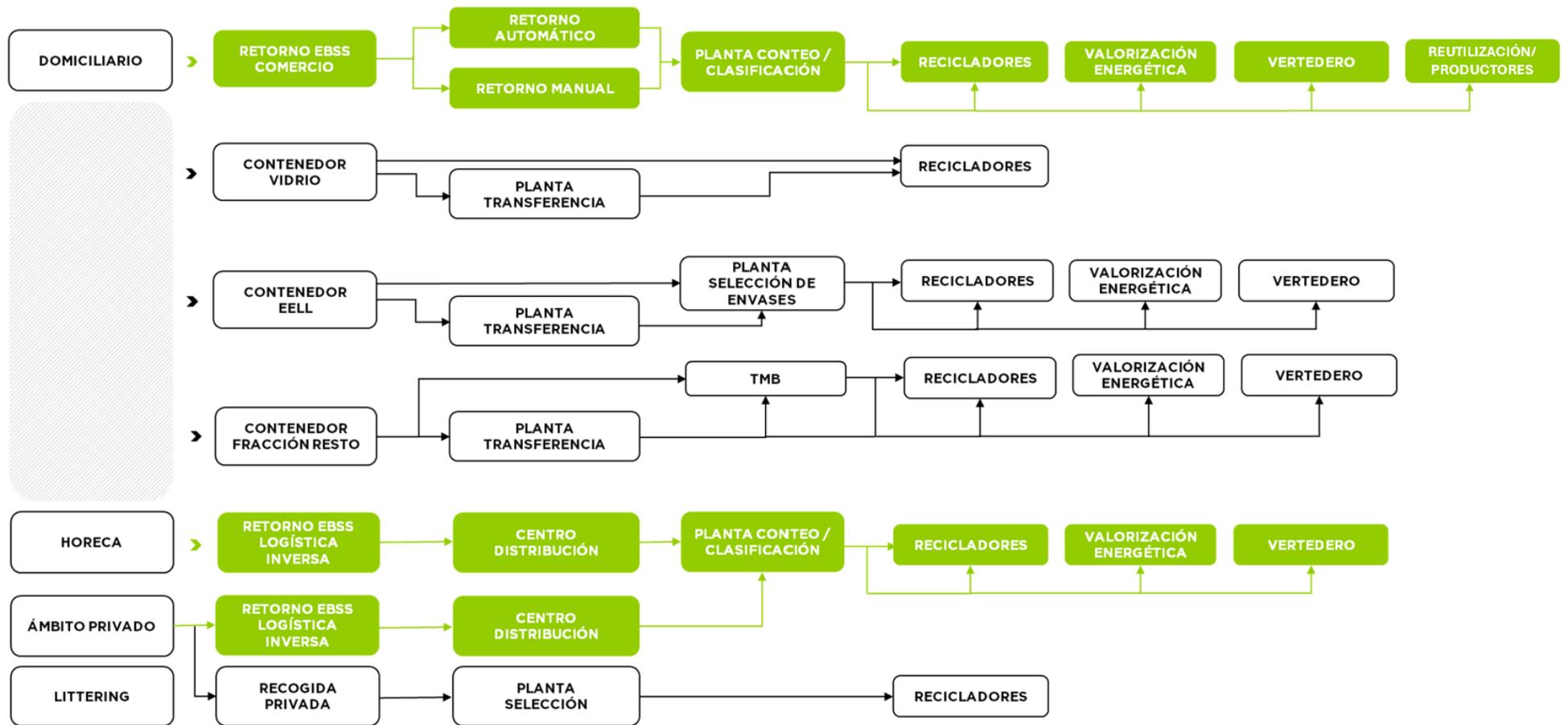


Figura 14. Sistema de estudio de la huella de carbono sobre la implantación de un SDDR

Fuente: ENT (2021)

5.4.2 ANÁLISIS HUELLA DE CARBONO

El modelo utiliza el mix eléctrico español de 2020, con un factor de emisión de 0,25 kg CO₂/kWh, tanto para calcular el consumo eléctrico como para estimar las emisiones evitadas a través de la valorización energética. Asimismo, para este análisis se ha empleado un factor de emisión del diésel de 2,459 kg CO₂/l.

5.4.2.1 Recepción de Envases SDDR

En la etapa de recepción de envases retornados, se consideran los consumos de bolsas para envases de plástico y metal, junto con la electricidad utilizada por las máquinas de retorno automático (tabla 94), calculada según las características de los modelos de referencia empleados en este análisis ambiental.

Escenario	Consumo (kWh/año)	Emisiones (kg CO ₂)
SDDR2	18,056,408	4,514,102

Tabla 94. Emisiones recepción de envases de plástico y metal

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Tragsatec (2021)

Aunque el vidrio se recibe manualmente, es necesario considerar el coste ambiental asociado al recambio de las cajas de plástico utilizadas para su transporte al alcanzar el final de su vida útil. Para este cálculo, se ha empleado un valor de emisión por reprocesado de PEAD de 0.35 kg CO₂/kg según Brogaard et al. (2014).

Fabricación cajas vidrio		
Cajas al año	Kilos	Emisiones (kg CO ₂)
1,403,063	1,683,676	589,287

Tabla 95. Emisiones por la recepción de envases de vidrio

Fuente: Elaboración propia

5.4.2.2 Recogida y Transporte

La recogida y el transporte a primera planta (p.e. TMB, PSE, transferencia, etc.) se modelado en dos partes: 1) la recogida y 2) el transporte. Como se explicó en capítulos previos, para

calcular la huella de carbono de la recogida, se asume que las distancias recorridas no son un factor determinante y se modela el consumo de combustible en función del peso del residuo recogido (Larsen et al., 2009). En el caso del transporte, se considera tanto la distancia recorrida como el peso transportado, modelando el consumo en litros por tonelada y kilómetro (l/t·km).

Para garantizar la coherencia y comparabilidad con el estudio original, este análisis excluye, al igual que el estudio de referencia, las emisiones del transporte de los materiales reciclables hacia los centros de reciclaje. De la misma manera, no se considerará el coste ambiental del transporte de los envases reutilizables hacia los productores.

No obstante, es importante destacar que, de incluirse, este transporte probablemente reduciría aún más el impacto ambiental del escenario SDDR3, ya que las botellas reutilizables se transportarían directamente a los productores, evitando el paso intermedio de procesar el material en una fábrica antes de ser enviado a los productores.

RECOGIDA

Consideraciones parte SCRAP

Dada la ausencia de datos sobre consumo real de combustible de la recogida de residuos en España, se han asumido la hipótesis utilizada por Tragsatec (2021) en su estudio original.

Fracción	Consumo de diésel (l/t)
Resto	3,00
EELL	10,00
Vidrio	5,00

Tabla 96. Consumos en la recogida por tipo de envase

Fuente: Tragsatec (2021)

Consideraciones parte SDDR

Además de considerar únicamente un 10% del consumo en el caso de logística inversa, es importante tener en cuenta que la compactación de residuos en la recogida automática permite un ahorro del 30% en el consumo de combustible. A continuación, se detallan los valores de consumo por modalidad de recogida en la tabla 97.

Origen	Tipo de recogida	Tipo de establecimiento	Tipo de camión	Consumo diésel
HORECA + Ámbito Privado	Logística inversa	-	5t	10% (10 litro/t EELL + 5 litros/t vidrio)
Domicilio – retorno manual	Logística inversa	Pequeño comercio	5t	
		Mediano y gran comercio	9,3t	
	Recogida específica	Pequeño comercio	5t	10 litro/t EELL + 5 litros/t vidrio
		Mediano y gran comercio	9,3t	
Domicilio – retorno automático	Logística inversa	Pequeño comercio	5t	10% (30% *10 litro/t EELL)
		Mediano y gran comercio	9,3t	
	Recogida específica	Pequeño comercio	5t	30%*10 litro/t EELL
		Mediano y gran comercio	9,3t	

Tabla 97. Hipótesis de la recogida de EELL y vidrio del escenario SDDR

Fuente: Tragsatec (2021)

Recogida (EBSS3 Vidrio)

El cálculo de las emisiones generadas durante la recogida del vidrio, según los consumos mencionados y el flujo de masas mostrado en la figura 13, se presenta en la tabla siguiente. Aunque se incluye el *littering* para completar el 100% del flujo de material, este no se gestiona a través de métodos de recogida convencionales debido a su propia naturaleza.

Modelo de Recogida	Porcentaje	Toneladas	Consumo (litro/t)	Litros	Emisiones (kg CO ₂)
RD (SDDR)	86.5%	68,133	5.0	340,665	837,696
LI (SDDR)		635,532	0.5	317,766	781,387
Ámbito Privado	1.0%	7,851	0.5	3,926	9,653
Contenedor Verde	7.3%	59,269	5.0	296,347	728,718
Contenedor Gris	5.0%	41,040	3.0	123,121	302,754
Littering	0.3%	2,036		-	-
		813,862			2,660,208

Tabla 98. Cálculo de las emisiones totales en la recogida del vidrio

Fuente: Elaboración propia

TRANSPORTE

Primera planta SCRAP

La información disponible sobre los transportes a primeras plantas resulta insuficiente para realizar una estimación completamente representativa de la realidad en España. Por este motivo, el estudio de Tragsatec basa sus cálculos en estimaciones derivadas de diversas publicaciones.

En este estudio, se ha asumido lo siguiente (Tragsatec, 2021):

1. El transporte de las tres fracciones (resto, EELL y vidrio) sin planta de transferencia se realiza en camiones diésel rígidos con capacidad de entre 12 y 14 toneladas, operando a una velocidad media de 59 km/h.
2. El transporte de las mismas fracciones con planta de transferencia se efectúa en camiones diésel rígidos con capacidad de entre 14 y 20 toneladas, también a una velocidad media de 59 km/h.

Fracción	Transferencia	Destino	Tipo de camión y velocidad	Consumo de diésel (l/(t·km))	Distancia (km)
Resto	No	TMB Incineración Vertedero	12-14t, 59 km/h	0.013	50
	Sí	TMB Incineración Vertedero	14-20t, 59 km/h	0.012	50
EELL	No	PSE	12-14t, 59 km/h	0.013	65
	Sí	PSE	14-20t, 59 km/h	0.012	65
Vidrio	No	Reciclador	12-14t, 80 km/h	0.013	157

Tabla 99. Hipótesis del transporte a primer destino del escenario SCRAP

Fuente: Tragsatec (2021)

Primera planta SDDR

El consumo de diésel en el transporte dentro del escenario SDDR, independientemente del material transportado, ya fue dimensionado en el apartado de viabilidad económica. No obstante, a continuación, se presenta una tabla resumen que detalla el consumo (l/km/t) según el trayecto y el tipo de recogida (Tragsatec, 2021).

Origen	Destino	Tipo de recogida	Tipo de establecimiento origen	Tipo de camión	Consumo diésel (l/km/t)	Distancia (km)
Punto de recogida HORECA	Centro logístico	Logística inversa	-	5t 59 km/h	0.009	59
Domicilio – retorno manual	Centro logístico	Logística inversa	Pequeño comercio	5t 59 km/h	0.009	
			Mediano y gran comercio	9,3t 59 km/h	0.007	
	Planta conteo y clasificación	Recogida específica	Pequeño comercio	5t 80 km/h	0.025	155
			Mediano y gran comercio	9,3t 80 km/h	0.018	
Domicilio – retorno automático	Centro logístico	Logística inversa	Pequeño comercio	5t 59 km/h	0.009	59
					9,3t	

			Mediano y gran comercio	59 km/h		
	Planta conteo y clasificación	Recogida específica	Pequeño comercio	5t 80 km/h	0.025	155
			Mediano y gran comercio	9,3t 80 km/h	0.018	

Tabla 100. Hipótesis del transporte a primer destino de los escenarios SDDR

Fuente: Tragsatec (2021)

Transporte entre plantas

Las hipótesis utilizadas por Tragsatec (2021) para el transporte entre plantas y el transporte desde los centros de clasificación y conteo hasta los recicladores se resumen en la tabla presentada a continuación.

Fracción	Destino	Tipo de camión	Consumo de diésel (l/(t*km))	Distancia (km)
Bala PET	Reciclador	14-20 t 89 km/h	0,011	300
Bala PEAD				237
Aluminio				335
Acero				129
Plástico Mix (inc. film)				299
Brik				310
Rechazo PSE	Vertedero Incineración	12-14 t 59 km/h	0,013	50
Rechazo TMB	Vertedero Incineración			
Centro logístico	Planta conteo y clasificación	22 t 80 km/h	0,011	155

Tabla 101. Hipótesis del transporte entre plantas en los escenarios SCRAP y SDDR

Fuente: Tragsatec (2021)

Cálculo transporte (EBSS3 vidrio)

Las emisiones generadas durante el transporte del vidrio se calculan en función de los consumos mencionados, el flujo de masas del vidrio (figura 13) y el sistema de reciclaje descrito en la figura 15. Los resultados de este cálculo se detallan en la tabla siguiente.

	Porcentaje	toneladas	Primer destino		Segundo destino		Litros	Emisiones (kg CO2)	
			km	consumo (l/km*tn)	km	consumo (l/km*tn)			
Comercio RD - gran comercio	86.5%	54,674	155	0.018			152,540	375,096	
Comercio RD - pequeño comercio		13,459	155	0.025			52,155	128,248	
Comercio LI - gran comercio		282,903	59	0.007	155	0.011	599,189	1,473,406	
Comercio LI - pequeño comercio		18,109	59	0.009	155	0.011	40,491	99,567	
Horeca (LI)		334,520	59	0.009	155	0.011	747,988	1,839,302	
Ámbito Privado (LI)	1.0%	7,851	59	0.009	155	0.011	17,556	43,169	
Verde	7.3%	59,269	157	0.013			120,969	297,463	
Gris - Rec	1.1%	9,279	50	0.012	157	0.013	24,506	60,261	
Gris - No Rec	3.9%	31,761	50	0.012	50	0.013	39,701	97,626	
Litering	0.3%	2,036					-	-	
		813,862							4,414,137

Tabla 102. Cálculo de las emisiones totales por el transporte del vidrio

Fuente: Tragsatec (2021)

Al analizar únicamente el vidrio presente en la fracción resto y comparar los escenarios SCRAP y SDDR, se obtienen los resultados que se muestran en la siguiente tabla. Estos valores serán utilizados para calcular el impacto total del SDDR3.

	Destino	Toneladas	Primer destino		Segundo destino		Litros	Emisiones (kg CO2)
			km	consumo (l/km*tn)	km	consumo (l/km*tn)		
Escenario SDDR3 (RSU)	Recuperado	9,279	50	0.0125	157	0.0130	24,738	60,831
	No Rec	31,761	50	0.0125	50	0.0130	40,495	99,578
Escenario SCRAP (RSU)	Recuperado	50,465	50	0.0125	157	0.0130	134,539	330,831
	No Rec	172,732	50	0.0125	50	0.0130	220,234	541,555
							Diferencia	-711,976

Tabla 103. Cálculo de la diferencia de huella de carbono en la recogida de RSU entre escenarios SDDR y SCRAP

Fuente: Elaboración propia

5.4.2.3 Plantas de Transferencia

Como se mencionó anteriormente, se asume que el vidrio recogido en el contenedor verde y en el ámbito privado se transporta directamente a los recicladores. En cuanto a los EELL, el 10 % pasa por plantas de transferencia, mientras que el 50 % de la fracción resto también se dirige a estas plantas.

Para el cálculo de la huella de carbono, se ha considerado el consumo eléctrico de estas instalaciones (Tragsatec, 2021):

- En las plantas de transferencia de EELL, se utiliza como referencia una planta con una capacidad de 1,270 t/año y un consumo de 64.37 kWh por tonelada de entrada.
- En las plantas de transferencia de RSU, se emplea un modelo con una capacidad de 14,450 t/año y un consumo de 6.86 kWh por tonelada de entrada.

Igual que en el estudio original, no se han considerado los consumos de combustibles en estas estaciones debido a la falta de datos disponibles.

La tabla siguiente presenta el impacto del vidrio en el consumo eléctrico y, consecuentemente, en las emisiones asociadas al escenario SDDR3, en comparación con el escenario SCRAP:

	Toneladas	kWh/t	kWh	Emisiones (t CO2 eq)
Vidrio SCRAP	111,599	64.37	7,183,595	1,796
Vidrio SDDR3	20,520	64.37	1,320,881	330
Diferencia	91,078		5,862,714	1,466

Tabla 104. Cálculo de la diferencia de huella de carbono producida en las plantas de transferencia entre escenarios SDDR y SCRAP

Fuente: Elaboración propia

5.4.2.4 Plantas de Selección de Envases (PSE)

Según Abejón et al. (2020), una planta de selección de envases consume 50.8 kWh/t de electricidad y 0.609 kg/t de diésel. Se ha asumido que los rechazos de las PSE se destinan

en un 16 % a incineración y en un 84 % a vertedero. Para las plantas de selección en el ámbito privado, se consideran los mismos valores de consumo energético y de combustible (Tragsatec, 2021).

5.4.2.5 Plantas de Conteo y Clasificación

Siguiendo la metodología del estudio realizado por Tragsatec, se ha estimado un consumo de 210 kWh/día por línea de conteo y clasificación (Hogg et al., 2012) y un consumo eléctrico para la clasificación de envases retornados equivalente al 80% del consumo de las plantas de selección de envases actuales (Abejón et al., 2020).

En las tablas 105, 106 y 107 se presentan los cálculos correspondientes al escenario SDDR3, basados en las consideraciones previamente mencionadas. Estos cálculos contemplan un total de 956,492 toneladas de envases para clasificar, así como la equivalencia asumida de 1 kilogramo de diésel por 1 litro.

Concepto	Cantidad	Unidad
Consumo por línea	210	kWh/día por línea
Número de líneas	119	líneas
Consumo eléctrico anual	8,771,490	kWh/año
Emisiones anuales	2,193	t CO2 eq

Tabla 105. Cálculo de las emisiones por línea de conteo

Fuente: Elaboración propia

Concepto	Cantidad	Unidad
Consumo eléctrico	40.64	kWh/t
Consumo total	38,871,848	kWh
Emisiones anuales	9,718	t CO2 eq

Tabla 106. Emisiones por el consumo eléctrico de los centros de conteo y clasificación

Fuente: Elaboración propia

Concepto	Cantidad	Unidad
Consumo diésel	0.4872	kg/t de diésel
Consumo total	466,003	litros diésel
Emisiones anuales	1,146	t CO2 eq

Tabla 107. Emisiones por el consumo de diésel de los centros de conteo y clasificación

Fuente: Elaboración propia

5.4.2.6 Planta de Tratamiento Mecánico-Biológico (TMB)

El consumo eléctrico de las plantas TMB para la selección de envases se ha estimado en 32 kWh/t de entrada, calculado como el promedio de los valores reportados en el proyecto Ariadna: 34.3 kWh/t para plantas automáticas y 29.9 kWh/t para plantas manuales (Abejón et al., 2020).

Además, se han asumido las siguientes proporciones para los rechazos de las plantas TMB (Tragsatec, 2021):

1. En el caso de los EELL, un 82 % se destina a vertedero y un 8 % a incineración.
2. Para los rechazos de vidrio, el 90 % va a vertedero y el 10 % a incineración.

La tabla siguiente presenta el impacto del vidrio en el consumo eléctrico y, consecuentemente, en las emisiones asociadas al escenario SDDR3, en comparación con el escenario SCRAP:

	Toneladas	kWh/t	kWh	Emisiones (t CO2 eq)
SCRAP	223,197	32	7,142,304	1,786
SDDR3	41,040	32	1,313,289	328
Diferencia	182,157		5,829,015	1,457

Tabla 108. Cálculo de la diferencia de huella de carbono producida en las plantas de TMB entre escenarios SDDR y SCRAP

Fuente: Elaboración propia

5.4.2.7 Proceso de Reciclaje

Los impactos del reciclaje se calculan como la diferencia entre los impactos del reprocesado y los impactos asociados a la producción de material virgen, que se evita gracias al uso del material reciclado.

$$\text{Impacto reciclaje} = \text{Impacto reprocesado} - A * B * \text{Impacto producción primaria}$$

Para este cálculo, se consideran dos coeficientes:

- Coeficiente A: Representa la eficiencia tecnológica del reciclaje, teniendo en cuenta las pérdidas materiales que ocurren durante el proceso de reciclado.
- Coeficiente B: Indica el porcentaje de sustitución de materia prima que se evita gracias al reciclaje, reflejando el grado en que el material reciclado reemplaza efectivamente al material virgen en el mercado.

Los valores de los coeficientes A y B, junto con los impactos del reprocesado y de la producción primaria utilizados en el estudio original, se presentan en la tabla siguiente.

	SCRAP (PSE & TMB)		SDDR		Impacto del reprocesado (kg CO2/kg)	Impacto de la producción primaria (kg CO2/kg)
	A	B	A	B		
VIDRIO	94%	100%	99%	100%	0.46	0.74
PET	75.5%	81%	99%	100%	0.53	3.43
PEAD	90%	81%	99%	100%	0.35	1.88
Aluminio	93%	100%	99%	100%	2.18	13.82
ACERO	84%	100%	99%	100%	1.27	2.21
Plástico MIX	75%	90%	75%	90%	0.297	0.85
Brik	93%	100%	99%	100%	0.452	1.85

Tabla 109. Coeficientes A y B e impactos de reprocesado y producción primaria utilizadas en la etapa de reciclaje

Fuente: Tragsatec (2021)

El impacto del reciclaje del vidrio en el escenario SDDR3 se ve influido por dos factores principales. Por un lado, el número de botellas destinadas al reciclaje es menor en comparación con el escenario SCRAP o con otros sistemas SDDR, ya que gran parte del

vidrio recuperado se reutiliza en lugar de reciclarse. Por otro lado, el peso de las botellas en el SDDR3 es un 39 % mayor, lo que incrementa el peso total del vidrio reciclado.

En conjunto, el volumen de vidrio reciclado resulta menor que en el escenario SCRAP (tabla 110).

	Toneladas	Impacto reciclaje	Emisiones (t CO2 eq)
SDDR3	68,549	-0.273	-18,686
SCRAP	315,173	-0.236	-74,255
Diferencia	-246,624		55,568

Tabla 110. Cálculo de la diferencia de huella de carbono ahorrada por el reprocesado de materiales entre escenarios SDDR y SCRAP

Fuente: Elaboración propia

5.4.2.8 Valoración Energética

La incineración de residuos de envases genera emisiones directas de CO₂ debido a la composición de los residuos y compensa parte de estas emisiones mediante la electricidad producida en los incineradores, que reemplaza la electricidad generada con el mix eléctrico español. Según Margallo et al. (2014), las plantas de incineración en España son capaces de recuperar, en promedio, el 25 % del poder calorífico inferior de los residuos en forma de electricidad.

En este contexto, se han adoptado las siguientes premisas (Tragsatec, 2021):

1. Cenizas de fondo y volantes: Se envían a vertedero de residuos especiales con un transporte promedio de 100 km.
2. Metales recuperados de las escorias: Se reciclan con una eficiencia tecnológica un 20 % menor.
3. Vidrio recuperado de escorias: Se reutiliza en la producción de hormigón.

5.4.2.9 Lavado de Botellas Retornables

Como se analizó anteriormente, el uso de botellas reutilizables genera un incremento en los costes operativos para los productores debido a que, aunque todas las botellas pasan por un proceso de lavado, las reutilizables requieren un lavado más intensivo para garantizar la seguridad alimentaria en su próximo uso.

Este proceso implica un mayor consumo de recursos durante el lavado. En términos de huella de carbono, se estima un incremento total de 2,767,006 kWh de energía térmica consumida. Asumiendo un factor de emisión equivalente al de la electricidad, esto resulta en una emisión total de **692 toneladas de CO₂ equivalente**.

5.4.2.10 Reducción de la Producción de Botellas

Por último, es fundamental considerar el impacto ambiental asociado a la reutilización de botellas de vidrio. Para ello, se comparará el número de botellas producidas en un escenario de botellas de un solo uso frente al número de botellas necesarias anualmente en un sistema de reutilización. Además, se debe tener en cuenta que el peso de cada botella es mayor en el escenario reutilizable, lo que influye directamente en el análisis.

Para evaluar la huella de carbono asociada a la producción de vidrio, se han utilizado valores de emisiones de 0.74 kg de CO₂ por kilogramo de vidrio de primer uso y 0.46 kg de CO₂ por kilogramo de vidrio reprocesado. Considerando un porcentaje de recuperación de vidrio del 70 %, se obtienen los resultados detallados en las tablas siguientes.

Fabricación botellas un solo uso			
Botellas al año	Kilos	Kilos/botella	Emisiones
2,693,881,225	585,980,846	0.218	318,773,580

Tabla 111. Emisiones totales en la fabricación de botellas de vidrio un solo uso en el escenario SCRAP

Fuente: Elaboración propia

Fabricación botellas reutilizables			
Botellas al año	Kilos	Kilos/botella	Emisiones
401,390,866	121,266,255	0.302	65,968,843

Tabla 112. Emisiones totales en la fabricación de botellas reutilizables en el escenario SDDR3

Fuente: Elaboración propia

La diferencia entre la huella de carbono producida en la fabricación de botellas de un solo uso y la fabricación de botellas reutilizables se corresponde con el impacto que tiene en esta fase la reutilización de los envases retornables del SDDR3.

5.4.3 RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados del análisis de la huella de carbono del SDDR3, junto con el escenario SCRAP calculado en el estudio original de Tragsatec.

Para el SDDR3, debido a inconsistencias en los resultados relacionados con la recogida y transporte de residuos SCRAP, así como a la falta de trazabilidad en el cálculo del impacto asociado a la valorización y el vertedero, se han utilizado los datos de los escenarios SDDR1 y SDDR2 del estudio de Tragsatec para aproximar su huella de carbono.

Huella carbono (toneladas de CO₂-Eq)		
	SCRAP	SDDR 3
Recogida y Transporte	52,518	76,495
Recogida, Transporte & Transferencia EELL	21,665	18,038
Recogida y Transporte Vidrio a reciclador	17,835	17,118
Recogida, Transporte & Transferencia RSU	13,018	10,175
Recepción SDDR Automática	0	7,114
Recepción SDDR Manual	0	15,557
Recogida y Transporte SDDR	0	8,493
Selección	19,126	27,803
Planta SDDR conteo y/o clasificación	0	13,057
Planta Selección Envases (incl. transporte residuos)	11,209	9,228
Planta Triaje RSU (incl. transporte residuos)	7,917	5,519
Lavado del reutilizable	0	692
Valorización Energética (incl. transporte cenizas)	117,533	98,577
Vertedero (también de cenizas)	3,119	2,512
Reciclaje	-1,366,672	-1,861,131
Reciclaje vidrio	-207,687	-152,119
Reciclaje aluminio (incluye transporte bala)	-451,047	-812,639
Reciclaje acero (incluye transporte bala)	-93,878	-125,110
Reciclaje PET (incluye transporte bala)	-418,884	-576,638
Reciclaje HDPE (incluye transporte bala)	-64,663	-65,031
Reciclaje Brik (incluye transporte bala)	-49,920	-49,920
Reciclaje Plástico Mix (incluye transporte bala)	-77,933	-77,933
Valorización vidrio de escorias de incineración	-2,659	-1,741
Reducción de producción de botellas	0	-252,805
Impacto neto	-1,174,376	-1,909,597

Tabla 113. Huella de carbono total en los escenarios SCRAP y SDDR3

Fuente: Elaboración propia

5.4.4 COMPARATIVA ENTRE ESCENARIOS

En esta tabla se presentan los resultados obtenidos para el escenario SDDR3, analizado en este documento, junto con los escenarios SCRAP, SDDR1 (envases de vidrio, plástico, metal y briks no retornables) y SDDR2 (envases de plástico y metal no retornables).

	Huella carbono (toneladas de CO₂-Eq)			
	SCRAP	SDDR 1	SDDR 2	SDDR 3
Recogida y Transporte	52,518	91,752	72,277	76,495
Recogida, Transporte & Transferencia EELL	21,665	17,622	18,038	18,038
Recogida y Transporte Vidrio a reciclador	17,835	14,823	17,835	17,118
Recogida, Transporte & Transferencia RSU	13,018	8,986	11,364	10,175
Recepción SDDR Automática	0	20,322	7,114	7,114
Recepción SDDR Manual	0	22,337	14,968	15,557
Recogida y Transporte SDDR	0	7,662	2,958	8,493
Selección	19,126	24,828	20,836	27,803
Planta SDDR conteo y/o clasificación	0	10,344	4,633	13,057
Planta Selección Envases (incl. transporte residuos)	11,209	9,023	9,228	9,228
Planta Triaje RSU (incl. transporte residuos)	7,917	5,461	6,976	5,519
Lavado del reutilizable	0	0	0	692
Valorización Energética (incl. transporte cenizas)	117,533	98,511	98,643	98,577
Vertedero (también de cenizas)	3,119	2,208	2,816	2,512
Reciclaje	-1,366,672	-1,974,957	-1,917,617	-1,861,131
Reciclaje vidrio	-207,687	-260,109	-207,687	-152,119
Reciclaje aluminio (incluye transporte bala)	-451,047	-812,639	-812,639	-812,639
Reciclaje acero (incluye transporte bala)	-93,878	-125,110	-125,110	-125,110
Reciclaje PET (incluye transporte bala)	-418,884	-576,638	-576,638	-576,638
Reciclaje HDPE (incluye transporte bala)	-64,663	-65,031	-65,031	-65,031
Reciclaje Brik (incluye transporte bala)	-49,920	-55,756	-49,920	-49,920
Reciclaje Plástico Mix (incluye transporte bala)	-77,933	-77,933	-77,933	-77,933
Valorización vidrio de escorias de incineración	-2,659	-1,741	-2,659	-1,741
Reducción de producción de botellas	0	0	0	-252,805
Impacto neto	-1,174,376	-1,757,659	-1,723,045	-1,909,597

Tabla 114. Tabla comparativa de la huella de carbono según el escenario

Fuente: Elaboración propia

Los resultados indican que el escenario SDDR3 podría lograr una reducción de la huella de carbono significativamente mayor en comparación con los otros escenarios analizados en el estudio de Tragsatec (2021). Aunque el SDDR1 también incluye envases de vidrio, su

reprocesado no genera un ahorro de emisiones tan relevante como el de otros materiales y por tanto la reducción de la huella de carbono en los escenarios SDDR 1 y SDDR 2 son muy similares. Sin embargo, como se demuestra, la reutilización del vidrio sí presenta una ventaja ambiental considerable.

El incremento en las emisiones derivado del transporte y el lavado de las botellas reutilizables es muy inferior a la reducción lograda por la disminución en la producción de nuevas botellas. Esto posiciona al SDDR3 como un escenario notablemente más atractivo desde una perspectiva ambiental.

Considerando que las emisiones totales de gases de efecto invernadero en España ascienden a 294 millones de toneladas de CO₂ equivalente (MITECO, 2024), la implementación del SDDR3 podría reducir estas emisiones en un 0,3%, incluyendo únicamente una fracción de los envases de bebidas en el sistema.

Capítulo 6. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En el presente capítulo se analizan como la modificación de algunos parámetros del sistema podrían impactar en el SDDR propuesto.

6.1 AUMENTO DEL DEPÓSITO

El aumento del depósito asociado a los envases se traduce en una mayor tasa de retorno. Según el estudio de Fletcher et al. (2012), un depósito de 25 céntimos podría alcanzar una tasa de retorno del 90,33%. Esta cifra, aunque superior a los 10 céntimos empleados en el estudio original de Tragsatec, es perfectamente razonable. De hecho, varios países europeos, como Austria y Noruega, ya cuentan con depósitos de 25 céntimos para algunos envases, e incluso en Finlandia los depósitos pueden llegar hasta los 40 céntimos.

Este incremento representa una oportunidad tanto económica como ambiental, que se analiza a continuación.

BALANCE ECONÓMICO DEL SDDR3			
Concepto	0.10 céntimos	0.25 céntimos	Unidad
Ingresos			
Ingresos por venta de material reciclables	104,041,718	104,041,718	€/año
Ingresos por botellas reutilizables	175,857,109	183,721,678	€/año
Ingresos por depósitos no reclamados	228,538,659	408,144,482	€/año
Total ingresos	508,437,485	695,907,877	€/año
Costes			
Coste por la reposición de botellas y cajas reutilizables	50,958,899	41,331,371	€/año
Costes de gestión/manipulación	707,822,731	709,634,851	€/año
Coste de transporte	110,558,367	111,142,984	€/año
Coste de centros de recuento y clasificación	33,900,982	33,900,982	€/año
Coste del transporte del retornable al productor	16,598,680	17,577,473	€/año
Coste de lavado	7,610,411	7,950,759	€/año
Total costes	927,450,071	921,538,420	€/año
Balance			
Balance	419,012,586	225,630,542	€/año

Tabla 115. Balance económico del SDDR3 en función del depósito

Fuente: Elaboración propia

En términos económicos, aumentar el depósito a 25 céntimos duplica prácticamente los ingresos por depósitos no reclamados, que ya constituían la principal fuente de ingresos. Además, al recuperar un mayor número de botellas, la vida útil promedio de las botellas reutilizables se incrementa, lo que mejora su rentabilidad. Esto permitiría proporcionar al sistema una financiación más robusta, reduciendo los costes globales que deben asumir los productores.

Huella carbono (toneladas de CO₂-Eq)		
	0.10 céntimos	0.25 céntimos
Recogida y Transporte	76,495	76,742
Recogida, Transporte & Transferencia EELL	18,038	18,038
Recogida y Transporte Vidrio a reciclador	17,118	17,118
Recogida, Transporte & Transferencia RSU	10,175	10,175
Recepción SDDR Automática	7,114	7,114
Recepción SDDR Manual	15,557	15,557
Recogida y Transporte SDDR	8,493	8,740
Selección	27,803	28,363
Planta SDDR conteo y/o clasificación	13,057	13,616
Planta Selección Envases (incl. transporte residuos)	9,228	9,228
Planta Triaje RSU (incl. transporte residuos)	5,519	5,519
Lavado del reutilizable	692	723
Valorización Energética (incl. transporte cenizas)	98,577	98,577
Vertedero (también de cenizas)	2,512	2,512
Reciclaje	-1,861,131	-1,861,131
Reciclaje vidrio	-152,119	-152,119
Reciclaje aluminio (incluye transporte bala)	-812,639	-812,639
Reciclaje acero (incluye transporte bala)	-125,110	-125,110
Reciclaje PET (incluye transporte bala)	-576,638	-576,638
Reciclaje HDPE (incluye transporte bala)	-65,031	-65,031
Reciclaje Brik (incluye transporte bala)	-49,920	-49,920
Reciclaje Plástico Mix (incluye transporte bala)	-77,933	-77,933
Valorización vidrio de escorias de incineración	-1,741	-1,741
Reducción de producción de botellas	-252,805	-261,482
Impacto neto	-1,909,597	-1,917,436

Tabla 116. Balance ambiental del SDDR3 en función del depósito

Fuente: Elaboración propia

Desde una perspectiva ambiental, aunque el impacto es positivo, no resulta particularmente significativo. Esto se debe a que el incremento en la tasa de devolución es inferior al 4%, lo que limita la reducción de la huella de carbono asociada a la fabricación de botellas nuevas.

6.2 REDUCCIÓN DEL PESO DE LAS BOTELLAS REUTILIZABLES

Demostrado el potencial de los envases reutilizables, su impacto positivo podría potenciarse aún más incrementando la cantidad de envases que adopten este modelo. Aunque este

análisis escapa al alcance del presente estudio, es razonable considerar que, si otros materiales como el plástico fueran sustituidos por opciones reutilizables, como el vidrio, el impacto podría ser aún más significativo.

En este apartado se evalúa la importancia del peso de los envases reutilizables en el sistema y se analiza si la utilización de envases más ligeros tendría un impacto relevante. A continuación, se compara cómo variarían los resultados si las botellas de vidrio reutilizables redujeran su peso a la mitad respecto al de las botellas de vidrio de un solo uso, alcanzando un promedio de 100 g por botella.

BALANCE ECONÓMICO DEL SISTEMA			
Concepto	Peso normal	-50% peso	Unidad
Ingresos			
Ingresos por venta de material reciclables	104,041,718	104,041,718	€/año
Ingresos por botellas reutilizables	175,857,109	175,857,109	€/año
Ingresos por depósitos no reclamados	228,538,659	228,538,659	€/año
Total ingresos	508,437,485	508,437,485	€/año
Costes			
Coste por la reposición de botellas y cajas reutilizables	50,958,899	50,958,899	€/año
Costes de gestión/manipulación	707,822,731	707,822,731	€/año
Coste de transporte	110,558,367	107,665,999	€/año
Coste de centros de recuento y clasificación	33,900,982	33,900,982	€/año
Coste del transporte del retornable al productor	16,598,680	14,975,018	€/año
Coste de lavado	7,610,411	7,610,411	€/año
Total costes	927,450,071	922,934,041	€/año
Balance			
Balance	419,012,586	414,496,556	€/año

Tabla 117. Balance económico del SDDR3 según el peso de las botellas reutilizables

Fuente: Elaboración propia

En el balance económico, no se observa una ventaja significativa con envases más ligeros. Esto se debe a que los camiones están limitados tanto por peso como por volumen, y, aunque se redujera el peso de los envases, no sería posible transportar significativamente más

unidades bajo el modelo actual. Este análisis considera el uso de cajas de plástico, que, aunque voluminosas, son necesarias para proteger la fragilidad de las botellas de vidrio. Un cambio en el material de las cajas podría optimizar el volumen empleado durante el transporte.

Adicionalmente, el coste del combustible representa menos de un tercio del total de los costes de transporte y sería el único componente directamente afectado por la reducción de peso. En cambio, los costes laborales y de inversión se mantendrían prácticamente iguales.

Huella carbono (toneladas de CO₂-Eq)		
	Peso normal	-50% peso
Recogida y Transporte	76,495	67,707
Recogida, Transporte & Transferencia EELL	18,038	18,038
Recogida y Transporte Vidrio a reciclador	17,118	11,873
Recogida, Transporte & Transferencia RSU	10,175	10,175
Recepción SDDR Automática	7,114	7,114
Recepción SDDR Manual	15,557	15,557
Recogida y Transporte SDDR	8,493	4,950
Selección	27,803	22,478
Planta SDDR conteo y/o clasificación	13,057	7,942
Planta Selección Envases (incl. transporte residuos)	9,228	9,228
Planta Triaje RSU (incl. transporte residuos)	5,519	5,309
Lavado del reutilizable	692	692
Valorización Energética (incl. transporte cenizas)	98,577	98,577
Vertedero (también de cenizas)	2,512	2,512
Reciclaje	-1,861,131	-1,849,171
Reciclaje vidrio	-152,119	-140,159
Reciclaje aluminio (incluye transporte bala)	-812,639	-812,639
Reciclaje acero (incluye transporte bala)	-125,110	-125,110
Reciclaje PET (incluye transporte bala)	-576,638	-576,638
Reciclaje HDPE (incluye transporte bala)	-65,031	-65,031
Reciclaje Brik (incluye transporte bala)	-49,920	-49,920
Reciclaje Plástico Mix (incluye transporte bala)	-77,933	-77,933
Valorización vidrio de escorias de incineración	-1,741	-1,741
Reducción de producción de botellas	-252,805	-295,025
Impacto neto	-1,909,597	-1,953,971

Tabla 118. Balance ambiental del SDDR3 según el peso de las botellas reutilizables

Fuente: Elaboración propia

Desde un punto de vista ambiental, el impacto sería más notable, principalmente debido a la reducción en la cantidad de material necesario para producir los envases. Sin embargo, este

análisis asume que los envases seguirían siendo de vidrio; de optarse por otros materiales, sería necesario evaluar su impacto ambiental específico.

Asimismo, se detecta un efecto significativo en la reducción de emisiones derivadas del transporte y de los procesos en los centros de conteo y clasificación. En conjunto, se puede afirmar que la reducción del peso de los envases tendría un impacto ambiental considerablemente mayor que el económico.

6.3 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Aunque el estudio de Tragsatec establece un depósito de 10 céntimos por envase, el análisis de sensibilidad indica que aumentar esta cantidad tendría un impacto positivo, tanto ambiental como, especialmente, económico. No obstante, sería útil realizar un análisis adicional para evaluar cómo el importe del depósito podría influir en el comportamiento de compra de los consumidores y determinar la cantidad óptima. Sin este análisis, 25 céntimos parece una cifra suficientemente elevada, con claras ventajas económicas, y que ya se aplica en otros países europeos.

Por otro lado, el estudio confirma que el peso de los envases reutilizables de vidrio no es un factor especialmente determinante. Aunque reducir su peso podría generar beneficios ambientales, su impacto económico es limitado. Con la futura incorporación de nuevas tecnologías y materiales, será interesante analizar cómo podrían optimizarse el sistema y su eficiencia.

Capítulo 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos permiten valorar objetivamente el potencial que ofrecen los envases de vidrio y su reutilización dentro del marco de un Sistema de Depósito, Devolución y Retorno (SDDR). Aunque los resultados son prometedores, es importante subrayar las limitaciones asociadas a la falta de trazabilidad en el estudio original de Tragsatec, sobre el cual se ha basado este análisis. En algunos casos, se han empleado metodologías diferentes, lo que reduce la comparabilidad y sugiere que los resultados deben interpretarse con cautela, considerándolos más como una ilustración del potencial de la reutilización que como cifras definitivas.

Dicho esto, el escenario SDDR3 ha mostrado claras ventajas tanto económicas como ambientales, demostrando que la reutilización de envases, con la integración de un sistema SDDR, no solo es viable, sino una gran oportunidad para maximizar los beneficios esperados de dicho sistema.

La siguiente figura presenta un resumen del impacto económico y ambiental de los distintos escenarios analizados. El balance económico del SCRAP se basa en los ingresos asociados al punto verde de los EBSS.

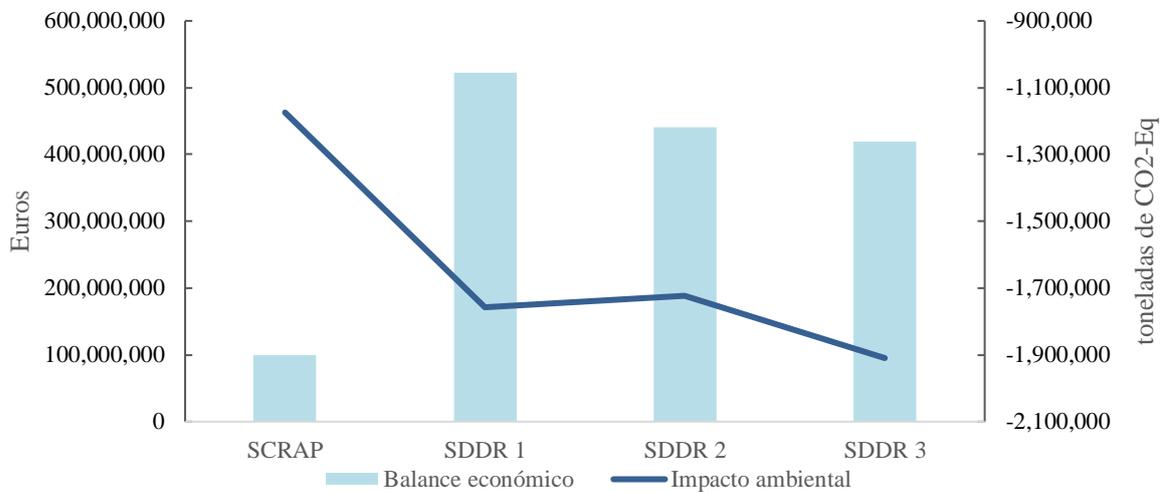


Figura 15. Resumen ilustrado del balance económico y ambiental de los escenarios propuestos

Fuente: Elaboración propia

Desde el punto de vista económico, el sistema actual (SCRAP) resulta significativamente más barato que la implementación de un SDDR. Sin embargo, su capacidad para reducir el impacto ambiental es poco más de la mitad de la que ofrece el SDDR.

Considerando los objetivos establecidos y la necesidad de reducir las emisiones, el coste adicional del SDDR parece justificado. Entre los distintos escenarios analizados, el SDDR evaluado en este estudio se perfila como la opción más beneficiosa, tanto desde una perspectiva ambiental como económica.

Cabe destacar que el caso estudiado está sujeto a diversas hipótesis, como la colaboración activa de los consumidores, quienes deben devolver los envases, y el compromiso de las empresas, que deben asumir parte de los costes operativos del sistema. Resulta fundamental analizar cómo los diferentes escenarios impactarían en el comportamiento y las decisiones de estos agentes clave:

Consumidores:

- Para los consumidores, la incorporación del vidrio en el SDDR puede resultar más incómoda en comparación con otros materiales, ya que el vidrio es un material más pesado y frágil, lo que podría hacer que su devolución sea más laboriosa. Sin embargo,

es relevante destacar que, desde el punto de vista del usuario final, no existen diferencias significativas entre envases de vidrio reutilizables y no reutilizables sujetos a un SDDR en términos prácticos.

- Un aspecto crítico a considerar es el importe del depósito asociado a los envases, que podría influir directamente en las decisiones de compra. Un depósito más alto incentiva la devolución, pero podría desincentivar la compra inicial en determinados segmentos de consumidores. Por ello, sería necesario realizar estudios más detallados para identificar el equilibrio óptimo entre estos factores.

Productores:

- Para los productores, la introducción de envases de vidrio reutilizables presenta un incentivo económico claro. La implementación de un depósito más elevado ha demostrado reducir el déficit del sistema que actualmente debe ser asumido por el principio de Responsabilidad Ampliada del Productor (RAP). Además, los envases reutilizables ofrecen beneficios a largo plazo, al disminuir la necesidad de fabricar nuevas botellas y optimizar los costes asociados.
- No obstante, la transición hacia envases reutilizables requerirá una importante inversión inicial en infraestructura para el lavado, transporte y almacenamiento de botellas, lo que podría representar un desafío para algunos productores, especialmente los de menor tamaño.

Políticas regulatorias y alcance del SDDR:

- Bajo la hipótesis de que el 100% de los envases de vidrio sean reutilizables, surge la necesidad de analizar cómo se podría implementar un sistema de estas características. Es probable que sea necesario un ajuste en las políticas regulatorias para incentivar o incluso exigir a los productores que utilicen botellas reutilizables.
- Medidas como la estandarización de botellas y el desarrollo de marcos legales específicos podrían facilitar la implementación y asegurar que los envases sean compatibles entre diferentes productores, reduciendo así la complejidad logística.

El escenario SDDR3 destaca como una solución prometedora para avanzar hacia un modelo más sostenible, reduciendo significativamente la huella de carbono y generando beneficios económicos a largo plazo. Sin embargo, su implementación requiere un enfoque integral que considere los intereses y limitaciones de los distintos agentes involucrados, desde consumidores hasta productores y autoridades regulatorias.

Además, para maximizar el impacto positivo, sería necesario ampliar el análisis a escenarios más ambiciosos, como la sustitución de otros materiales (por ejemplo, plásticos de un solo uso) por alternativas reutilizables. Este enfoque podría potenciar aún más los beneficios ambientales del sistema, aunque requeriría esfuerzos adicionales en términos de diseño de políticas, desarrollo de infraestructura y cambio cultural.

Capítulo 8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Este documento amplía el estudio realizado por Tragsatec para el MITERD sobre la evaluación de la implementación de un SDDR en España, incorporando un análisis específico del impacto del uso de envases reutilizables en el sistema.

Mediante una evaluación técnica, económica y ambiental del escenario SDDR3, que contempla el uso de envases de vidrio reutilizable, se concluye que la reutilización dentro del marco de un SDDR presenta importantes ventajas, especialmente a nivel ambiental. De este modo, se logra el objetivo de determinar la viabilidad de incluir envases retornables en el sistema y exponerla como la mejor alternativa a la hora de implantar un SDDR en nuestro país.

Se seleccionó el vidrio como medio de reutilización debido a su uso consolidado en el sector horeca, así como a su seguridad alimentaria y su capacidad para preservar la calidad de los alimentos, atributos altamente valorados por los consumidores y que impulsan su demanda. No obstante, su elevado peso en comparación con otras alternativas plantea ciertos desafíos y dudas sobre el futuro del vidrio en el sector. Asimismo, el análisis de sensibilidad revela que el peso del material reutilizable no es un factor tan determinante como se podría suponer. Aunque un material más ligero ofrecería ciertas ventajas, la sólida reputación del vidrio, sugiere que seguirá siendo el principal material reutilizable a medio y largo plazo.

Se recomienda desarrollar futuras líneas de investigación que amplíen y profundicen en el análisis del escenario planteado en este estudio. Esta investigación no tenía como objetivo obtener cálculos exactos del sistema, sino proporcionar una aproximación que permitiera evaluar su viabilidad. Ahora, para avanzar hacia la implementación del SDDR se requiere y aconseja llevar los cálculos a un nivel más detallado.

Entre los aspectos a analizar, se encuentra el impacto del uso de cajas reutilizables en el sistema y su relación con el depósito asociado. También es necesario profundizar en la

selección de la cantidad del depósito de las botellas para el sistema en nuestro país. Si bien el análisis de sensibilidad mostró que un depósito más elevado para las botellas resulta beneficioso tanto económica como ambientalmente, es necesario estudiar cómo este factor podría influir en el comportamiento de los consumidores. Para ello, se recomienda realizar un análisis detallado sobre la elasticidad precio de la demanda y la posible canibalización entre distintas alternativas de bebidas dentro y fuera del SDDR.

Además, para la futura implementación del SDDR, será fundamental evaluar su viabilidad desde el punto de vista legislativo. Este sistema no solo supondría un nuevo coste para los productores de bebidas debido al RAP, sino que también requeriría la implicación de otros actores, como los puntos de venta, que deberían encargarse de la recogida y almacenamiento de los envases. Asimismo, el SDDR3 exigiría establecer mecanismos para incentivar u obligar a los productores y envasadores a utilizar vidrio reutilizable dentro del sistema.

También, dado que en este estudio se asumió que la recogida de vidrio se realiza de forma 100 % manual, sería interesante evaluar cómo la implementación del sistema retornable podría beneficiarse de la recogida automática.

Por último, es fundamental analizar en profundidad cómo se integraría el SDDR con el actual sistema SCRAP para maximizar el impacto positivo de ambos en su coexistencia. Esto implica evaluar su compatibilidad operativa, la redistribución de responsabilidades entre los distintos actores de la cadena y los posibles ajustes normativos necesarios para garantizar una transición eficiente. Una integración bien diseñada permitiría aprovechar las ventajas de cada modelo, combinando la capacidad del SCRAP para gestionar residuos con la eficiencia del SDDR en la recuperación y reutilización de envases, optimizando así los beneficios ambientales y económicos del sistema global de gestión de envases en España.

En conjunto, aunque la metodología de Tragsatec utilizada en este trabajo deja algunos interrogantes, el estudio demuestra de manera satisfactoria el interés en la utilización de envases retornables dentro del SDDR y pone de manifiesto aprendizajes clave para avanzar hacia un sector mucho más sostenible.

Capítulo 9. BIBLIOGRAFÍA

- [4] Aballe, M. (2012). *Estado de situación y valoración crítica de los SDDR (Sistemas de Depósito sobre Envases) en Europa y de la ofensiva para su implantación en España*. Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) 2012. Envisage (European Sustainability Platform). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/235294048_ESTADO_DE_SITUACION_Y_VALORACION_CRITICA_DE_LOS_SDDR_SISTEMAS_DE_DEPOSITO SOBRE ENVASSES EN EUROPA Y DE LA OFENSIVA PARA SU IMPLANTACION EN ESPAÑA
- [5] Abejón, R., Laso, J., Margallo, M., Aldaco, R., Blanca-Alcubilla, G., Bala, A., & Fullana-i-Palmer, P. (2020). *Environmental impact assessment of the implementation of a Deposit-Refund System for packaging waste in Spain: A solution or an additional problem?* Science of the Total Environment, 721, 137744. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137744>
- [6] ANFEVI (Asociación Nacional de Fabricantes de Envases de Vidrio). (2021). *Cerveza y Vidrio: Una combinación perfecta*. Recuperado de <https://www.anfevi.com/wp-content/uploads/2021/03/Dossier-Cerveza-y-Vidrio.pdf>
- [7] Autoridad Independiente de Responsabilidad Fiscal (AIReF). (2024, enero). *Sistemas de depósito, devolución y retorno (SDDR)*. En *Estudio sobre la Gestión de Residuos Municipales* (pp. 110-112). Recuperado de https://www.airef.es/wp-content/uploads/2024/01/publicaciones/Informe_GestionResiduos_2_5_2_SDDR_2.pdf
- [8] Bala, A., & Fullana, P. (2017). *Análisis comparado de diferentes opciones de distribución de frutas y verduras en España basado en el ACV*. Cátedra UNESCO de Ciclo de Vida y Cambio Climático, ESCI-UPF.
- [9] Brogaard, L. K., Damgaard, A., Jensen, M. B., Barlaz, M., & Christensen, T. H. (2014). *Evaluation of life cycle inventory data for recycling systems*. Resources, Conservation and Recycling, 87, 30-45.
- [10] Cerveceros de España. (2023). *Informe Socioeconómico del Sector de la Cerveza en España 2023*. Recuperado de

- https://cerveceros.org/uploads/6669bc999bca5_Informe%20Socioeconomico%202023%20final%20pgs%20simples.pdf
- [11] Comisión Europea. (2020). *Nuevo Plan de acción para la economía circular por una Europa más limpia y más competitiva (COM(2020) 98 final)*. Publicado el 11 de marzo de 2020. Bruselas: Comisión Europea.
- [12] Dansk Retursystem. (2023). *Información sobre el sistema danés de depósito y devolución*. Recuperado de <https://www.danskretursystem.dk/>
- [13] Deutsche Pfandsystem GmbH (DPG). (2023). *Información sobre el sistema alemán de depósito y devolución*. Recuperado de <https://dpg-pfandsystem.de/index.php/de/>
- [14] Ecovidrio. (2024). *Resultados reciclaje vidrio 2023*. Recuperado de <https://www.ecovidrio.es/resultados-reciclaje-vidrio-2023>
- [15] Ekopullo. (2023). *Información sobre el operador de envases reutilizables en Finlandia*. Recuperado de <https://www.ekopullo.fi/>
- [16] ENT. (2021). *Estudio sobre la viabilidad técnica y ambiental de la implantación de un Sistema de Depósito, Devolución y Retorno (SDDR) en España*.
- [17] Eunomia. (2019). *Evaluación de costes de introducción de un sistema de depósito, devolución y retorno en España*. Informe final para Retorna. Recuperado de <https://www.eunomia.co.uk/reports-tools/examining-the-cost-of-introducing-a-deposit-refund-system-in-spain/>
- [18] Fernández, I. (2017). *Estudio de viabilidad de la implantación de un Sistema de Depósito, Devolución y Retorno (SDDR) en España*. Universidad de Almería. Recuperado de https://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/6598/15178_TFG%20Irene%20Fernandez%20Junio%202017.pdf
- [19] Fletcher, D., Hogg, D., von Eye, M., Elliott, T., & Bendali, L. (2012). *Evaluación de costes de introducción de un sistema de depósito, devolución y retorno en España*. Informe final para Retorna. Eunomia. Recuperado de <https://www.eunomia.co.uk/reports-tools/examining-the-cost-of-introducing-a-deposit-refund-system-in-spain/>
- [20] Hogg, D., Fletcher, D., von Eye, M., Elliott, T., Bendali, L., Roset, M., Fletcher, M. von Eye, T., & Grant, A. (2012). *Introducing a DRS in Spain: Examining the cost of introducing a deposit refund system in Spain: Technical appendices report for Retorna*. Eunomia. Recuperado de <https://www.eunomia.co.uk/reports-tools/examining-the-cost-of-introducing-a-deposit-refund-system-in-spain/>

- [21] Larsen, A. W., Vrgoc, M., Christensen, T. H., & Lieberknecht, P. (2009). Diesel consumption in waste collection and transport and its environmental significance. *Waste Management Research*, 27(6), 652–659. <https://doi.org/10.1177/0734242X08097636>
- [22] Laubinger, F., Brown, A., Dubois, M., & Börkey, P. (2022). *Deposit-refund systems and the interplay with additional mandatory extended producer responsibility policies*. OECD Environment Working Papers, No. 197, OECD Publishing.
- [23] Margallo, M., Aldaco, R., Irabien, A., Carrillo, V., Fischer, M., Bala, A., & Fullana, P. (2014). Life cycle assessment modelling of waste-to-energy incineration in Spain and Portugal. *Waste Management Research*, 32(5), 492–499. <https://doi.org/10.1177/0734242X14536459>
- [24] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2019). *Informe del consumo alimentario en España 2018*. Recuperado de https://www.mapa.gob.es/images/es/20190807_informedeconsumo2018pdf_tcm30512256.pdf
- [25] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2024). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2022. Resumen*. Recuperado de <https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/Documento-resumen-Inventario-GEI-2024.pdf>
- [26] Mordor Intelligence. (2023). *Global glass bottles and containers market - industry analysis and forecast (2024-2029)*. Recuperado de <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/global-glass-bottles-containers-market-industry>
- [27] PALPA. (2023). *Información sobre el sistema de depósito y devolución en Finlandia*. Recuperado de <https://www.palpa.fi/>
- [28] Redacción de Cinco Días. (2021, abril 22). *La alimentación busca el envase del futuro: sostenible, seguro y con menos emisiones de CO₂*. *Cinco Días*. Recuperado de https://cincodias.elpais.com/cincodias/2021/04/22/extras/1619077232_459823.html
- [29] Reloop Platform. (2023). *Global Deposit Book 2023*. Recuperado de https://www.reloopplatform.org/wp-content/uploads/2023/05/RELOOP_Global_Deposit_Book_11I202.pdf

- [30] Reloop Platform. (2024). *Global Deposit Book 2024*. Recuperado de <https://www.reloopplatform.org/wp-content/uploads/2024/12/Reloop-Global-Deposit-Book-2024.pdf>
- [31] Retorna. (s.f.). *Experiencias internacionales del SDDR*. Recuperado de <https://www.retorna.org/en/elsddr/experiencias.html>
- [32] Retorna. (s.f.) *Propuesta del Sistema de Depósito, Devolución y Retorno (SDDR)*. Recuperado de: <https://www.retorna.org/es/elsddr/propuesta.html>
- [33] Returpack. (2023). *Información oficial sobre el sistema de depósito y devolución en Suecia*. Recuperado de <https://www.pantamera.nu/>
- [34] Sensoneo. (s.f.). *Sistemas de devolución de depósitos en Europa*. Recuperado de <https://sensoneo.com/es/sistemas-devolucion-depositos/>
- [35] Tragsatec. (2021). *Estudio de viabilidad de la implantación de un Sistema de Depósito, Devolución y Retorno (SDDR) en España*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Recuperado de https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/images/es/210928_espana_sddr_ttecent_miterd_resumenejecutivo_tcm30-531127.pdf
- [36] Umweltbundesamt (UBA). (2023). *Reporte sobre la Ordenanza de Envases y el impacto de los envases reutilizables en Alemania*. Recuperado de <https://www.umweltbundesamt.de/>
- [37] Zero Waste Europe. (2021). *Reusables vs. Single-Use Packaging: A Review of Environmental Impact Comparisons*. Recuperado de <https://zerowasteurope.eu/library/reusables-vs-single-use-packaging/>