

**Aplicación del Análisis de Ciclo de Vida a
la gestión de los Residuos de Construcción**

TESIS DOCTORAL

Autora: Nuria Bizcocho Tocón

Directora: Dra. Carmen Llatas Oliver

Universidad de Sevilla
Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Departamento de Construcciones Arquitectónicas I

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer:

A la Dra. Carmen Llatas Oliver, por su inestimable tutela, ayuda y apoyo durante todos estos años.

Al Dr. Ricardo Huete Fuertes y al Dr. Antonio García Martínez, por asesorarme en los inicios de la investigación.

A los alumnos colaboradores del proyecto de investigación “-RCD=+Ecoeficiencia. Reducción de Residuos en el Diseño y Construcción de Viviendas en Andalucía” y a Laura C. Ramírez de Segreto, por la aportación de datos de las obras de estudio.

A la Empresa Municipal de la Vivienda de Sevilla EMVISESA por facilitarme el acceso a la documentación y a las obras de estudio.

Al personal de las empresas constructoras VIAS, Copcisa, Acciona, San José, Sanrocón, Dragados y Cyes, por su cordial atención en las visitas a las obras.

Al personal de las empresas ALCOREC, Cabrera Sur, Montemarta-Cónica, TECMASA, Placo Saint-Gobain, Knauf, Reciclados Plásticos La Red, Hermanos Oliva y SAICA, por su fundamental colaboración.

A mi familia, mis amigos y mis compañeros, porque sin ellos habría sido imposible.

A mis padres.

Ser útil,
ser amado,
ser necesario.
Y si no, ser basura, hijo mío.

BEN CLARK,
Basura

TABLA DE CONTENIDO

Agradecimientos	iii
Tabla de contenido	ix
Lista de figuras	xii
Lista de tablas	xiv
Lista de abreviaturas	xvii
Resumen	xviii
Abstract	xix
Capítulo 1. Objetivos y alcance de la investigación	1
1.1. Interés y oportunidad	3
1.2. Objetivos y alcance de la presente tesis	5
1.3. Hipótesis	6
1.4.1. Hipótesis generales	6
1.4.2. Hipótesis particulares	6
1.4. Metodología	6
1.5. Referencias	9
Capítulo 2. Estado actual del conocimiento	11
2.1. Contexto normativo y estado de la cuestión por países	13
2.1.1. Los RCD y las políticas medioambientales. El caso de Europa	13
2.1.2. Los RCD en el marco normativo español. El caso de Andalucía	14
2.1.3. Situación internacional de los RCD	15
2.1.4. La situación en los distintos países de la UE	16
2.1.5. Pronóstico del sector de la construcción en España	17
2.2. La Gestión de los Residuos de Construcción y Demolición	18
2.2.1. Definición, principios y fases	18
2.2.2. Caracterización y gestión de los RCD que se generan en obras de nueva planta	21
2.3. La evaluación ambiental de la gestión de los RCD. El I Análisis de Ciclo de Vida	25
2.3.1. Estudios sobre la Gestión de los RCD	25
2.3.2. El Análisis de Ciclo de Vida y la evaluación ambiental de la gestión de RCD	27
2.4. Referencias	35
Capítulo 3. La gestión de los RCD en obras. Descripción del caso de estudio	41
3.1. Descripción y análisis de las obras seleccionadas	43
3.2. Cuantificación y composición de los RCD generados en las obras	45
3.3. Gestión de los RCD en las obras de estudio	47
3.3.1. Gestión en obra: separación en fracciones, acopio y transporte	47
3.3.2. Destinos de las fracciones generadas en las obras	48
3.4. Descripción de las Infraestructuras de gestión disponibles en la zona	50
3.4.1. Plantas de transferencia de RCD	51
3.4.2. Plantas de tratamiento de RCD	51
3.4.3. Vertederos de residuos inertes	51
3.4.4. Vertederos de residuos no peligrosos	52
3.4.5. Plantas de recuperación y reciclaje de RCD no peligrosos	52
3.5. Referencias	55

Capítulo 4. Evaluación de la gestión de los RCD mediante ACV: aplicación de la metodología tradicional	57
4.1. Definición de objetivos y alcance del estudio	59
4.1.1. Objetivo	59
4.1.2. Alcance del estudio	59
4.1.3. Unidad funcional	60
4.1.4. Límites del sistema	60
4.1.5. Procedimiento de asignación de cargas	60
4.1.6. Categorías de impacto y métodos de EICV	61
4.1.7. Requerimientos de datos	61
4.1.8. Hipótesis	61
4.2. Inventario de Ciclo de Vida	61
4.2.1. Procesos de Acopio	64
4.2.2. Procesos de Transporte	65
4.2.3. Procesos de Gestión final	66
4.2.4. Inventario de Ciclo de Vida por tipo de RCD y escenario analizado	69
4.2.5. Calidad de los datos empleados	71
4.3. Evaluación de impactos del ciclo de vida y resultados	71
4.3.1. Impactos de la gestión de 1 tonelada de cada fracción	71
4.4. Discusión de resultados	98
4.4.1. Interpretación de los resultados obtenidos según etapas de la gestión	98
4.4.2. Interpretación de los resultados obtenidos para cada fracción según los indicadores GWP y CED	100
4.4.3. Limitaciones y carencias	102
4.4.4. Aplicación de los resultados	102
4.4.5. Comparación de los resultados obtenidos con los de otros estudios	103
4.5. Referencias	105
Capítulo 5. Evaluación de escenarios de prevención de RCD mediante ACV: propuesta y aplicación de metodología	107
5.1. Las actividades de prevención de los RCD y la metodología ACV	109
5.1.1. Consideraciones previas	109
5.1.2. Metodología propuesta	111
5.2. Definición de objetivos y alcance del estudio	115
5.2.1. Opción 1	114
5.2.2. Opción 2	114
5.2.3. Procedimiento de asignación de cargas	115
5.2.4. Categorías de impacto y metodología de evaluación de impacto	115
5.2.5. Requerimientos de datos	115
5.2.6. Hipótesis	115
5.3. Elaboración del Inventario de Ciclo de Vida	115
5.3.1. Procesos que intervienen en cada fase	115
5.3.2. Inventario de Ciclo de Vida por tipo de RCD y escenario analizado	116
5.3.3. Calidad de los datos empleados	116
5.4. Evaluación de impactos del ciclo de vida y resultados	117
5.4.1. Impactos de la gestión de 1 tonelada de cada fracción	117
5.5. Discusión de resultados	131
5.5.1. Interpretación de los resultados obtenidos según las dos opciones metodológicas	131
5.5.2. Interpretación de los resultados obtenidos según cada fase del ciclo de vida	132
5.5.3. Interpretación de los resultados obtenidos para cada fracción según los indicadores GWP y CED	133
5.5.4. Limitaciones y carencias de este estudio	137
5.5.5. Aplicación de los resultados	137
5.5.6. Comparación de los resultados obtenidos con los de otros estudios	138
5.6. Referencias	139

Capítulo 6. Procedimiento simplificado de cálculo para evaluar la gestión de los RCD en obras: propuesta y aplicación	141
6.1. Procedimiento simplificado de cálculo para evaluar la gestión de los RCD en obras	143
6.1.1. Consideraciones previas	143
6.1.2. Metodología del procedimiento simplificado	144
6.1.3. Herramienta de cálculo basada en el procedimiento simplificado	146
6.2. Aplicación de la herramienta de cálculo a las obras de estudio	149
6.3. Resultados obtenidos para cada obra de estudio	149
6.3.1. Resultados obtenidos para cada obra según la Opción 1	150
6.3.2. Resultados obtenidos para cada obra según la Opción 2	159
6.4. Discusión de resultados	168
6.4.1. Interpretación de los resultados según las dos opciones metodológicas	168
6.4.2. Limitaciones del procedimiento	173
6.4.3. Aplicación de los resultados	174
6.4.3. Comparaciones con otros estudios	175
6.5. Referencias	177
Capítulo 7. Conclusiones	179
7.1. . Conclusiones	181
7.1.1. Conclusiones generales	181
7.1.2. Conclusiones específicas	182
7.3. Futuras líneas de investigación	186
7.4. Referencias	188
Bibliografía	189
Glosario	197
Anexos	205
Anexo I	207
Anexo II	209
Anexo III	211
Anexo IV	213

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1.	Esquema de la metodología utilizada en la investigación	8
Figura 2.1.	Distribución de los RCD generados en Europa en 2010	16
Figura 2.2.	Distribución de los RCD generados en España en 2008	16
Figura 2.3.	Porcentaje reciclado de los RCD según países de la UE	16
Figura 2.4.	Composición de los RCD según países de la UE	16
Figura 2.5.	Evolución de los distintos subsectores en el mercado europeo	17
Figura 2.6.	Evolución de los distintos subsectores en el mercado español	17
Figura 2.7.	Edificios según tipo de obra. España, 2007-2011	17
Figura 2.8.	Ed. de nueva planta según uso. España, 2007-2011	17
Figura 2.9.	Cantidad anual de RCD generados en España, 2001-2010	17
Figura 2.10.	Esquema de la gestión de RCD según las etapas del proyecto y la jerarquía de gestión	19
Figura 2.11.	Flujos de los RCD una vez generados, según su naturaleza	19
Figura 2.12.	Flujo administrativo según agentes involucrados en la gestión de RCD	19
Figura 2.13.	Composición de los RCD en España	22
Figura 2.14.	Espectro que abarcan los diversos estudios sobre RCD	26
Figura 2.15.	Porcentaje de estudios según los aspectos de la sostenibilidad evaluados	27
Figura 2.16.	Relación entre las fases de un estudio de ACV	28
Figura 2.17.	Diferencias entre ACV de productos y ACV de gestión de residuos	28
Figura 2.18.	Fases en el ciclo de vida de un edificio	28
Figura 3.1.	Situación de las obras de estudio	43
Fig.3.2-3.9.	Obras seleccionadas como casos de estudio	44
Figura 3.10.	Recogida de los RCD mediante cubilotes	47
Figura 3.11.	Acopio de RCD peligrosos en recipientes especiales	47
Figura 3.12.	Acopio de RCD no peligrosos en cubas	47
Figura 3.13.	Acopio de RCD no peligrosos en montones	47
Figura 3.14.	Fracción de hormigón en las obras de estudio	49
Figura 3.15.	Fracción madera en las obras de estudio	49
Figura 3.16.	Fracción metales en las obras de estudio	49
Figura 3.17.	Fracción de yeso en las obras de estudio	49
Figura 3.18.	Fracción mezcla de plásticos y papel y cartón en las obras de estudio	49
Figura 3.19.	Infraestructuras de gestión disponibles en el área geográfica de estudio	50
Figs.3.20-3.22.	Instalaciones de la planta de ALCOREC de San José de la Rinconada	51
Figura 3.23.	Impermeabilización y sellado del vaso de vertido	51
Figs.3.24 y 3.25.	Planta de trituración de madera TECMASA	53
Figs.3.26-3.28.	Recuperación de metales en Hermanos Oliva	53
Figs.4.1-4.4.	Límites del sistema de los escenarios E, R y C	60
Figs.4.5-4.16.	Procesos que intervienen en los escenarios E, R y C por fracciones de gestión similar	63
Figura 4.17.	Procesos que intervienen en el escenario C de RCD mezclados (mixto)	64
Figs.4.18-4.21.	Impactos de los escenarios E, R y C(R) de 1 tonelada de RCD de Hormigón	73
Figs.4.22-4.25.	Impactos de los escenarios E, R y C(R) de 1 tonelada de RCD Cerámicos	75
Figs.4.26-4.29.	Impactos de los escenarios E, R y C(R) de 1 tonelada de RCD mezclados de hormigón y cerámicos	77
Figs.4.30-4.33.	Impactos de los escenarios E, R y C(R) de 1 tonelada de RCD de madera	79
Figs.4.34-4.36.	Impactos de los escenarios E y C(E) de 1 tonelada de RCD plásticos	81
Figs.4.37-4.40.	Impactos de los escenarios E, R y C(R) de 1 tonelada de RCD de cobre	83
Figs.4.41-4.44.	Impactos de los escenarios E, R y C(R) de 1 tonelada de RCD de aluminio	85
Figs.4.45-4.48.	Impactos de los escenarios E, R y C(R) de 1 tonelada de RCD de acero	87

Figs.4.49-4.52.	Impactos de los escenarios E, R y C(E) de 1 tonelada de RCD materiales a partir de yeso	89
Figs.4.53-4.56.	Impactos de los escenarios E, R y C(R) de 1 tonelada de Envases de papel y cartón	91
Figs.4.54-4.57.	Impactos de los escenarios E, R y C(E) de 1 tonelada de Envases plásticos	93
Figs.4.58-4.60.	Impactos de los escenarios E y C(E) de 1 tonelada de RCD mezclados (rechazos)	95
Figura 4.61.	Impactos del escenario C de 1 tonelada de RCD mezclados (RCD mixto)	97
Figura 4.62.	Porcentajes de impactos de los distintos escenarios según GWP y CED	100
Figs.4.63 y 4.64.	Comparación entre los resultados obtenidos en el escenario de reciclaje en este estudio y los de otros estudios, para el indicador GWP	104
Figs.4.65 y 4.66.	Comparación entre los resultados obtenidos en el escenario de reciclaje en este estudio y los de otros estudios, para el indicador CED	104
Figura 5.1.	Esquema de metodología propuesta	111
Figura 5.2-5.4.	Límites del sistema según escenarios y opción metodológica	112
Figs.5.5 y 5.6.	Impactos de la gestión de 1 t de RCD de hormigón según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	118
Figs.5.7 y 5.8.	Impactos de la gestión de 1 t de RCD cerámicos según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	119
Figs.5.9 y 5.10.	Impactos de la gestión de 1 t de RCD mezclados de hormigón y cerámicos según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	120
Figs.5.11 y 5.12.	Impactos de la gestión de 1 t de RCD de madera según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	121
Figs.5.13 y 5.14.	Impactos de la gestión de 1 t de RCD plásticos según escenarios E, C(E) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	122
Figs.5.15 y 5.16.	Impactos de la gestión de 1 t de RCD de cobre según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	123
Figs.5.17 y 5.18.	Impactos de la gestión de 1 t de RCD de aluminio según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	124
Figs.5.19 y 5.20.	Impactos de la gestión de 1 t de RCD de acero según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	125
Figs.5.21 y 5.22.	Impactos de la gestión de 1 t de RCD de yeso según escenarios E, R, C(E) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	126
Figs.5.23 y 5.24.	Impactos de la gestión de 1 t de Envases de papel y cartón según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	127
Figs.5.25 y 5.26.	Impactos de la gestión de 1 t de Envases de plástico según escenarios E, R, C(E) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	128
Figs.5.27 y 5.28.	Impactos de la gestión de 1 t de RCD mezclados (rechazos) según los escenarios E, C(E) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	129
Figs.5.29 y 5.30.	Impactos de la gestión de 1 t de RCD mixto según escenarios C y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	130
Figs.5.31 y 5.32.	Comparación entre los resultados obtenidos para todos los tipos de RCD según las opciones metodológicas 1 y 2, para los indicadores GWP y CED	134
Figuras 5.33.	Comparación entre los resultados de este estudio según la opción 2 y los resultados de la herramienta WARM para GWP	138
Figs. 6.1-6.8.	Resultados para cada obra según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 1	150
Figs.6.9-6.16.	Resultados para cada obra según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 2	159
Figs.6.17-6.20.	Valores medios de los impactos por metro cuadrado para cada escenario. Resultados según GWP y CED para las opciones 1 y 2	168
Figura 6.21.	Rangos de contribución a los impactos totales según el indicador GWP de cada uno de los tipos de RCD implicados en las obras, según escenarios E, R, C y P y opciones metodológicas 1 y 2	169
Figura 6.22.	Rangos de contribución a los impactos totales según el indicador CED de cada uno de los tipos de RCD implicados en las obras, según escenarios E, R, C y P y opciones metodológicas 1 y 2	169

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Estimación del grado de afección negativa de la generación y la gestión de RCD sobre medios receptores y otros factores ecológicos	13
Tabla 2.2. Ratios de generación de RCD en peso por tipo de construcción en España y América	21
Tabla 2.3. Ratios de generación de RCD en volumen por tipo de construcción en España	21
Tabla 2.4. Composición de los media de los RCD en España	22
Tabla 2.5. Fases de una obra de nueva planta a las que asocia principalmente la generación de cada fracción de RCD	23
Tabla 2.6. Opciones de gestión que admite cada fracción de RCD	23
Tabla 2.7. Herramientas de evaluación de la sostenibilidad	25
Tabla 2.8. Herramientas utilizadas en la evaluación de edificios	25
Tabla 2.9. Estudios y herramientas que evalúan las opciones de gestión de RCD	26
Tabla 2.10. Documentos ISO relacionadas con el ACV	27
Tabla 2.11. Escenarios de demolición y de gestión de RCD contemplados en los estudios seleccionados	30
Tabla 2.12. Unidad funcional utilizada en los estudios seleccionados	30
Tabla 2.13. Fases contempladas en los estudios seleccionados	30
Tabla 2.14. Tipo de composición y fracciones evaluadas en los estudios seleccionados	30
Tabla 2.15. Naturaleza de las fuentes de datos utilizadas en los estudios seleccionados	30
Tabla 2.16. Métodos de EICV utilizados por los estudios seleccionados	30
Tabla 2.17. Categorías de impacto del método CML 2 Baseline 2000	30
Tabla 3.1. Comparación de las características de las obras seleccionadas con las del edificio residencial tipo en Sevilla 2011	45
Tabla 3.2. Cuantificación a partir de datos de las empresas constructoras	45
Tabla 3.3. Cantidades obtenidas aplicando la herramienta ECO-ARQ, 2013	46
Tabla 3.4. Documentación de obra y gestión llevada a cabo en obra	47
Tabla 3.5. Fracciones separadas en las obras y destinos	48
Tabla 4.1. Características de los escenarios analizados	59
Tabla 4.2. Escenarios analizados por fracción de RCD	59
Tabla 4.3. Categorías de impacto y métodos EICV utilizados	61
Tabla 4.4. Contenedores utilizados para el acopio en obra	64
Tabla 4.5. Parámetros para contenedor de acero de 8 m ³	64
Tabla 4.6. Cantidad de acero requerido para el acopio de 1 t de cada fracción de RCD en cubas de 8 m ³	65
Tabla 4.7. Datos del camión utilizado para transportar los RCD desde la obra a los gestores	65
Tabla 4.8. Distancias y factores de corrección μ que intervienen en los procesos de transporte de cada escenario	66
Tabla 4.9. Datos de algunas de las empresas implicadas en la gestión. Consumos por tonelada de RCD	67
Tabla 4.10. Mix eléctrico español 2012	67
Tabla 4.11. Inventarios para las plantas de tratamiento de RCD según bibliografía	67
Tabla 4.12. Índices de sustitución considerados para cada residuo. Productos secundarios obtenidos del reciclaje y productos primarios remplazados	69
Tabla 4.13. Inventarios de los escenarios E para cada fracción de RCD	69
Tabla 4.14. Inventarios de los escenarios R para cada fracción de RCD	70
Tabla 4.15. Inventarios de los escenarios C para cada fracción de RCD	70
Tabla 4.16. Calidad de los datos empleados en los ICV de cada escenario	71
Tabla 4.17. Impactos de la gestión de 1 tonelada de RCD de hormigón: escenarios R, E y C(R)	72
Tabla 4.18. Impactos de la gestión de 1 tonelada de RCD cerámicos: escenarios R, E y C(R)	74
Tabla 4.19. Impactos de la gestión de 1 tonelada de RCD mezclados de hormigón y cerámicos: escenarios R, E y C(R)	76
Tabla 4.20. Impactos de la gestión de 1 tonelada de RCD de madera: escenarios E, R y C(R)	78

Tabla 4.21. Impactos de la gestión de 1 tonelada de RCD plásticos: escenarios E y C(E)	80
Tabla 4.22. Impactos de la gestión de 1 tonelada de RCD de cobre: escenarios E, R y C(R)	82
Tabla 4.23. Impactos de la gestión de 1 tonelada de RCD de aluminio: escenarios E, R y C(R)	84
Tabla 4.24. Impactos de la gestión de 1 tonelada de RCD de acero: escenarios E, R y C(R)	86
Tabla 4.25. Impactos de la gestión de 1 tonelada de RCD materiales a partir de yeso: escenarios E, R y C(E)	88
Tabla 4.26. Impactos de la gestión de 1 tonelada de Envases de papel y cartón: escenarios E, R y C(R)	90
Tabla 4.27. Impactos de la gestión de 1 tonelada de Envases plásticos: escenarios E, R y C(E)	92
Tabla 4.28. Impactos de la gestión de 1 tonelada de RCD rechazos: escenario E y C(E)	94
Tabla 4.29. Impactos de la gestión de 1 tonelada de RCD mezclados (RCD mixto): escenario C	96
Tabla 4.30. Casos en los que el acopio contribuye más del 10% al total de los impactos	99
Tabla 4.31. Casos en los que el transporte contribuye más del 10% al total de los impactos	99
Tabla 4.32. Casos en los que la clasificación contribuye más del 10% al total de los impactos	99
Tabla 4.33. Índices de Reciclabilidad I_R e $I(\%)_R$	103
Tabla 5.1. Principales procedimientos alternativos aplicados, así como el porcentaje de volumen de residuos minimizado con respecto al volumen de residuos generado por el procedimiento original	111
Tabla 5.2. Ecuaciones del procedimiento general para las Opciones 1 y 2	113
Tabla 5.3. Ecuaciones de la metodología simplificada para el análisis de 1 tonelada, Opciones 1 y 2	113
Tabla 5.4. Características de los escenarios	114
Tabla 5.5. Escenarios analizados por fracción de RCD	114
Tabla 5.6. Distancias desde el punto de fabricación al lugar de suministro	116
Tabla 5.7. Consumo energético en obras y cantidades de materiales que intervienen	116
Tabla 5.8. Inventarios de la fase pre-RCD para cada fracción de RCD	117
Tabla 5.9. Calidad de los datos empleados en los ICV de los procesos pre-RCD	117
Tabla 5.10. Impactos de la gestión de 1 t de RCD de hormigón según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	118
Tabla 5.11. Impactos de la gestión de 1 t de RCD cerámicos según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	119
Tabla 5.12. Impactos de la gestión de 1 t de RCD mezclados de hormigón y cerámicos según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	120
Tabla 5.13. Impactos de la gestión de 1 t de RCD de madera según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	121
Tabla 5.14. Impactos de la gestión de 1 t de RCD plásticos según escenarios E, C(E) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	122
Tabla 5.15. Impactos de la gestión de 1 t de RCD de cobre según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	123
Tabla 5.16. Impactos de la gestión de 1 t de RCD de aluminio según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	124
Tabla 5.17. Impactos de la gestión de 1 t de RCD de acero según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	125
Tabla 5.18. Impactos de la gestión de 1 t de RCD de yeso según escenarios E, R, C(E) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	126
Tabla 5.19. Impactos de la gestión de 1 t de Envases de papel y cartón según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas	127
Tabla 5.20. Impactos de la gestión de 1 t de Envases de plástico según escenarios E, R, C(E) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	128
Tabla 5.21. Impactos de la gestión de 1 t de RCD mezclados (rechazos) según los escenarios E, C(E) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	129

Tabla 5.22. Impactos de la gestión de 1 t de RCD mixto según escenarios C y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2	130
Tabla 5.23. Contribuciones de cada fracción a los resultados totales de los escenarios C y P del RCD mixto, según las dos opciones metodológicas	130
Tabla 5.24. Índices de Prevención IP e I(%P)	137
Tabla 6.1. Características de los escenarios analizados	147
Tabla 6.2. Factores de Impacto para los indicadores GWP y CED, a partir de los resultados obtenidos en el apdo. 5.4 según la Opción 1	148
Tabla 6.3. Factores de Impacto para los indicadores GWP y CED, a partir de los resultados obtenidos en el apdo. 5.4 según la Opción 2	148
Tabla 6.4. Obra 1: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 1	151
Tabla 6.5. Obra 2: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 1	152
Tabla 6.6. Obra 3: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 1	153
Tabla 6.7. Obra 4: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 1	154
Tabla 6.8. Obra 5: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 1	155
Tabla 6.9. Obra 6: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 1	156
Tabla 6.10. Obra 7: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 1	157
Tabla 6.11. Obra 8: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 1	158
Tabla 6.12. Obra 1: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 2	160
Tabla 6.13. Obra 2: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 2	161
Tabla 6.14. Obra 3: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 2	162
Tabla 6.15. Obra 4: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 2	163
Tabla 6.16. Obra 5: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 2	164
Tabla 6.17. Obra 6: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 2	165
Tabla 6.18. Obra 7: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 2	166
Tabla 6.19. Obra 8: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 2	167
Tabla 6.20. Grado de favorabilidad de cada escenario para los indicadores GWP y CED, según ambas opciones metodológicas	168
Tabla 6.21. Composición media de los RCD generados en cada obra	168
Tabla 6.22. Ahorros de cada escenario respecto al escenario más desfavorable, según valores medios	168
Tabla 6.23. Caracterización de la gestión de RCD de las obras de estudio	175
Tabla 6.24. Parámetros de caracterización de la gestión de RCD obtenidos según este estudio (para la opción metodológica 2) y según Ortiz et al.,2010	175

LISTA DE ABREVIATURAS

ACV_ Análisis de Ciclo de Vida
AP_Acidification Potential
BREEAM_ BRE Environmental Assessment Method
CED_Cumulative Energy Demand
CDW_Construction and Demolition Waste
EICV_Evaluación de Inventario de Ciclo de Vida
EMVISESA_Empresa Municipal de la Vivienda de Sevilla
EP_Eutrophication Potential
DoWTB_Designing out Waste Tool for Buildings
GRCD_Gestión de Residuos de Construcción y Demolición
GWP_Global Warming Potential
HTP_Human Toxicity Potential
ICV_Inventario de Ciclo de Vida
ILCD_International Reference Life Cycle Data System
ISO_International Organization for Standardization
LCA_Life Cycle Assessment
LEED_Leadership in Energy and Environmental Design
LER_Lista Europea de Residuos
NW-Tool_Net Waste Tool
ODP_Ozone Depletion Potential
ONU_Organización de Naciones Unidas
PNIR_Plan Nacional Integrado de Residuos
POP_Photochemical Ozone Creation Potential
RCD_Residuos de Construcción y Demolición
RD_Real Decreto
SETAC_Society of Environmental Toxicology and Chemistry
UE_Unión Europea
UNEP_United Nations Environment Program
WARM_Waste Reduction Model

RESUMEN

Los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) constituyen uno de los principales problemas ambientales asociados al sector de la construcción y son considerados un flujo prioritario de residuos. Recientemente, la Directiva Marco de Residuos de la Unión Europea ha introducido el concepto de ciclo de vida en las políticas de residuos. El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una metodología bien establecida para evaluar los impactos ambientales potenciales de un sistema. La aplicación del ACV a la gestión de los residuos sólidos urbanos es una práctica muy extendida, sin embargo, otros flujos de residuos apenas han sido investigados, como es el caso de los RCD.

El objetivo principal de este estudio es indagar en las posibilidades de aplicación del ACV al sistema de gestión de los RCD. Para ello se han llevado a cabo los siguientes pasos:

(1) Revisión bibliográfica. A pesar de ser la opción prioritaria según el principio de jerarquía de residuos, ninguno de los estudios analizados incluye actividades de prevención en los escenarios de gestión.

(2) Aplicación de la metodología tradicional de ACV de gestión de RCD a un caso de estudio, evaluándose la gestión de cada fracción de RCD generada en obra. Una limitación de esta metodología es que no permite considerar escenarios de prevención, debido a cuestiones como la unidad funcional y los límites del sistema.

(3) Propuesta de dos opciones metodológicas, en el marco del ACV, que permitan considerar escenarios de prevención. Ambas opciones se aplican a un caso de estudio, evaluándose la gestión de cada fracción de RCD generada en obra.

(4) Propuesta de un procedimiento simplificado de cálculo basado en ACV para evaluar la gestión de los RCD generados en obras. Este procedimiento se sistematiza en una herramienta basada en hojas de cálculo, que se aplica a un caso de estudio, evaluándose la gestión de los RCD totales generados en las obras.

Esta investigación logra introducir el empleo del ACV en la evaluación de escenarios de prevención mediante las dos opciones metodológicas propuestas. De su aplicación a un caso de estudio se concluye que para cada fracción de RCD, la prevención es en general la opción de gestión más favorable. Además, los técnicos proyectistas deberían considerar los impactos de la gestión de los RCD en el diseño de sistemas constructivos con medidas de prevención, y no solo las cantidades de RCD que se generan. La herramienta simplificada facilita esta labor, probándose de su aplicación a las obras de estudio que la prevención es la opción de gestión óptima.

ABSTRACT

Construction and Demolition Waste (CDW) is currently one of the main environmental problems associated with the construction industry, and a priority waste stream. Recently, the European Union Waste Framework Directive has introduced the concept of life-cycle into waste management policies. Life Cycle Assessment (LCA) is a well-established methodology for assessing the potential environmental impacts of a system. The application of LCA to municipal solid waste management system is a widespread practice; however, for other waste streams, such as CDW, research is still just beginning.

The aim of this study is to investigate the possibilities of the LCA to assess the environmental impact of CDW management systems. This study accomplishes this goal through the following steps:

(1) Literature review. Despite of being a top priority in the waste management hierarchy, no reported study includes prevention activities in the management scenarios analyzed.

(2) Application of traditional waste management LCA to a case study, assessing the management of each fraction of CDW generated in construction works. This approach does not allow assessing prevention scenarios, due to methodological aspects such as the functional unit and the system boundaries.

(3) Proposal of two LCA methodologies, which allow assessing prevention scenarios. The two methodologies are applied to a case study, assessing the management of each fraction of CDW generated in construction works.

(4) Proposal of a simplified calculation procedure based on LCA to assess the CDW management. This procedure is systematized in a spreadsheet-based tool, which is applied to a case study, assessing the management of the total amount of CDW generated in the construction works.

This research succeeds in introducing LCA to assess prevention scenarios through the two proposed methodologies. The assessment of a case study proves that for each fraction of CDW, prevention is the preferred option. Furthermore, architects should consider the impacts of the CDW management in the design of building systems adopting prevention measures, and not just on the basis of the quantity of CDW generated. The simplified calculation tool facilitates the application of LCA to construction works and in the cases studied demonstrates that prevention is the best management option.

CAPÍTULO 1. Introducción

Este capítulo es el punto de partida de la presente tesis y consta de los siguientes puntos:

- **Interés y oportunidad.** Los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), flujo prioritario de residuos, son uno de los problemas ambientales asociados al sector de la construcción. Recientemente, la Directiva Marco de Residuos de la Unión Europea ha introducido el concepto de ciclo de vida en las políticas de residuos; siendo el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) una metodología bien establecida para evaluar los impactos ambientales potenciales de un sistema, recogida en las normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006. Algunos flujos de residuos han sido muy estudiados mediante el ACV, como los residuos sólidos urbanos, pero otros apenas han sido investigados, como los RCD. Por tanto, este estudio indaga en las posibilidades de aplicación de la metodología ACV al sistema de gestión de los Residuos de Construcción. Para ello, se aplicará la metodología de ACV tradicionalmente utilizada para evaluar la gestión de los RCD; se propondrá una metodología que, en el marco del ACV, permita incorporar actividades de prevención a los escenarios de gestión a evaluar; y, finalmente, se desarrollará una herramienta simplificada para evaluar la gestión de los RCD generados en obras.

- **Objetivos y alcance.** El objetivo general es indagar en las posibilidades de aplicación de la metodología de ACV en el sistema de gestión de los RCD con el fin de reducir los impactos adversos en el medioambiente derivados de su gestión. Los objetivos específicos son: (1) Evaluar escenarios alternativos de gestión de los RCD generados en obras, aplicando las cuestiones metodológicas tradicionalmente utilizadas en los ACV de gestión de residuos, según la literatura revisada; (2) Proponer y elaborar una metodología, en el marco del ACV, que permita evaluar escenarios de gestión que consideren actividades de prevención de los RCD; (3) Elaborar una herramienta simplificada basada en ACV para evaluar escenarios alternativos de gestión de los RCD en obras. En cuanto a los límites y ámbito de aplicación, la investigación se centrará en el estudio de los RCD generados en obras de nueva planta; según las opciones de gestión de prevención, reciclado y eliminación; siguiendo las indicaciones de las normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006; enfocando el estudio en las categorías de Cambio Climático y Demanda

de Energía Acumulada; y aportando un caso de estudio para corroborar la validez del método.

- **Hipótesis.** Se establecen las hipótesis de partida, que se verificarán mediante los resultados de la investigación.

- **Metodología.** Se ha realizado de acuerdo a las siguientes fases:

A. Punto de partida. (Capítulo 1: Introducción).

B. Identificación del problema. Para ello, se han analizado tres cuestiones: el contexto internacional, la gestión de RCD y el ACV aplicado a la gestión de los RCD. (Capítulo 2: Estado actual del conocimiento).

C. Propuesta de un modelo que responda al problema detectado.

C1. Análisis de la gestión de los RCD generados en obras de nueva planta: cuantificación de los RCD generados, gestión llevada a cabo, y otras posibilidades de gestión según las infraestructuras disponibles en la zona de estudio. (Capítulo 3: La gestión de los RCD en obras. Descripción del caso de estudio).

C2. Aplicación de la metodología de ACV tradicionalmente utilizada para evaluar escenarios de gestión de los RCD, evaluándose 1 tonelada de cada fracción generada en las obras de estudio. (Capítulo 4: Evaluación de la gestión de los RCD mediante ACV: aplicación de la metodología tradicional).

C3. Propuesta de una metodología, en el marco del ACV, para evaluar escenarios de gestión de los RCD, considerando actividades de prevención. Aplicación a 1 tonelada de cada fracción generada en las obras de estudio. (Capítulo 5: Evaluación de escenarios de prevención de RCD mediante ACV: propuesta y aplicación de metodología).

C4. Propuesta de un procedimiento simplificado de cálculo de los impactos de la gestión de los RCD en obras basado en ACV. Aplicación a los casos de estudio. (Capítulo 6: Procedimiento simplificado de cálculo para evaluar la gestión de los RCD en obras: propuesta y aplicación).

D. Conclusiones. Por último, se han desarrollado las conclusiones y futuras líneas de investigación. (Capítulo 7: Conclusiones).

Capítulo 1. Introducción

1.1. Interés y oportunidad	3
1.2. Objetivos y alcance de la presente tesis	5
1.3. Hipótesis	6
1.4.1. Hipótesis generales	6
1.4.2. Hipótesis particulares	6
1.4. Metodología	6
1.5. Referencias	9

1.1. INTERÉS Y OPORTUNIDAD

Uno de los principales problemas ambientales asociados al sector de la construcción son los residuos de construcción y demolición (RCD), considerados uno de los flujos prioritarios de residuos. De acuerdo con el Real Decreto 105/2008 se definen los RCD como “cualquier sustancia u objeto que, cumpliendo la definición de ‘Residuo’ incluida en el artículo 3.a) de la Ley 10/1998, de 21 de abril⁽¹⁾, se genere en una obra de construcción o demolición”. Su generación y gestión produce múltiples impactos ambientales: emisiones a la atmósfera, vertidos a las aguas, impactos en el suelo, impactos en los recursos naturales, deterioro paisajístico, etc. [1]. Los problemas se derivan del gran volumen que se genera y de la insuficiente aplicación de tratamientos necesarios para paliar sus efectos negativos, es decir, de la escasa prevención de los RCD en origen y valorización de los RCD generados [2].

En la Unión Europea (UE), la construcción es la actividad que más residuos produce: de las 2500 millones de toneladas de residuos generadas en 2010, 820 millones fueron RCD, a las que España contribuyó con 37 millones [5]. La Directiva Marco de Residuos establece la jerarquía de residuos, por la que el orden de prioridad de gestión es: la prevención, la preparación para la reutilización, el reciclaje, otras formas de valorización y la eliminación [7]. Sin embargo, las diferencias de gestión de los RCD entre los países miembros de la UE son notables, variando las tasas de reciclaje desde casi el 100% de Holanda o Dinamarca, hasta menos del 10% de países como España [6]. Esta situación debe cambiar de forma inminente, pues la Directiva Marco de Residuos, acorde con el objetivo de lograr una sociedad europea del reciclado con un alto nivel de eficiencia de los recursos, dispone respecto a los RCD que:

[...] antes de 2020, deberá aumentarse hasta un mínimo del 70% de su peso la preparación para la reutilización, el reciclado y otra valorización de materiales, incluidas las operaciones de relleno que utilicen residuos como sucedáneos de otros materiales, de los residuos no peligrosos procedentes de la construcción y de las demoliciones, con exclusión de los materiales presentes de modo natural definidos en la categoría 170504 de la lista de residuos (art. 11.2.b de la Directiva Marco de Residuos).

Uno de los cambios recientes en la política de residuos de la UE es la introducción del concepto de ciclo de vida. La Directiva Marco de Residuos, por ejemplo, considera que para conseguir el mejor resultado medioambiental puede ser necesario que determinados flujos de residuos se aparten del principio de jerarquía, debiendo justificarse desde un enfoque de ciclo de vida; y también contempla la necesidad de tener en cuenta el ciclo de vida completo de productos y materiales al desarrollar estrategias de prevención de residuos [7].

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV, LCA en inglés) es una metodología que analiza los aspectos ambientales y los impactos potenciales asociados a lo largo del ciclo de vida de un producto o de una actividad, y que permite sistematizar la adquisición y generación de información para establecer criterios objetivos en la toma de decisiones. Esta metodología aparece en la década de 1960, pero es desde 1990 cuando se incrementa fuertemente su utilización y desarrollo. De acuerdo con la primera definición del ACV, establecida por la Sociedad de Química y Toxicología Medioambiental (SETAC) en 1993, consiste en:

(1) La ley 10/1998, de 21 de abril, de residuos [3] ha sido sustituida por la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. Según la ley 22/2011, se define *Residuo* como “cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención o la obligación de desechar”[4].

Un proceso objetivo para: (1) evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad mediante la identificación y cuantificación del uso de materia y energía así como de las emisiones liberadas al ambiente; (2) analizar los impactos asociados a ese uso de materia, energía y a las correspondientes emisiones; y finalmente para (3) identificar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental. El análisis incluye el ciclo de vida completo del producto, proceso o actividad, abarcando la extracción y procesado de las materias primas; fabricación, transporte y distribución; uso, re-utilización, mantenimiento; reciclaje y disposición final [8].

Actualmente es un estándar internacional recogido en las normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006, que definen el ACV como “la recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema a través de su ciclo de vida”, siendo el ciclo de vida las “etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema del producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final” [9,10].

Aunque inicialmente su aplicación se ha centrado en la evaluación ambiental de productos, posteriormente su uso se ha extendido al campo de la gestión de residuos, “parte específica” del ciclo de vida de un producto [9]. En la última década, la aplicación del ACV a la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) se ha convertido en una práctica extendida, habiéndose desarrollado múltiples modelos para su evaluación [11]; sin embargo, otros flujos de residuos apenas han sido investigados bajo la óptica de la metodología de ACV, como los RCD [12,13].

Por todo lo anterior, este estudio pretende indagar en las posibilidades de aplicación de la metodología ACV al sistema de gestión de los Residuos de Construcción:

(1) En primer lugar, se evaluará mediante la metodología ACV la gestión de los residuos de construcción en obras, aplicando las cuestiones metodológicas tradicionalmente utilizadas en los ACV de gestión de residuos, según la literatura revisada. El objeto es comparar escenarios alternativos de gestión de RCD, evaluando las cargas ambientales asociadas y analizando los impactos resultantes para identificar y proponer estrategias de mejora ambiental, determinando qué opción es la óptima medioambientalmente. Acorde a la metodología tradicional, el sistema comienza en el punto de generación del RCD e incluye recogida, transporte, manipulación, y disposición final o tratamiento, así como recuperación de materiales y energía.

(2) En segundo lugar, y como principal novedad de este estudio, se propondrá una metodología que, en el marco del ACV, permita comparar escenarios de gestión de RCD que consideren actividades de prevención, lo que es una limitación actual de la metodología tradicional utilizada en los ACV de gestión de residuos. Según la Directiva Marco de Residuos, la prevención no debe limitarse a la reducción de las cantidades de residuos, sino también a la de los impactos adversos y la sustancias nocivas [7]. Sin embargo, en el sector de la construcción, la mayoría de los estudios sobre prevención se centran en la reducción de las cantidades de RCD generadas en obra [14] o en proyecto [15], habiéndose indagado poco sobre los beneficios ambientales obtenidos mediante la reducción en origen. En el campo de la gestión de los RSU, esta perspectiva ha empezado a contemplarse recientemente [16-18]. La aplicación de la metodología propuesta permitirá incorporar actividades de prevención en los escenarios de gestión de los RCD a evaluar mediante el ACV.

(3) Finalmente, a partir de la metodología propuesta anteriormente, se desarrollará una herramienta simplificada para evaluar la gestión de los RCD generados en obras. La aplicación de esta herramienta, junto con herramientas de cuantificación de RCD, permitirá facilitar el diseño de edificios o sistemas constructivos con criterios de prevención, atendiendo a la doble perspectiva establecida en la Directiva Marco de Residuos: reducción de cantidades de RCD generados y reducción de impactos adversos.

1.2. OBJETIVOS Y ALCANCE DE LA PRESENTE TESIS

El objetivo general de esta investigación es indagar en las posibilidades de aplicación de la metodología de ACV en el sistema de gestión de los RCD con el fin de reducir los impactos adversos en el medioambiente derivados de su gestión.

Para la consecución del objetivo general se establecen los siguientes objetivos específicos:

(1) Evaluar escenarios alternativos de gestión de los RCD generados en obras, aplicando las cuestiones metodológicas tradicionalmente utilizadas en los ACV de gestión de residuos, a partir de la literatura revisada.

(2) Proponer y elaborar una metodología, en el marco del ACV, que permita evaluar escenarios de gestión que consideren actividades de prevención de los RCD.

(3) Elaborar una herramienta simplificada basada en ACV para evaluar escenarios alternativos de gestión de los RCD en proyectos y obras.

Los límites y el ámbito de aplicación de este estudio se indican a continuación:

a) Este estudio será de aplicación a los residuos de construcción generados en obras de nueva planta. A los efectos de esta investigación se entiende por *residuo de construcción* “cualquier sustancia u objeto que se genere en una obra de construcción y cuyo poseedor deseche o tenga la intención o la obligación de desechar”, cumpliendo la definición de *residuo* de la ley 22/2011, y quedando incluido dentro del término de *residuo de construcción y demolición* definido en el RD 105/2008.

b) A los efectos de este estudio se define *escenario de gestión* como “el conjunto de procesos y actividades que intervienen en la gestión de los RCD, ya sea de una determinada fracción o del conjunto de los RCD generados en una obra”. Las opciones de gestión de los residuos a considerar en los escenarios se incluyen en la Directiva Marco de Residuos y se definen a continuación:

- *Prevención*: medidas adoptadas antes de que una sustancia, material o producto se haya convertido en residuo, para reducir: a) la cantidad de residuo, incluso mediante la reutilización de los productos o el alargamiento de la vida útil de los productos; b) los impactos adversos sobre el medio ambiente y la salud humana de la generación de residuos, o c) el contenido de sustancias nocivas en materiales y productos (art. 3.12 de la Directiva Marco de Residuos).

- *Reciclado*: toda operación de valorización mediante la cual los materiales de residuos son transformados de nuevo en productos, materiales o sustancias, tanto si es con la finalidad original como con cualquier otra finalidad. Incluye la transformación del material orgánico, pero no la valorización energética ni la transformación en materiales que se vayan a usar como combustibles o para operaciones de relleno (art. 3.17 de la Directiva Marco de Residuos).

- *Eliminación*: cualquier operación que no sea la valorización, incluso cuando la operación tenga como consecuencia secundaria el aprovechamiento de sustancias o energía [...] (art. 3.19 de la Directiva Marco de Residuos).

c) La metodología propuesta se basará en la metodología de ACV y seguirá las indicaciones de las normas ISO 14040:2006 [9] e ISO 14044:2006 [10].

d) El caso de estudio corresponde a obras de nueva planta de vivienda colectiva en Andalucía y ejecutadas en el periodo 2009-2013, y se aportará con el objeto de: (1) indagar en las posibilidades del ACV en la gestión de RCD, (2) validar la metodología de ACV propuesta y (3) verificar la utilidad de la herramienta de cálculo simplificada.

1.3. HIPÓTESIS

La presente tesis se basa en las siguientes hipótesis:

1.4.1. Hipótesis generales

HG1. Es posible determinar cualitativa y cuantitativamente los impactos ambientales producidos por la gestión de los RCD y comunicar estos resultados de forma clara y precisa.

HG2. Es posible comparar diversos escenarios de gestión de los RCD, determinando las opciones más favorables ambientalmente.

1.4.2. Hipótesis particulares

Las hipótesis particulares relativas a los cálculos se desarrollan en el apartado de cálculo correspondiente.

1.4. METODOLOGÍA

La metodología propuesta para la consecución de los objetivos se ha realizado de acuerdo a las siguientes fases:

A. Punto de partida. En esta fase se ha definido el tema de estudio y se ha incluido los motivos que han motivado su realización. Se han indicado los objetivos, el ámbito y límites del estudio, se han formulado las hipótesis y se ha aportado la metodología. Esta fase se corresponde con el capítulo 1 "Introducción".

B. Identificación del problema. En esta fase se han analizado tres cuestiones: (1) el contexto internacional, (2) los aspectos más relevantes relacionados con la gestión de los RCD y (3) la metodología de ACV aplicada a la gestión de los RCD. En relación al contexto, se han descrito el marco normativo, la situación de los RCD en los distintos países y el pronóstico de generación de los RCD en España. En cuanto a la gestión de los RCD, se han expuesto los principios rectores, las fases que la componen y la posible gestión por fracciones. Por último, se ha realizado una revisión general de la literatura sobre la gestión de los RCD y una revisión particular de aquellos estudios que aplican el ACV, analizando las cuestiones metodológicas empleadas. Esta fase se corresponde con el capítulo 2 "Estado actual del conocimiento".

C. Propuesta de un modelo que dé respuestas al problema detectado. En esta fase se ha elaborado un modelo basado en la metodología de ACV. Se estructura del siguiente modo:

C1. Análisis de la gestión de los RCD generados en obras de nueva planta. En esta fase se han seleccionado varios casos de estudio y se han analizado: la composición y cantidad de los RCD generados, la gestión llevada a cabo, y otras posibilidades de gestión según las infraestructuras

disponibles en la zona de estudio. Los casos de estudio seleccionados son edificios de viviendas situados en Andalucía. Para cuantificar los RCD generados en las obras se ha aplicado la herramienta ECO-ARQ, 2013 [19], obteniéndose los RCD según la Lista Europea de Residuos (LER). Esta fase se corresponde con el capítulo 3 “La gestión de los RCD en obras. Descripción del caso de estudio”.

C2. Aplicación de la metodología de ACV tradicionalmente utilizada para evaluar escenarios de gestión de los RCD. En esta fase se ha evaluado la gestión de cada fracción de RCD generada en las obras de estudio mediante ACV. Algunos aspectos metodológicos utilizados son: la unidad funcional, definida como la gestión de 1 tonelada de cada fracción generada en las obras; los límites del sistema, definidos aplicando el supuesto de “carga cero”; y la consideración del método de las “cargas evitadas” para evitar el problema de asignación de cargas en los casos de reciclaje. Por último se han discutido los resultados y se ha propuesto un Índice de Reciclaje. Esta fase se corresponde con el capítulo 4 “Evaluación de la gestión de los RCD mediante ACV: aplicación de la metodología tradicional”.

C3. Propuesta y aplicación de una metodología, en el marco del ACV, para evaluar escenarios de gestión de los RCD, considerando actividades de prevención. En esta fase se ha elaborado una metodología que permite incluir actividades de prevención en los escenarios de gestión a evaluar, siguiendo las cuestiones del ACV recogidas en las ISO 14040:2006 y 14044:2006. Dicha metodología ha supuesto redefinir los límites del sistema y la unidad funcional respecto a los utilizados tradicionalmente en los ACV de gestión de RCD. A partir de dicha metodología se han derivado dos opciones metodológicas: *Opción 1* y *Opción 2*. A su vez, se ha planteado la formulación del caso general y de un caso simplificado, aplicable a 1 tonelada de RCD. Posteriormente la metodología se ha aplicado a los casos de estudio para validar el procedimiento. Por último se han discutido los resultados y se ha propuesto un *Índice de Prevención*. Esta fase se corresponde con el capítulo 5 “Evaluación de escenarios de prevención de RCD mediante ACV: propuesta y aplicación de metodología”.

C4. Propuesta y aplicación de un procedimiento simplificado para evaluar la gestión de los RCD en obras basado en ACV. En esta fase se ha llevado a cabo un procedimiento simplificado de cálculo elaborado según la metodología propuesta para evaluar escenarios de gestión de RCD que consideran actividades de prevención. A partir de este procedimiento y de los resultados obtenidos en el punto anterior, se ha elaborado una herramienta de cálculo que se aplica a los casos de estudios para verificar su utilidad. Por último se han discutido los resultados y se han propuesto unos *Parámetros de caracterización de la gestión de los RCD en obras*. Esta fase se corresponde con el capítulo 6 “Procedimiento simplificado de cálculo para evaluar la gestión de los RCD en obras: propuesta y aplicación”.

D. Conclusiones. Por último, a partir de todo lo anterior, se han desarrollado las conclusiones y se han propuesto futuras líneas de investigación. Esta fase se corresponde con el capítulo 7 “Conclusiones”.

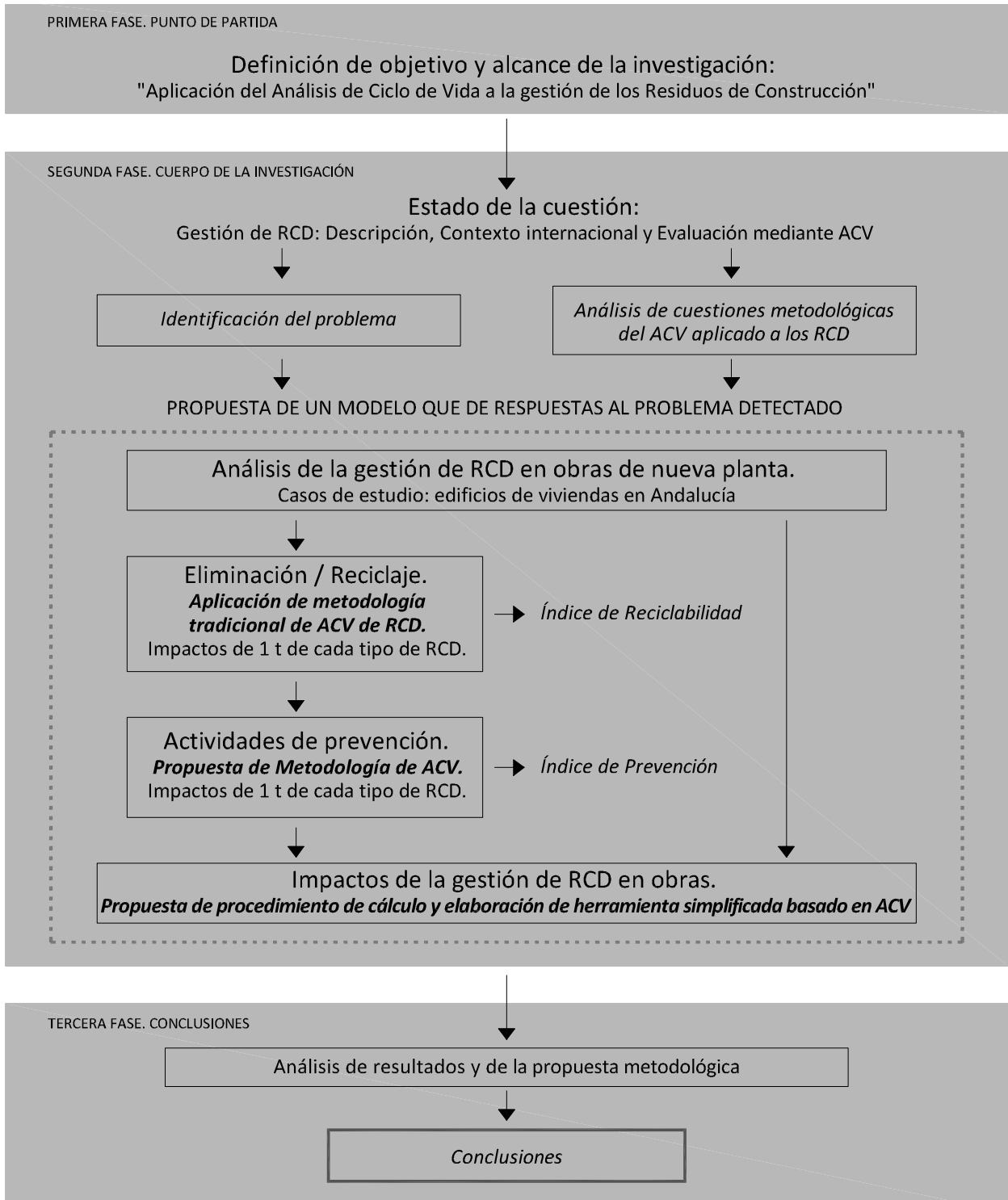


Figura 1.1. Esquema de la metodología utilizada en la investigación

1.5. REFERENCIAS

- [1] Gobierno de España, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Informe de Sostenibilidad Ambiental del Plan Nacional Integrado de Residuos para el período 2008-2015. 2007
- [2] Gobierno de España, Ministerio de la Presidencia. Real Decreto 105/2008, por el que se regula la producción y gestión de los RCD. 2008;BOE 038, 13 febrero 2008.
- [3] Gobierno de España. Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. 1998;BOE 096, 22 abril 1998.
- [4] Gobierno de España. Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. 2011; BOE 181, 29 julio 2011.
- [5] European Commission. Eurostat. Statistics Database. Available at: <<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/>>, 2013.
- [6] Tojo N, Fischer C. Europe as a Recycling Society. European Recycling Policies in relation to the actual recycling achieved. 2011; ETC/SCP working paper 2/2011.
- [7] Parlamento Europeo. Directiva 2008/98/CE de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. 2008;Diario Oficial de la Unión Europea L312, 0003-0030.
- [8] Consoli F., Allen D., Boustead I., Fava J., Franklin W., Jensen A.A, Oude de N., Parrish R., Perriman R., Postlethwaite D., Quay B., Séguin J., Vigon B. (1993). Guidelines for life-cycle assessment: a code of practice. Pensacola, Florida (USA): Society of Environmental Toxicology and Chemistry.
- [9] ISO (International Organization for Standardization). International Standard ISO 14040: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework. Geneva, Switzerland.; 2006.
- [10] ISO (International Organization for Standardization). International Standard ISO 14044: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines. Geneva, Switzerland.; 2006.
- [11] Gentil EC, Damgaard A, Hauschild M, Finnveden G, Eriksson O, Thorneloe S, et al. Models for waste life cycle assessment: Review of technical assumptions. Waste Manage 2010 DEC 2010;30(12):2636-2648.
- [12] Ortiz O, Pasqualino JC, Castells F. Environmental performance of construction waste: Comparing three scenarios from a case study in Catalonia, Spain. Waste Manage 2010 APR;30(4):646-654.
- [13] Mercante IT, Bovea MD, Ibanez-Fores V, Arena AP. Life cycle assessment of construction and demolition waste management systems: a Spanish case study. International Journal of Life Cycle Assessment 2012 FEB;17(2):232-241.
- [14] Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya - ITeC. Manual de minimización y gestión de residuos en las obras de construcción y demolición. 2000.
- [15] Llatas Oliver C. Residuos generados en la construcción de viviendas : propuestas y evaluación de procedimientos y prescripciones para su minimización. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla, Departamento de Construcciones Arquitectónicas I; 2000.
- [16] Nessi S, Rigamonti L, Grosso M. Discussion on methods to include prevention activities in waste management LCA. The International Journal of Life Cycle Assessment 2013 08/01;18(7):1358-1373.
- [17] Gentil EC, Gallo D, Christensen TH. Environmental evaluation of municipal waste prevention. Waste Manage 2011 12;31(12):2371-2379.
- [18] Cleary J. The incorporation of waste prevention activities into life cycle assessments of municipal solid waste management systems: methodological issues. International Journal of Life Cycle Assessment 2010 JUL 2010;15(6):579-589.
- [19] Equipo de Investigación ECO-ARQ. Dpto. Construcciones Arquitectónicas I ETSA de Sevilla. Menos

Residuos de Construcción y Demolición es igual a más Ecoeficiencia. Herramienta de Ayuda a la Reducción de Residuos en el Diseño y Construcción de Viviendas en Andalucía. Junta de Andalucía; Consejería de Fomento y Vivienda. Available at: <<http://www.juntadeandalucia.es/fomentoyvivienda>> . 2012.

CAPÍTULO 2. Estado actual del conocimiento

En este capítulo se analizan tres cuestiones básicas para la presente investigación: el contexto internacional, las características de la gestión de los RCD y el Análisis de Ciclo de Vida aplicado a la gestión de los RCD.

- **Contexto normativo y estado de la cuestión por países.** En Europa, desde los inicios de las actuaciones ambientales, los residuos fueron uno de los temas clave. La primera Directiva Marco sobre Residuos se publica en 1975, pero los RCD no se proclaman flujo de residuos prioritario hasta 1990. Actualmente, el objetivo de la UE para 2050 es lograr una economía competitiva que proporcione un elevado nivel de vida con un impacto ambiental mínimo, estableciéndose objetivos intermedios para 2020. En relación a los RCD, la Directiva Marco de Residuos recoge: antes de 2020, el 70% en peso de los RCD se debe destinar a la reutilización, el reciclado u otras operaciones de valorización. Para cumplirlo, España está tomando medidas como la aprobación del RD 105/2008, que regula la producción y gestión de los RCD. En Andalucía, recientemente se ha aprobado el Reglamento de Residuos. Las figuras anteriores se complementan con el Plan Nacional Integrado de Residuos 2008-2015 y el Plan Director Territorial de Gestión de Residuos No Peligrosos de Andalucía 2010-2019.

En cuanto a la cantidad de RCD generados y las tasas de reciclaje por países, dependen de factores como el volumen de la construcción, la concienciación, la tecnología disponible, la legislación, etc., siendo un problema particularmente grave especialmente en los países en vías de desarrollo. En Europa, Japón y otros países desarrollados, el reciclaje de los RCD es una práctica generalizada, aunque aún existen notables diferencias entre países: en Europa, por ejemplo, las tasas de reciclaje varían desde casi el 100% de Holanda o Dinamarca, hasta menos del 10% de países como España. En la UE-27 en el año 2010 se generaron 820

millones de toneladas, a las que España contribuyó con 37 millones de toneladas, correspondiendo 8 millones a Andalucía. La previsión de generación de RCD en España, se estima en 40 millones de toneladas al año.

- **La Gestión de los Residuos de Construcción y Demolición.** Se definen el concepto de gestión de residuos y los principios adoptados por la estrategia comunitaria, así como la jerarquía de gestión de residuos. También se describen algunos aspectos de la gestión, según sea anterior a la generación del RCD (prevención) o posterior, además del flujo administrativo que interviene (el sistema de fianzas). A continuación, se caracterizan los RCD que se generan en obras de nueva planta y se describe la posible gestión específica de cada fracción.

- **La evaluación ambiental de la gestión de los RCD. El Análisis de Ciclo de Vida.** En la literatura revisada, el 58% de los estudios que evalúan aspectos ambientales aplica el ACV. Esta es una metodología estandarizada internacionalmente según las normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006, y que consta de cuatro fases: definición de objetivo y alcance, análisis de inventario, evaluación de impacto e interpretación de resultados. Desde 1960 se aplica a la evaluación ambiental de productos, extendiéndose después su uso a la gestión de residuos, que se limita a la última fase de un ACV de productos: comienza en el punto de generación del residuo e incluye recogida, transporte y disposición final o tratamiento. Desde 1990, el ACV ha sido muy utilizado para evaluar la gestión de los RSU, siendo menor su aplicación a otros flujos de residuos, como los RCD. Algunos aspectos significativos de dicha metodología aplicada a la gestión de los RCD, como, por ejemplo, la unidad funcional, los límites del sistema, los métodos de evaluación de impacto o las fuentes de datos, se analizan a partir de una selección de estudios de la literatura revisada.

Capítulo 2. Estado actual del conocimiento

2.1. Contexto normativo y estado de la cuestión por países	13
2.1.1. Los RCD y las políticas medioambientales. El caso de Europa	13
2.1.2. Los RCD en el marco normativo español. El caso de Andalucía	14
2.1.2.1. Marco normativo andaluz	15
2.1.3. Situación internacional de los RCD	15
2.1.4. La situación en los distintos países de la UE	16
2.1.5. Pronóstico del sector de la construcción en España	17
2.2. La Gestión de los Residuos de Construcción y Demolición	18
2.2.1. Definición, principios y fases	18
2.2.1.1. La gestión previa a la generación del RCD: la prevención	18
2.2.1.2. La gestión una vez generados los RCD	20
2.2.1.3. El flujo administrativo. El sistema de fianzas	20
2.2.2. Caracterización y gestión de los RCD que se generan en obras de nueva planta	21
2.2.2.1. Fracciones de RCD que se generan en obras de nueva planta	21
2.2.2.2. Gestión por tipo de RCD en obras de nueva planta	23
2.3. La evaluación ambiental de la gestión de los RCD. El Análisis de Ciclo de Vida	25
2.3.1. Estudios sobre la Gestión de los RCD	25
2.3.2. El Análisis de Ciclo de Vida y la evaluación ambiental de la gestión de RCD	27
2.3.2.1. Aplicación de los resultados	29
2.3.2.2. Límites del sistema	29
2.3.2.3. Unidad funcional	29
2.3.2.4. Composición de los RCD	30
2.3.2.5. Inventario del ciclo de vida	30
2.3.2.6. Evaluación de impacto del ciclo de vida	31
2.3.2.7. Resultados	32
2.4. Referencias	35

2.1. CONTEXTO NORMATIVO Y ESTADO DE LA CUESTIÓN POR PAÍSES

2.1.1. Los RCD y las políticas medioambientales. El caso de Europa

La actividad humana origina importantes impactos sobre el medio ambiente y, dado que para 2050 la población mundial superará los 9 millones de habitantes [1], es prioritario dar solución a estos problemas.

El sector de la construcción es uno de los responsables de estos impactos, ya que las edificaciones consumen recursos y generan residuos, olores, ruidos y emisiones [2]. Estos impactos se producen durante todo el ciclo de vida de cada edificio, desde la extracción de las materias primas hasta el fin de vida, pasando por la fabricación de los materiales de construcción, la construcción y el uso del edificio.

Los RCD son uno de los problemas medioambientales asociados al sector de la construcción. Tanto durante su generación como durante su gestión se producen una serie de impactos ambientales: emisiones a la atmósfera, vertidos a las aguas, impactos en el suelo, impactos en los recursos naturales, etc. La Tabla 2.1 muestra una estimación del nivel de los impactos producidos durante la generación y la gestión de los RCD [3].

	Generación	Gestión
Aire	**	**
Agua	*	*
Suelo	**	*/**
Biodiversidad	*	*
Rec. energ. no ren.	**	**
Rec. energ. renov.	*	*
Paisaje	**	*/**
Patrimonio cultural	*	*
Salud	*	**

Escala de gradación de 1 a 3 de menor a mayor incidencia

Tabla 2.1. Estimación del grado de afectación negativa de la generación y la gestión de RCD sobre medios receptores y otros factores ecológicos. Fuente [3].

Hoy día la importancia de estos problemas ambientales es indiscutible, pero la preocupación sobre ellos es relativamente reciente, pudiéndose resaltar una serie de hitos en la construcción de esta toma de conciencia.

A nivel mundial, la primera actuación para enfrentar la problemática ambiental tiene lugar en 1972, con la Conferencia de la ONU sobre el Medio Humano en Estocolmo. Poco antes se publicaba el informe “Los límites del crecimiento” encargado por el Club de Roma, que concluía que “si el actual incremento de la población mundial, la industrialización, la contaminación, la producción de alimentos y la explotación de los recursos naturales se mantiene sin variación, se alcanzarán los límites absolutos de crecimiento en la Tierra durante los próximos cien años” [4].

En 1987 aparece por primera vez el concepto de *desarrollo sostenible*, definido en el informe de la ONU “Nuestro Futuro Común” como “aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones” [5].

Otro hito importante es la Conferencia de la ONU sobre Medio Ambiente y Desarrollo en 1992 en Río de Janeiro. Entre otras actuaciones, se aprueban el Programa 21 y la Declaración de Río de Janeiro sobre Medio Ambiente y Desarrollo, que establece que el desarrollo sostenible debe tener en cuenta, además de los aspectos ambientales, los aspectos económicos y sociales.

En la UE, paralelamente a estas actuaciones se comienza a perfilar la actual política medioambiental. Algunos hitos son la cumbre de París de 1972, donde se abordan por primera vez los asuntos medioambientales y el Tratado de Maastricht de 1992, que introduce el *crecimiento sostenible respetuoso con el medio ambiente* entre las misiones de la UE. En relación con la sostenibilidad en las ciudades, los firmantes de la Carta de Aalborg de 1994 adquieren el compromiso de participar en las iniciativas locales del Programa 21.

Desde los inicios de estas actuaciones ambientales en la UE, los residuos han sido uno de los temas clave, considerándose a la hora de desarrollar políticas, planes y programas. En 1975 se publica la primera Directiva Marco sobre Residuos [6], pero hasta 1990 la Comisión Europea no proclama los RCD como un flujo de residuos prioritario.

En los sucesivos Programas de Acción Medioambiental (PAM) de la UE, la preocupación por los residuos ha estado siempre presente. El primer PAM (1973-1976) incide en la necesidad de solucionar los problemas de la eliminación de residuos. El segundo PAM (1977-81) y el tercero (1982-86) plantean la importancia de los residuos en cuanto a la conservación de recursos naturales, incorporando políticas para la prevención, la reutilización y el reciclaje. El cuarto PAM (1987-92) confirma este enfoque y enfatiza la necesidad de medidas reguladoras y tecnológicas. Durante el quinto PAM (1992-2000) [7] se realizan algunas actuaciones significativas en cuanto a los RCD, como la constitución del Grupo de Proyecto de Construcción y Demolición entre los años 1992 y 1995 y la elaboración del informe “Prácticas de Gestión de los RCD y sus Impactos Económicos” [8]. En el sexto PAM (2001-2012) la gestión sostenible de recursos y residuos es uno de los ámbitos temáticos centrales [9], siendo la prevención de residuos y el reciclaje una de las estrategias temáticas adoptadas, y aprobándose en este contexto la actual Directiva Marco sobre Residuos (Directiva 2008/98/CE) [10].

Actualmente, el compromiso de la UE con el medioambiente es claro, teniendo como objetivo para 2050 lograr una economía competitiva que proporcione un elevado nivel de vida pero con un impacto ambiental mínimo. Para lograr esto, es necesario cumplir una serie de objetivos intermedios en 2020 [11], algunos de los cuales afectan a los RCD: antes de 2020, el 70% en peso de los RCD (con exclusión de la categoría 170504 del LER) debe ser destinado a la reutilización, el reciclado u otras operaciones de valorización, incluidas las operaciones de relleno [10].

2.1.2. Los RCD en el marco normativo español. El caso de Andalucía

Como miembro de la UE, España debe cumplir la Directiva Marco de Residuos [10], por lo que el objetivo principal en cuanto a gestión de RCD es alcanzar el 70% en peso de tasa de reciclaje para 2020.

La normativa nacional específica sobre los RCD era inexistente hasta hace pocos años, estando regulados desde 1998 por la Ley 10/1998, de Residuos (actualizada por la ley 22/2011), donde la única referencia a los RCD es la inclusión de los residuos de construcción y reparación domiciliaria entre los residuos urbanos [12].

La primera figura normativa específica creada para el control de los RCD es el I Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición 2001-2006 [13]. Este plan tiene continuación en el Plan Nacional Integrado de Residuos 2008-2015 (PNIR), actualmente en vigor, y que destina el capítulo 12 a los RCD [14].

El año 2008 es un punto de inflexión por la aprobación del Real Decreto 105/2008, que regula la producción y gestión de los RCD [15]. Este introduce una serie de obligaciones según los agentes implicados, p. ej.: el promotor debe incluir un estudio de gestión de los RCD en el proyecto de ejecución, y el constructor debe realizar un plan de gestión y separar en fracciones aquellas que superen ciertos límites en peso.

Por último, en la Orden MAM/304/2002 (según la Directiva 75/442/CEE, sobre residuos y la Directiva 91/689/CEE, sobre residuos peligrosos) se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la Lista Europea de Residuos (LER), recogiendo los RCD en el capítulo 17 [16].

2.1.2.1. Marco normativo andaluz

Según la Constitución Española, cada comunidad autónoma tiene competencia en materia de residuos, siendo de aplicación la normativa específica de cada región. En Andalucía, la primera figura normativa que aparece es el Decreto 283/1995 por el que se aprueba el primer Reglamento de Residuos de la Comunidad Autónoma de Andalucía, actualizado con la Ley 7/2007 de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental. Recientemente se ha aprobado el actual Reglamento de Residuos de Andalucía mediante el Decreto 73/2012, que dedica el título V a los RCD, estableciendo una serie de cuestiones desde la base de la Directiva Marco de Residuos y del RD 105/2008, como la obligatoriedad de la constitución de fianza para el otorgamiento de la licencia municipal de obras [18].

Por otro lado, se desarrollan planes territoriales, siendo el primero el Plan Director Territorial de Gestión de Residuos Urbanos de Andalucía 1999-2008; y estando vigentes actualmente el Plan Director Territorial de Gestión de Residuos No Peligrosos de Andalucía 2010-2019, y el Plan de Prevención y Gestión de Residuos Peligrosos de Andalucía 2012-2020.

2.1.3. Situación internacional de los RCD

La situación respecto a los RCD varía en cada país, dependiendo de factores como el volumen del sector de la construcción, la concienciación sobre la gestión de los RCD, la tecnología disponible, la legislación, etc.

En Europa, Japón y otros países desarrollados, existe cierta tradición de recuperación de materiales de construcción, que comienza al final de la II Guerra Mundial con la reutilización para la reconstrucción de ladrillos y otros materiales de las ruinas de la guerra [19]. A ello hay que sumarle la falta de suelo para uso como vertedero y de canteras para la extracción de materias primas, lo que conlleva que en estos países desde 1980, el reciclaje de los RCD se convierta en una práctica generalizada [20]. Aun así, el problema de los RCD sigue estando presente en estos países, existiendo a su vez notables diferencias entre ellos.

Por ejemplo, en EEUU se generaron 170 millones de toneladas de RCD en 2003 [21], con un índice de reciclaje del 48 %, y contando con 3500 plantas de reciclaje de RCD [22]. En el caso de Europa, se generaron 820 millones de toneladas de RCD en 2010 [23], con diversos índices de reciclaje según países, desde el 90% de Holanda hasta el 7% de Chipre [24], y contando con unas 4500 plantas de reciclaje de RCD [25].

En otros países, la situación es muy distinta, especialmente en los países en vías de desarrollo, donde los RCD son un problema particularmente grave. En estos países, al crecimiento de la construcción que conlleva el crecimiento económico hay que añadirle una incipiente regulación sobre temas ambientales y poca aplicación de prácticas adecuadas de gestión de los RCD, siendo aún secundarios los objetivos ambientales frente a los tradicionales (coste, duración, calidad y seguridad) [26].

Entre los países asiáticos, cabe destacar el gran volumen de RCD que se genera en China, que en 2008 supusieron el 40% de los RSU, siendo estos el 29% de los RSU mundiales [26]. En este país, debido al alarmante nivel de degradación ambiental, desde los años 90 está legislada la gestión de los RCD [27]. Por otro lado, en países como Tailandia o Singapur, el vertido incontrolado es un problema importante debido a la escasa implantación del reciclaje y a la falta de superficie destinada a vertedero [28, 29].

En Oriente Medio, los RCD suponen el 75% de los residuos generados, afrontando cada país un escenario distinto [30]. En los Emiratos Árabes Unidos, caracterizados por urbanizaciones a gran escala, Dubái genera cerca de 30 millones de toneladas de RCD [31]. En Irán, caracterizado por un alto volumen de

demoliciones, Teherán genera 42000 toneladas de RCD al día [32]. En el territorio ocupado de Palestina, caracterizado por un aumento de la actividad constructiva debido a los daños ocasionados por el conflicto, actualmente no existen rellenos sanitarios ni regulación específica sobre los RCD [33].

En Brasil, los RCD suponen el 50% de los RSU producidos, con una tasa media de generación de 0.52 tonelada por habitante al año [34]. Solo el 0.2% de los municipios tienen plantas de reciclaje de RCD, por lo que gran parte de los RCD no se reciclan. Respecto a normativa específica sobre los RCD, en 2002, se aprueba la Resolución nº 307, que obliga a los municipios a una gestión adecuada de los RCD, prohibiendo los vertederos no autorizados y promoviendo el reciclaje [35].

2.1.4. La situación en los distintos países de la UE

Para 2020 todos los países de la UE deben alcanzar una tasa de reciclaje de RCD del 70%, sin embargo, actualmente y a lo largo de la historia, las diferencias en cuanto a la gestión de los RCD entre los distintos países han sido significativas.

Holanda y la región alemana de Renania del Norte-Westfalia son pioneros en el reciclaje de los RCD. En los años 80 inician una serie de programas de investigación sobre el reciclaje de los RCD y su uso como relleno en carreteras y árido en hormigones [20], construyendo las infraestructuras necesarias, como la planta Heilbronner Baustoff-Recycling GmbH, en funcionamiento desde 1984 en Alemania [36].

En 1999, se generaron en la UE-15 unos 450 millones de toneladas. Las tasas de reciclaje fueron del 80-90% en países como Holanda, Bélgica y Dinamarca, contrastando con otros países como España, donde eran mínimas, sin normativa específica y con proliferación de vertederos ilegales. Otro dato significativo es el número de plantas de tratamiento de RCD existentes en cada país: 150 en Austria, unas 120 en los Países Bajos, entre 60-110 en Italia, y unas 6 España [8].

Los siguientes años se caracterizan por un gran crecimiento del sector de la construcción, con el consecuente aumento de los RCD. En la UE-27 en el año 2010 se generaron 820 millones de toneladas, a las que España contribuye con 37 millones de toneladas [23]. Según estos datos, España produce un 5% de los RCD que se generan en Europa, siendo el sexto país que más genera (Fig. 2.1). Entre las regiones de España, Andalucía es la que más RCD produce, con 8 millones de toneladas (Fig. 2.2).

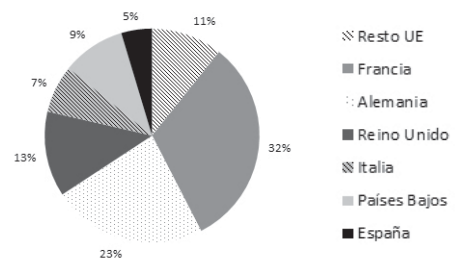


Figura 2.1. Distribución de los RCD generados en Europa en 2010. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat [23].

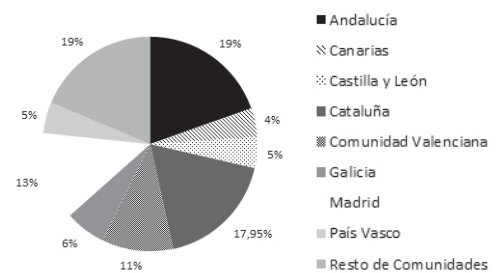


Figura 2.2. Distribución de los RCD generados en España en 2008. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de PNIR [13].

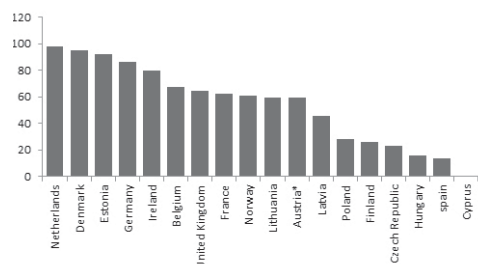


Figura 2.3. Porcentaje reciclado de los RCD según países de la UE. Fuente: [24].

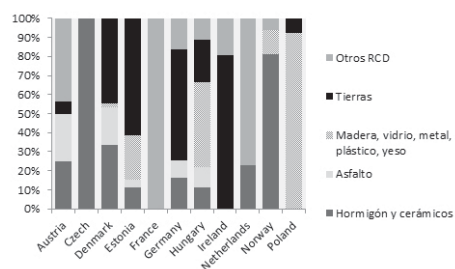


Figura 2.4. Composición de los RCD según países de la UE. Fuente: [24].

Respecto a las tasas de reciclaje, existe disparidad según el país, variando entre menos del 10% y casi el 100% (Fig.2.3). Alcanzar la tasa de reciclaje del 70% para 2020, no supondrá ningún esfuerzo para países como Holanda o Dinamarca, con tasas superiores al 90%; sin embargo, los países con tasas bajas tendrán que adoptar medidas, como le ocurre a España, que por ejemplo ha establecido objetivos cuantitativos y cualitativos en el PNIR y ha aprobado el RD 105/2008. No obstante, una posible explicación de las grandes diferencias entre países es que los de mayor tasa de reciclaje computan una gran cantidad de tierras como RCD reciclados, fracción excluida del objetivo del 70% para 2020 (Fig. 2.4) [24].

Respecto a las infraestructuras, en Europa hay actualmente unas 4500 plantas de reciclaje de RCD, de las que se estima que la mitad son móviles. La capacidad media anual de una instalación es de 50000 toneladas, pero se calcula que un 20% tiene una capacidad menor de 50 toneladas al día y el 40%, menor de 100 toneladas al día [25]. En España, se estima que existen unas 61 plantas de tratamiento, previéndose la implantación de 108 plantas más [14].

2.1.5. Pronóstico del sector de la construcción en España

El sector de la construcción en Europa, tras 5 años de crisis, siguió siendo recesivo en 2013 en la mayoría de países. Actualmente se entrevén indicios de mejora, siendo las expectativas de crecimiento del 0.9% para 2014 y del 1.8% para 2015, con tendencia a acelerarse para 2016. Por áreas, se prevé que la edificación residencial sea la que tenga un mayor crecimiento, aunque lejos de su normalización; que la rehabilitación continúe con pocas oscilaciones; que la edificación no residencial tienda a estancarse; y que la ingeniería civil comience un modesto crecimiento, especialmente en los países del Este (Fig. 2.5) [37].

En España, el sector de la construcción estuvo en crecimiento hasta 2007, pero a partir de esta fecha sufrió una gran caída. Entre 2007 y 2011, el número de edificios a los que se le otorgó la licencia municipal de obras disminuyó a la mitad. La mayoría de las obras llevadas a cabo en este periodo corresponden a edificios de nueva planta (Fig. 2.7), siendo de uso residencial la mayoría de los edificios construidos (Fig. 2.8) [38]. Por áreas, se prevé que la edificación siga decreciendo hasta 2015, siendo la edificación residencial la que antes reaccione, y que el área de la ingeniería civil no tenga crecimiento hasta 2016 (Fig. 2.6) [37].

Respecto a los RCD, la Figura 2.9 muestra las cantidades generadas en la última década. El PNIR, dada la incertidumbre del sector de la construcción en España, estima 40 millones de toneladas de RCD generados al año como cifra provisional en su horizonte [14].

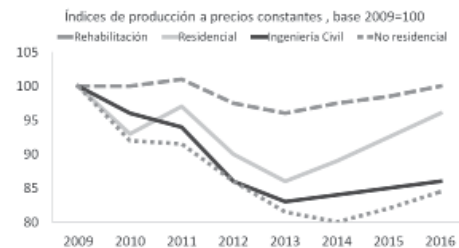


Figura 2.5. Evolución de los distintos subsectores en el mercado europeo. Fuente: [37]

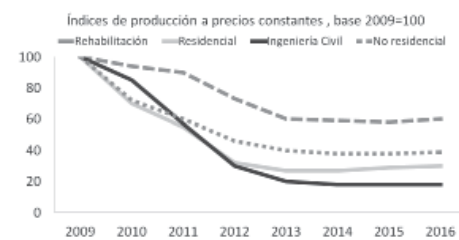


Figura 2.6. Evolución de los distintos subsectores en el mercado español. Fuente: [37]

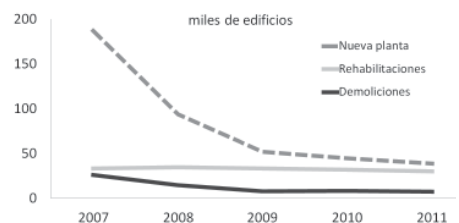


Figura 2.7. Edificios según tipo de obra. España, 2007-2011. Fuente: Elab. propia a partir de [38].

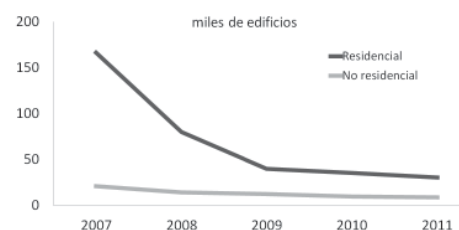


Figura 2.8. Ed. de nueva planta según uso. España, 2007-2011. Fuente: Elab. propia a partir de [38].



Figura 2.9. Cantidad anual de RCD generados en España, 2001-2010. Fuente: [14].

2.2. LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

2.2.1. Definición, principios y fases

La *gestión de residuos* se define como “la recogida, el transporte, la valorización y la eliminación de los residuos, incluida la vigilancia de estas operaciones, así como el mantenimiento posterior al cierre de los vertederos, incluidas las actuaciones realizadas en calidad de negociante o agente” [10].

La estrategia comunitaria de residuos adoptada en 1989 [39], se basa en una serie de principios: (a) Principio de prevención, por el que la producción de residuos tiene que reducirse y, cuando sea posible, evitarse; (b) Principio de quien contamina paga, por el que el productor y el poseedor de los residuos deben gestionarlos de forma que se garantice un alto nivel de protección del medio ambiente y de la salud humana; (c) Principio de precaución, por el que todos los problemas potenciales deben ser anticipados; y (d) Principio de proximidad, por el que los residuos deben eliminarse lo más cerca posible de su origen.

En consonancia con estos principios, la estrategia comunitaria de residuos de 1997 establece la jerarquía comunitaria de gestión [40], que determina que los residuos deben ser destinados por orden de preferencia a: prevención, reutilización, reciclaje, otras formas de valorización y, sólo si lo anterior no es viable, a un tratamiento de eliminación respetuoso con el medio ambiente y la salud de las personas.

En el caso de los RCD, la gestión está presente desde las etapas de planificación y diseño de los edificios, hasta el fin de vida de los materiales de construcción. La Figura 2.10 muestra la relación entre cada una de estas etapa con la jerarquía de gestión. En cada etapa intervienen diversos agentes, responsables de una determinada función: promotor, constructor, proyectista, dirección facultativa, gestores intermedios, gestores finales, administración. A continuación se describen algunos aspectos de la gestión de los RCD, distinguiendo entre anterior (prevención) y posterior a la generación del RCD.

2.2.1.1. La gestión previa a la generación del RCD: la prevención

Se denomina prevención a las medidas previas a la generación de los residuos enfocadas a reducir la cantidad de residuos y los impactos adversos y sustancias nocivas (según se define en el apartado 1.2). La Directiva Marco de Residuos establece que la prevención es la opción prioritaria de gestión y señala la necesidad de introducir un enfoque que considere no sólo la fase de residuo sino todo el ciclo de vida de los productos y materiales. A su vez, exhorta a los Estados miembros a elaborar programas de prevención, en los que se valoren medidas de prevención como las recogidas en el Anexo IV [10].

En las fases asociadas a la prevención, factores como normativa, infraestructuras existentes, decisiones de diseño, planificación, aplicación de buenas prácticas en obra, tipo de demolición, etc. condicionan la cantidad y composición de los RCD generados en las obras y su posterior gestión. Diversos estudios, investigan sobre las medidas de prevención, tanto en obra (p. ej. [42]), como en proyecto (p. ej. [43]).

Uno de los obstáculos que encuentra la prevención es la falta de concienciación. En la fase de proyecto podría evitarse hasta un tercio de los RCD, pero el proyectista suele atribuir la generación de los RCD exclusivamente a la fase de obra [44]; y en la obra, el constructor suele buscar la comodidad en lugar de la eficacia y la sostenibilidad. Respecto a la planificación, estudios y planes de gestión suelen redactarse genéricamente sin considerar las características específicas de la obra, incluso alterando las cantidades intencionadamente para evitar tener que separar por fracciones en obra [17]. Además, la falta de datos y estudios fiables sobre las tasas de generación y la composición de RCD limita las oportunidades de prevención [45].

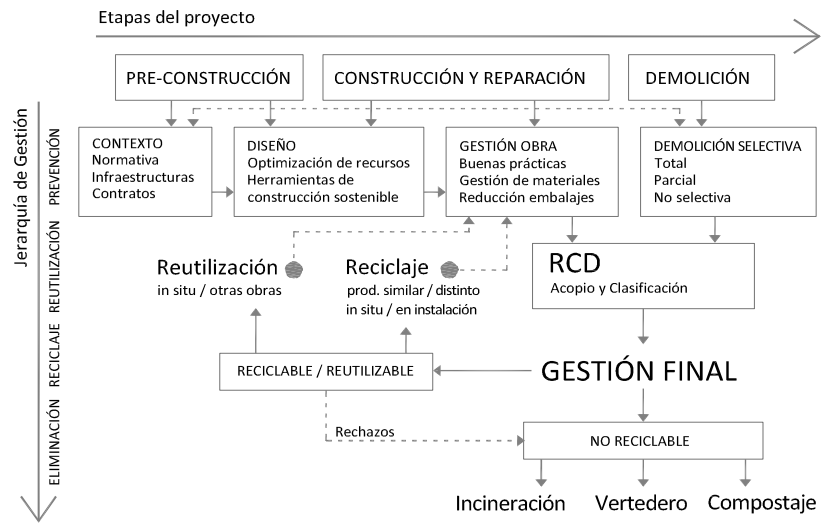


Figura 2.10. Esquema de la gestión de RCD según las etapas del proyecto y la jerarquía de gestión. Elaboración propia a partir de [41].

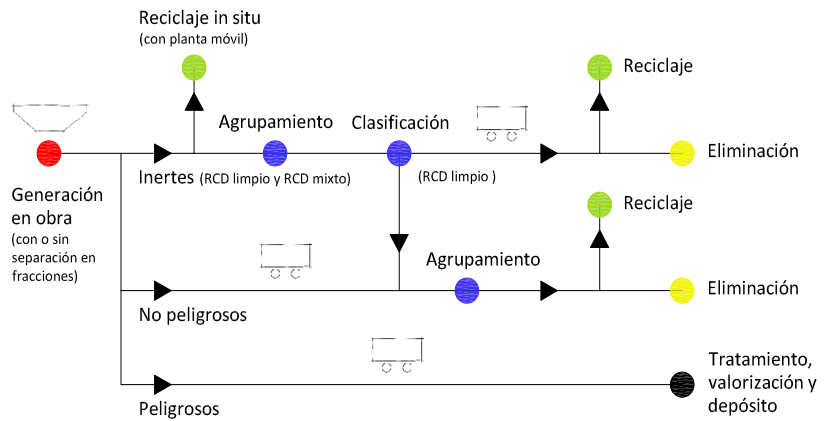


Figura 2.11. Flujos de los RCD una vez generados, según su naturaleza. Fuente: Elaboración propia a partir de [46].

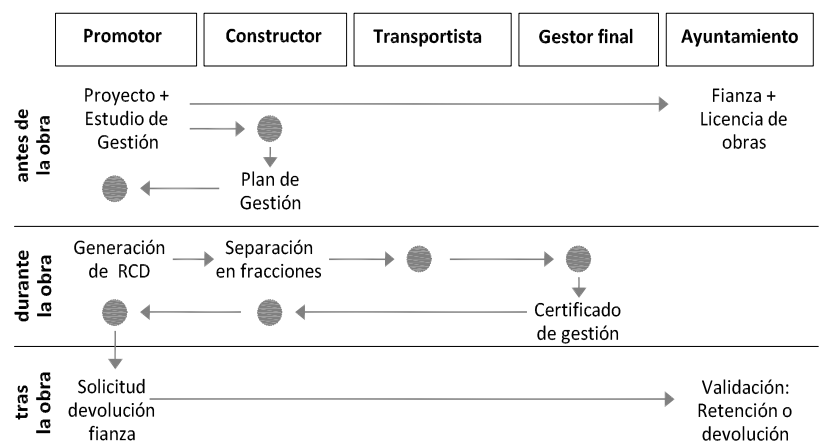


Figura 2.12. Flujo administrativo según agentes involucrados en la gestión de RCD. Fuente: Elaboración propia a partir de [47].

2.2.1.2. La gestión una vez generados los RCD

Una vez generados, los RCD deben gestionarse de forma que se minimicen los impactos, pudiendo ser incorporados de nuevo a la tecnosfera mediante la valorización o acabar su ciclo mediante la eliminación. Para facilitar la gestión, es recomendable la separación en fracciones, siendo obligatoria por el RD 105/2008 en los casos en que se superen ciertas cantidades.

Mediante la valorización, un residuo sustituye a otros materiales que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o se prepara para cumplir esa función. Son operaciones de valorización, por ejemplo: la preparación para la reutilización de los residuos sin ninguna otra transformación previa; o el reciclado, mediante el cual los residuos se transforman de nuevo en productos, materiales o sustancias (según se define en el apartado 1.2). El Anexo II de la Directiva Marco de Residuos recoge una lista no exhaustiva de operaciones de valorización (R1 a R13) [10].

Cualquier otra operación que no sea valorización es eliminación, incluso cuando se genera aprovechamiento de sustancias o energía (según se define en el apartado 1.2). El Anexo I de la Directiva Marco de Residuos recoge una lista no exhaustiva de operaciones de eliminación (D1 a D5) [10].

La Figura 2.11 muestra los posibles flujos de los RCD, desde que salen de la obra hasta su valorización o eliminación, según la naturaleza del RCD: inerte⁽¹⁾, no peligroso y peligroso⁽²⁾. Las instalaciones que pueden intervenir son: de agrupamiento (en caso de grandes distancias), de clasificación (si no ha habido separación de fracciones en obra) e instalaciones de valorización o eliminación. La separación por fracciones en obra condiciona la posterior gestión: los RCD peligrosos deben separarse y gestionarse por un gestor autorizado; los RCD inertes y no peligrosos, si no se separan en obra, se deben separar en una planta de clasificación antes del tratamiento final (véase el apartado 2.2.2).

La valorización de los RCD encuentra una serie de barreras, como el poco atractivo económico de los áridos reciclados frente a los naturales (debido a la alta disponibilidad y bajo coste de estos últimos); o el desconocimiento sobre la calidad de los áridos reciclados, especialmente para el uso estructural [25]. Por otro lado, la administración tiene un importante papel a la hora de fomentar valorización de los RCD, como: proporcionar gestores próximos en todas las provincias y en número suficiente; aumentar las tasas de vertido; aumentar las tasas en la extracción de materias primas [25]; fomentar la demanda de productos del reciclado de los RCD mediante normativa y otras acciones; incentivar la separación *in situ* y la demolición selectiva; establecer un sistema de fianzas; etc.

2.2.1.3. El flujo administrativo. El sistema de fianzas

En ocasiones, para la correcta gestión de los RCD son necesarios una serie de procesos administrativos (Fig. 2.12). El RD 105/2008 contempla una serie de figuras relacionadas con este flujo administrativo: el estudio de gestión de los RCD, que el promotor debe incluir en el proyecto de ejecución; el plan de gestión de los RCD que debe presentar el constructor, donde concrete como se aplicará el estudio de gestión; o la fianza, que se puede establecer en los términos previstos en la legislación de las comunidades autónomas.

(1) Se denomina residuo inerte a "aquel residuo no peligroso que no experimenta transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas, no es soluble ni combustible, ni reacciona física ni químicamente ni de ninguna otra manera, no es biodegradable, no afecta negativamente a otras materias con las cuales entra en contacto de forma que pueda dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana. La lixiviabilidad total, el contenido de contaminantes del residuo y la ecotoxicidad del lixiviado deberán ser insignificantes, y en particular no deberán suponer un riesgo para la calidad de las aguas superficiales o subterráneas" [15].

(2) Se denomina residuo peligroso al residuo que presenta una o varias de las características peligrosas enumeradas en el Anexo III de la Directiva 2008/98/CE (H1 a H15)

El actual Reglamento de Residuos de Andalucía establece la constitución de una fianza obligatoria para los proyectos que requieran licencia municipal. El sistema de fianzas lleva varios años implantado en algunas localidades andaluzas, como en las pertenecientes a la Mancomunidad de los Alcores en Sevilla. En estas localidades, de acuerdo con la Ordenanza Marco de Residuos de la Construcción y Demolición de la Mancomunidad de los Alcores, se sigue el siguiente procedimiento [48]:

La Gerencia de Urbanismo, en la comunicación de inicio de obra, pide entre otros el documento de compromiso de correcta gestión de los RCD. Para ello, el promotor con el proyecto visado y la ficha de aportación de datos debe dirigirse a la Oficina Técnica, donde recibe el número de expediente de obra y el número de cuenta de la fianza, el modelo de aval bancario en caso de que la fianza sea excesiva y el documento a firmar con la ley de protección de datos. A partir del proyecto, se estima el volumen de RCD que se generará y se establece la fianza: 12 euros cada metro cúbico de residuos de demoliciones y construcciones y 6 euros cada metro cúbico de residuos de excavaciones, siendo la máxima fianza para tierras de 48000 € y la mínima en ambos casos de 300.50 €. El cliente paga la fianza y con el resguardo puede recoger el proyecto, el documento de compromiso, una autorización de vertido para dar de alta la obra en las plantas de reciclaje (ALCOREC es el único autorizado por la Mancomunidad), y la solicitud de certificado de correcta gestión. Una vez que la obra termina, el cliente presenta el certificado de correcta gestión, y previa verificación de las cantidades gestionadas en las plantas por parte de la Oficina Técnica, la fianza es devuelta.

2.2.2. Caracterización y gestión de los RCD que se generan en obras de nueva planta

2.2.2.1. Fracciones de RCD que se generan en obras de nueva planta

Los distintos tipos de residuos se recogen en la Lista Europea de Residuos [16], que codifica cada fracción por seis dígitos (código LER): los dos primeros indican el capítulo (17 para los RCD); los dos siguientes, una determinada agrupación (p. ej. 01 para hormigón, ladrillo, tejas y materiales cerámicos); y los dos últimos definen el elemento concreto del que se trata (p. ej. 01 para hormigón) [17]. Cada grupo de dígitos va separado por un espacio, que en las tablas de este estudio se ha omitido.

Existe una falta de datos y estudios fiables sobre las cantidades y la composición de los RCD generados [45], que dependen de factores como el tipo de obra (nueva planta, rehabilitación o demolición) y las características constructivas del edificio. Las Tablas 2.2 y 2.3 muestran los ratios obtenidos de diversos estudios según peso y volumen de los RCD generados por metro construido de edificación, según tipo de obra y características del edificio.

Tipo de obra	Ratios de generación de RCD en peso (kg/m ²)		
	España ⁽¹⁾	EPA ⁽²⁾	
		Residencial	No-residencial
Construcción de nueva planta	120.0	21.39	18.99
Rehabilitación	338.7	Varía	86.27
Demolición total	1,129.0	561.15	756.83
Demolición parcial	903.2	---	---

(1) Fuente: [50] (2) Fuente: [22]

Tabla 2.2. Ratios de generación de RCD en peso por tipo de construcción en España y América. Fuente: [49]

Tipo de obra	Ratios de generación de RCD en volumen (m ³ /m ²)				
	Estudio A	Estudio B			Estudio C
		nº de plantas edificio	2	5	
Construcción de nueva planta	0.125	0.479*	0.457*	0.424*	
Demolición de ed. residencial de fábrica de ladrillo	0.732	1.457	1.211	1.178	
Demolición de ed. residencial de estructura de hormigón	0.874	1.457	1.211	1.178	0.895
Demolición de ed. industrial	0.969	1.457	1.211	1.178	1.263/1.195
Rehabilitación (25%)		0.484*	0.417*	0.400*	
Reparación de carreteras					1.559

* tierras incluidas en los datos
Estudio A: [51]; Estudio B [52]; Estudio C [53]

Tabla 2.3. Ratios de generación de RCD en volumen por tipo de construcción en España. Fuente: [49]

Respecto a la composición de los RCD, la Tabla 2.4 muestra los resultados de algunos estudios en España, cada uno de los cuales utiliza datos de diversa procedencia: de vertederos (Estudio 3), de plantas de tratamiento de RCD (Estudios 6a y 6b) o datos específicos de edificios residenciales de nueva planta (Estudios 1 y 5). Para comparar resultados, también es necesario tener en cuenta si el estudio ha considerado las tierras y los RCD peligrosos. Por otro lado, los porcentajes de cada fracción difieren según se expresen en peso o en volumen: en los resultados expresados en peso, las fracciones inertes son las más relevantes, superando el 60%; sin embargo, por volumen, los más relevantes son los envases, reduciéndose las fracciones inertes aproximadamente al 30%.

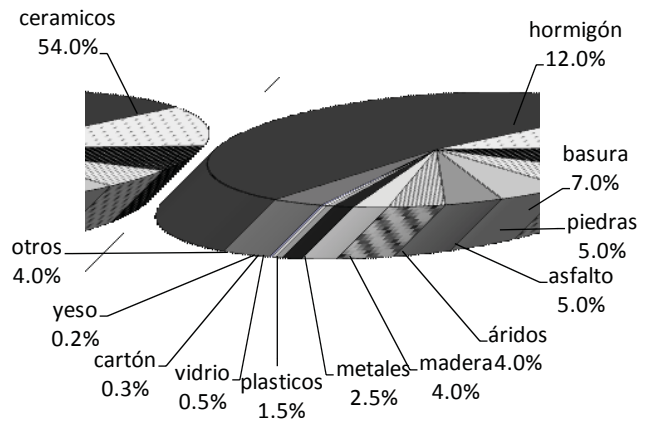


Figura 2.13. Composición de los RCD en España. Fuente: [13]

	Composición media de los RCD en España según distintos estudios									
	% en volumen		% en peso							
	Estudio 1	Estudio 2	Estudio 3	Estudio 4	Estudio 5	Estudio 6a	Estudio 6b			
15 RESIDUOS DE ENVASES	6.70E+01	6.30E+01	5.00E+00							
15 01 01 Env. papel y cartón	3.00E+00	3.00E+00	1.00E+00							
15 01 02 Envases de plástico	6.00E+00	6.00E+00	1.00E+00							
15 01 03 Envases de madera	5.50E+01	5.40E+01	3.00E+00							
15 01 04 Envases metálicos	2.00E+00	<3.00E+00								
15 01 06 Envases mezclados	1.00E+00									
17 RESTOS	3.30E+01	3.50E+01	9.10E+01	8.10E+01	9.26E+01	1.00E+02	1.00E+02			
Inertes	3.10E+01	3.40E+01	6.60E+01	6.60E+01	6.06E+01	8.20E+01	8.32E+01			
17 01 01 Hormigón	1.70E+01	2.00E+01	1.20E+01	1.20E+01	2.30E+01					
17 01 03 Cerámicos-ladrillo	1.20E+01	1.40E+01	5.40E+01	5.40E+01	3.76E+01					
17 01 07 Mezcla horm-ceram	2.00E+00									
No peligrosos	2.00E+00	1.00E+00	2.50E+01	1.50E+01	3.20E+01	1.80E+01	1.68E+01			
03 03 08 Papel-Cartón			3.00E-01	5.00E-01	2.00E+00	3.00E-01	2.30E-02			
17 02 01 Madera			4.00E+00	6.00E+00	9.50E+00	1.50E+00	6.18E-01			
17 02 02 Vidrio			5.00E-01	5.00E-01	2.50E-01					
17 02 03 Plástico			1.50E+00	3.00E+00	2.75E+00	5.00E-01	3.00E-03			
17 04 Metales mezclados			2.50E+00	5.00E+00	5.15E+00	7.00E-01	4.40E-02			
17 08 02 Yesos			2.00E-01		7.35E+00					
17 09 04 Residuos mezclados	2.00E+00	1.00E+00	1.60E+01		5.00E+00	1.50E+01	1.61E+01			
Peligrosos			2.30E+00							
17 05 TIERRAS		1.00E+00	9.00E+00	1.40E+01	5.10E+00					

Estudio 1 [54]. Estudio 2 [51]. Estudio 3 [13]. Estudio 4 [55]. Estudio 5 [56]. Estudio 6 [57].

Tabla 2.4. Composición de la media de los RCD en España. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de los estudios.

En una obra de nueva planta, los RCD se producen a lo largo del desarrollo de la obra, generándose mayor o menor cantidad de cada fracción según la fase de la obra que se ejecute. La Tabla 2.5 indica las principales fases a las que se asocia la generación de cada fracción en una obra de nueva planta.

	Trab. previos	Cim. y estruct.	Albañilería	Instalaciones	Impermeabil.	Aislamientos	Cubiertas	Revestimien.	Carpinterías	Envases
170101 Hormigón										
170103 Cerámicos										
170107 Mezclas de horm y cerám.			(1)							
170201 Madera		(2)								
170202 Vidrio										
170203 Plástico										
170302 Mezclas bituminosas										
170401 Cobre, bronce, latón										
170402 Aluminio										
170405 Hierro y acero										
170802 Materiales a partir de yeso										
170904 Residuos mezclados										
150101 Envases de papel y cartón										
150102 Envases de plástico										
150103 Envases de madera										
150104 Envases metálicos										(3)
170504 Tierra y piedras										

- (1) Principalmente en pequeñas demoliciones de fábrica y en la ejecución de rozas
(2) Principalmente por encofrados
(3) Principalmente de envases de pinturas y barnices (se consideran peligrosos)

Tabla 2.5. Fases de una obra de nueva planta a las que asocia principalmente la generación de cada fracción de RCD. Fuente: Elaboración propia

	Reciclaje	Recup. energé.	Otra valorizac.	Eliminación vert.	Peligroso
170101 Hormigón					
170103 Cerámicos					
170107 Mezclas de horm y cerám.					
170201 Madera					(1)
170202 Vidrio					
170203 Plástico					
170302 Mezclas bituminosas					
170401 Cobre, bronce, latón					
170402 Aluminio					
170405 Hierro y acero					
170802 Materiales a partir de yeso					
170904 Residuos mezclados	(2)				
150101 Envases de papel y cartón					
150102 Envases de plástico					
150103 Envases de madera					
150104 Envases metálicos					
170504 Tierra y piedras					

- (1) Si contiene sustancias tóxicas es gestionado como peligroso
(2) El reciclaje es posible tras una separación previa

Tabla 2.6. Opciones de gestión que admite cada fracción de RCD. Fuente: Elaboración propia

2.2.2.2. Gestión por fracciones de RCD en obras de nueva planta

Las opciones de gestión a las que se pueden destinar los RCD dependen de la naturaleza (inerte, no peligroso o peligroso) y de la fracción de RCD (según códigos LER); pero también del elemento constructivo del que procede y del tipo de obra, existiendo diferencias entre los RCD de obras de nueva planta, de rehabilitación o de demolición. La Tabla 2.6 resume las opciones de gestión por fracciones de RCD en obras de nueva planta.

La reutilización es una opción de gestión más habitual en obras de demolición o rehabilitación con respecto a las obras de nueva planta. En nueva planta, los RCD a reutilizar se reducen a las tierras, para rellenos en la misma obra o en próximas; o los restos de cortes, por ejemplo de baldosas cerámicas. Por otro lado, los pallets y encofrados sí se reutilizan en obra, pero se consideran como productos reutilizables que se convierten en residuos cuando ya no son aptos para su función.

Algunos RCD deben ser gestionados por un gestor autorizado, como los residuos peligrosos, según el RD 105/2008. En otros casos los gestiona el propio suministrador, como los vidrios, que en obras de nueva planta se generan puntualmente por la rotura de algún acristalamiento, o los envases de madera, los pallets, que son reutilizados por el propio suministrador.

Respecto a la eliminación, el tipo de vertedero dependerá de la naturaleza del RCD. Las fracciones inertes pueden ir a vertedero de inertes, y el resto a vertedero de residuos no peligrosos, que deben incluir aprovechamiento de biogás producido por las fracciones biodegradables.

En cuanto a la valorización, la mayoría de las fracciones admiten el reciclaje, en algunos casos también la recuperación energética, y puntualmente también pueden ser valorizados de otro modo. A continuación, se resumen posibles valorizaciones para cada fracción:

- Fracciones inertes (17 01): reciclables como áridos en plantas de tratamiento de RCD, pueden contener impurezas que hay que eliminar para su reciclaje, especialmente en obras de demolición, como metales (del hormigón armado) o yesos (de revestimientos). Según el contenido de hormigón o cerámicos se obtienen distintos tipos de áridos, con posibles usos en terraplenes y rellenos, firmes de carreteras u hormigones [58].
- Madera (17 02 01): son muy valorizables, pero si han sido tratadas químicamente se consideran residuos peligrosos. En obras de nueva planta, se generan principalmente por los encofrados, conteniendo habitualmente restos de cemento y desencofrantes. Posibles valorizaciones son: la trituración como virutas para fabricar tableros aglomerados; la recuperación energética, habitual en sectores como el papelero o el del tablero aglomerado [54]; el uso como material de pavimentación o en cuadras de animales [25]. Al ser un material orgánico, se podría destinar a compost, pero la presencia de cemento y otros contaminantes lo imposibilitan. Lo anterior es aplicable a los envases de madera cuando dejan de ser reutilizables.
- Bituminosos (17 03 02): se pueden reciclar como nuevas mezclas bituminosas o como material granular para rellenos. El sistema de reciclaje puede ser en frío o en caliente, realizado en central o *in situ* [58].
- Plásticos (17 02 03): aunque el plástico es muy apto para el reciclaje, la alta suciedad y heterogeneidad de los plásticos de construcción lo impiden [54]. Sin embargo, la separación en obra de los envases de plástico es más fácil, por lo que si se realiza, sí son aptos para el reciclaje. Otras valorizaciones son la pirolisis, la gasificación y la combustión, aunque en esta se suelen originar partículas con contenido en carbono, escorias y alquitranes, que disminuyen la eficiencia energética y originan problemas ambientales [58].
- Metales (17 04): tienen muy alta capacidad de reciclaje, en especial el aluminio. Los recuperadores autorizados los retiran sin coste alguno, los separan y los venden a fundiciones. Según el tipo de metal, se distingue entre fundición ferrosa (arco eléctrico, cubilotes, inducción magnética) y no ferrosa (crisol, reverbero, hornos convencionales).
- Materiales a partir de yeso (17 08 02): son reciclables o no, según su procedencia. Son difíciles de valorizar los enyesados por la dificultad de separación del elemento soporte, y el yeso laminado de demoliciones por los restos de pinturas u otros acabados. Sí es reciclable el yeso laminado de obras de nueva planta, menos contaminado, siendo su principal problema la recogida [60]. De los RCD de yeso laminado destinados a reciclaje, aproximadamente el 94% se reprocesa como polvo de yeso que se incorpora a la fabricación de productos de yeso; y el 6% es papel que se puede destinar a reciclaje, compostaje, generación de calor, etc. [61]. Es una práctica habitual en países como Dinamarca o Alemania, pero no lo es aún en España [25].
- Tierras y piedras (17 05 04): se pueden reutilizar como rellenos o para modificar orografías en obras, si no contienen sustancias peligrosas. En el caso de la tierra meteorizada, puede ser reutilizada como sustrato vegetal dado su alto contenido en materia orgánica. Las piedras se pueden reciclar como árido [54].
- Envases de papel y cartón (15 01 01): se pueden reciclar como papel y cartón; se pueden valorizar energéticamente, tanto en incineradoras como en la propia fábrica de papel u otras industrias. Si el residuo está limpio se puede valorizar como compost, pero habitualmente contiene sustancias contaminantes, como restos de cemento, lo que lo hace inviable.
- Envases metálicos (15 01 04): en su mayoría se consideran peligrosos por los productos que han contenido.
- Residuos mezclados de construcción y demolición (17 09 04): para su valorización es necesario separarlo en fracciones en planta de clasificación de RCD, tras lo que se gestiona cada fracción según lo descrito anteriormente.

2.3. LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LA GESTIÓN DE LOS RCD. EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

2.3.1. Estudios sobre la Gestión de los RCD

Ante la dificultad de construir una sociedad sostenible, se necesita contar con instrumentos de ayuda, como son las herramientas de evaluación de la sostenibilidad, entre las que se pueden distinguir:

Herramientas	Características	Ejemplos
Indicadores / Índices	Miden el nivel de desarrollo económico, social y/o medioambiental asociados a una región	la Huella Ecológica o el Índice de Desarrollo Humano
Herramientas de evaluación de productos	Evalúan los impactos ambientales a lo largo de la cadena de producción o del ciclo de vida del producto	Análisis de Ciclo de Vida, Coste de Ciclo de Vida, Análisis Emery o Análisis Exergy
Herramientas de evaluación integrada	Se utilizan para la ayuda de toma de decisiones en una región específica	Dinámica de sistemas, Análisis Multicriterio, Análisis Coste-Beneficio, o Evaluación de Impacto Ambiental

Tabla 2.7. Herramientas de evaluación de la sostenibilidad. Fuente: Elaboración propia a partir de [62].

En el sector de la construcción, a partir de 1990, la evaluación de los edificios empieza a ser una práctica habitual, desarrollándose numerosas herramientas adaptadas a las características específicas de este sector. La Tabla 2.8 muestra las herramientas más utilizadas para evaluar edificios.

Herramientas	Características	Ejemplos
Sistemas de evaluación de la sostenibilidad	Permiten establecer una gradación entre distintas edificaciones e incluso adquirir una certificación. Estas herramientas están implantadas en todo el mundo, existiendo un número muy elevado de ellas.	BREEAM (Reino Unido), LEED (EEUU), CASBEE (Japón), Green Star (Australia), HQE (Francia), Protocolo ITACA (Italia), VERDE (España), DGNB (Alemania), LIDER A (Portugal), Green Globes (Canadá), SBTool, etc.
Estándares en edificaciones sostenibles	“Buenas prácticas” reconocidas, no suponen una gradación ni certificación y fundamentalmente se centran en los aspectos energéticos.	Passivhaus (Alemania), Edificios Low-energy (Internacional), Edificios zero-emissions (Reino Unido).
Herramientas (software) de evaluación	Basadas en ACV, para obtener los impactos ambientales	Herramientas utilizadas para la evaluación de productos. Boustead (Reino Unido), ECO-it (Holanda), ECOPRO (Suiza), GaBi (Alemania), LCAIT (Suecia), CMLCA (Holanda), SimaPro (Holanda), Umberto (Alemania).
	Herramientas simplificadas para la evaluación de edificios.	Athena (Canadá), BEES (EEUU), EcoQuantum (Holanda), Envest (Reino Unido), LISA (Australia), TCQ2000 (España).
Bases de datos de productos y sistemas constructivos	Evaluación del comportamiento energético de edificios.	Energy Plus (EEUU), TRNSYS (EEUU), DesignBuilder (Reino Unido), Ecotect, Calener (España)
	Asociadas a las herramientas basadas en ACV anteriores. Son listados de productos caracterizados en función de una serie de parámetros ambientales.	MRPI Netherlands, IVAM 2000 (Holanda), BEES (EEUU), LCAIT (Suecia), BEDEC (España).

Tabla 2.8. Herramientas utilizadas en la evaluación de edificios. Fuente: Elaboración propia a partir de [63], [64].

Los RCD son considerados en algunas de las herramientas anteriores como un aspecto más a valorar en cuanto a la sostenibilidad o los impactos del edificio, por ejemplo: *BREEAM*, *LEED* o *Green Globes* incluyen créditos que contemplan la gestión de los RCD; o las herramientas que consideran el ciclo de vida completo del edificio, por definición, deben incluirlos. No obstante, dada la importancia de los RCD, en muchos casos se evalúan independientemente del edificio, pudiendo abarcar dicha evaluación todo el espectro que muestra la Figura 2.14.

También existen online herramientas simplificadas a disposición de los agentes implicados en la toma de decisiones sobre la gestión de los RCD, siendo algunas de ellas: (a) *True Cost of Waste Calculator* que entre otros calcula las emisiones de carbono de la gestión de RCD y el coste económico [66]; (b) *NW-Tool y DoWTB* enfocadas a la optimización de la gestión y a la prevención en la fase de diseño respectivamente, que calculan entre otros, el coste económico y las emisiones de carbono [67]; (c) *DeconRCM*, que identifica la alternativa óptima de gestión teniendo en cuenta criterios económicos y medioambientales [68], [69].

Los estudios de la Tabla 2.9 evalúan diversos aspectos de la sostenibilidad: un 29% analiza factores sociales, un 54% económicos y un 69% ambientales. De ellos, un 42.86% analiza solo factores ambientales; un 22.86%, solo factores económicos; y el 2.8%, solo factores sociales. A su vez, el 20% analiza conjuntamente los factores económicos, sociales y ambientales y ninguno analiza los factores sociales junto con los ambientales (Fig. 2.15). Del análisis de los estudios que evalúan los factores ambientales, se observa que emplean diversas metodologías, como la Dinámica de Sistemas o la Teoría Emergy, siendo la más utilizada el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), en un 58% de los casos.

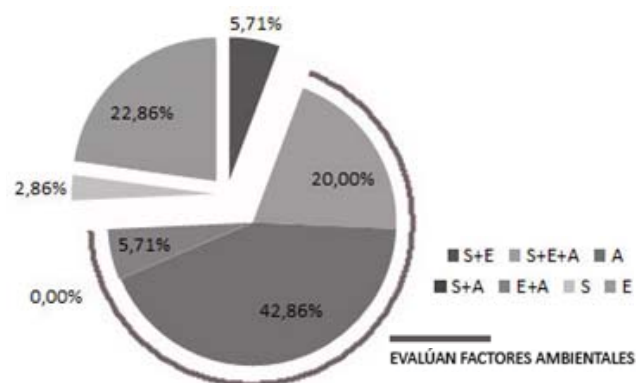


Figura 2.15. Porcentaje de estudios según los aspectos de la sostenibilidad evaluados.

2.3.2. El Análisis de Ciclo de Vida y la evaluación ambiental de la gestión de RCD

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) consiste en la recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema a través de su ciclo de vida, es decir, desde la adquisición de materias primas o de su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final [102], [103].

Esta metodología, estandarizada internacionalmente según las normas ISO (Tabla 2.10), lleva desarrollándose desde 1960. Aun estando bien establecida, existen iniciativas internacionales que continúan su desarrollo: Iniciativa de Ciclo de Vida del Programa Medioambiental de las Naciones Unidas (UNEP), SETAC, o Plataforma Europea para ACV de la Comisión Europea, con proyectos como *International Reference Life Cycle Data System (ILCD)* [104].

ISO Nº	Título del documento
ISO 14040:2006 ⁽¹⁾	Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework
ISO 14044:2006 ⁽²⁾	Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines
ISO/TR 14047:2012	Environmental management -- Life cycle assessment -- Illustrative examples on how to apply ISO 14044 to impact assessment situations
ISO/TS 14048:2002	Environmental management -- Life cycle assessment -- Data documentation format
ISO/TR 14049:2012	Environmental management -- Life cycle assessment -- Illustrative examples on how to apply ISO 14044 to goal and scope definition and inventory analysis

(1) Antes ISO 14040:1997

(2) Remplaza las anteriores ISO 14041/14042/14043

Tabla 2.10. Documentos ISO relacionadas con el ACV.

Un estudio de ACV consta de cuatro fases: definición de objetivo y alcance, análisis de inventario (ICV), evaluación de impacto (EICV) e interpretación de resultados. En la fase de objetivo y alcance se definen aspectos como las razones para llevar a cabo el estudio, los límites del sistema, las fuentes de datos, o los procedimientos de asignación de cargas y cálculo. En la fase de ICV, se cuantifican las entradas y salidas a lo largo del ciclo de vida del producto. En la fase de EICV, se cuantifican los impactos ambientales potenciales del inventario de ciclo de vida. Por último, en la fase de interpretación, los resultados obtenidos se evalúan para extraer conclusiones y recomendaciones. El ACV es una técnica iterativa, es decir, cada una de estas fases utiliza los resultados de las otras fases (Fig. 2.16) [102], [103].

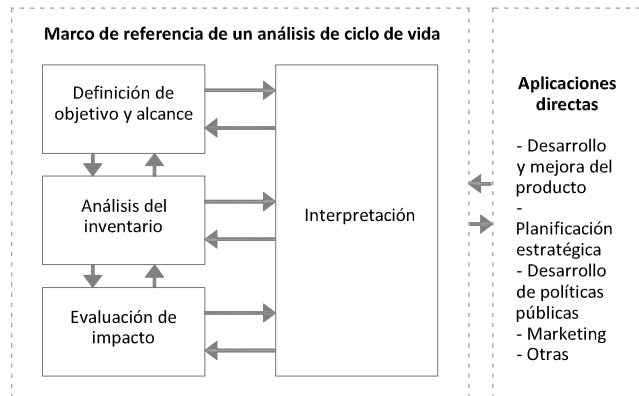


Figura 2.16. Relación entre las fases de un estudio de ACV. Fuente: [102]

Inicialmente, el ACV se utilizó para la evaluación ambiental de productos, extendiéndose posteriormente su uso al sistema de gestión de los residuos, en particular de los residuos sólidos urbanos (RSU). Como recoge la ISO 14040:2006, la técnica de ACV puede aplicarse a partes específicas del ciclo de vida, como es el caso de la gestión de residuos, que se limita a la última fase de un ACV de productos: comienza en el punto de generación del residuo e incluye recogida, transporte, manipulación, y disposición final o tratamiento, así como recuperación de materiales y energía [105]. La Figura 2.17 muestra la diferencia entre un ACV de productos y un ACV de gestión de residuos.

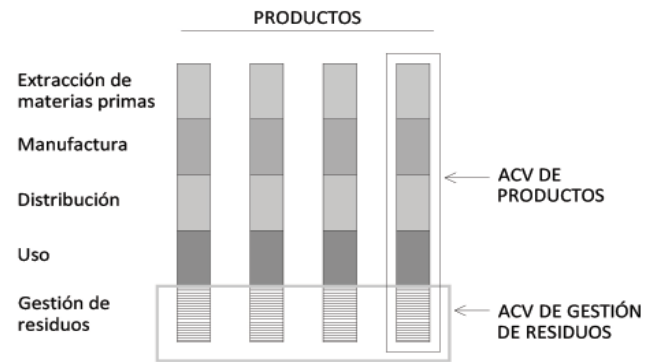


Figura 2.17. Diferencias entre ACV de productos y ACV de gestión de residuos. Fuente: [107].

En la UE, uno de los cambios recientes en la política de residuos es la introducción del concepto de ciclo de vida, siendo enfocadas las estrategias de prevención a minimizar el impacto medioambiental en todo el ciclo de vida de los recursos. La Directiva Marco de Residuos de 2008 contempla la posibilidad de apartarse de la jerarquía de residuos siempre que quede justificado desde el enfoque de ciclo de vida, para lo que será necesaria la utilización de herramientas como el ACV.

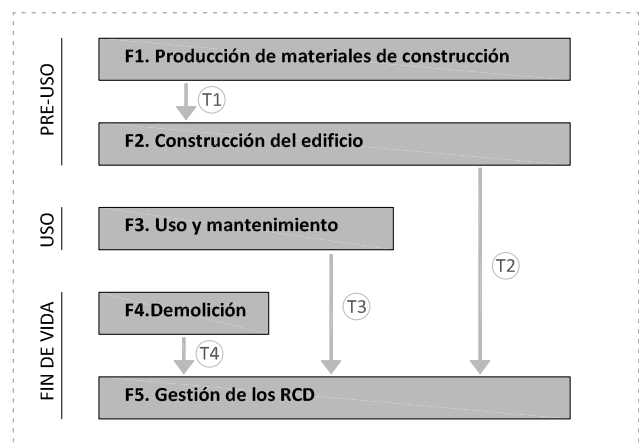


Figura 2.18. Fases en el ciclo de vida de un edificio. Fuente: [84].

Desde 1990, el ACV ha sido muy utilizado en estudios sobre la gestión de RSU, desarrollándose múltiples modelos de evaluación, existiendo solo en Europa casi 50 distintos (p.ej., *EASEWASTE*, *IWM2*, *LCA-IWM*, *WISARD*, etc.) [105]. En España, recientemente se ha desarrollado el programa *SIMUR* [106]. Sin embargo, otros flujos de residuos no han sido tan investigados y desarrollados, como ocurre con los RCD [57].

A continuación, se seleccionan una serie de estudios que aplican el ACV a la gestión de los RCD y se analizan algunos aspectos significativos. Los estudios seleccionados son: Craighill & Powell,1999 [71] (Estudio 1); Balázs et al.,2001 [72] (Estudio 2); Grant & James,2005 [78] (Estudio 3); Rivela et al.,2006 [80] (Estudio 4); Levis,2008 [82] (Estudio 5); Pasqualino et al.,2008 [84] (Estudio 6); Blengini,2009 [89] (Estudio 7); DECCW,2010 [91] (Estudio 8); Ortiz et al., 2010 [93] (Estudio 9); Blengini & Garbarino,2010 [94] (Estudio 10); Álvarez,2010 [108] (Estudio 11); Mercante et al.,2012 [57] (Estudio 12). Otros estudios considerados referentes, pero que no se han incluido en este análisis por utilizar opciones metodológicas alternativas, son Coelho & de Brito,2012 [98] o Dewulf et al.,2009 [88].

2.3.2.1. Aplicación de los resultados. Escenarios analizados

En el contexto de la gestión de residuos, las aplicaciones más habituales del ACV son la comparación entre opciones de gestión alternativas, la cuantificación de beneficios ambientales de una determinada estrategia de gestión, o la identificación de los principales indicadores de desempeño ambiental para su inclusión en guías de gestión de residuos, etiquetado ecológico o criterios de diseño [109].

En los estudios analizados las aplicaciones son: comparación entre opciones de demolición, comparación entre opciones de gestión de los RCD y cuantificación del beneficio ambiental del reciclaje. Para ello, cada estudio establece escenarios, según diversas opciones de demolición y de gestión de los RCD (Tabla 2.11). La mayoría de ellos contempla el reciclaje, en muchos casos comparándolo con la eliminación o la incineración; solo uno considera la reutilización, asociada a la demolición; y ninguno considera la prevención.

2.3.2.2. Unidad funcional

La unidad funcional es la función o servicio que ofrece el sistema, caracterizada en términos cualitativos, cuantitativos y temporales. Para que distintos ACV puedan ser comparados, además de consideraciones metodológicas equivalentes, es necesario que utilicen la misma unidad funcional [103].

La Tabla 2.12 clasifica las unidades funcionales de los estudios según se basen en: 1 tonelada de RCD (de cada fracción separada o de RCD mixto), los RCD totales generados en la obra, la superficie construida del edificio o sistema constructivo, y otros, como la cantidad de productos evitados debida a la gestión del RCD. También se indica la procedencia del RCD analizado: de obra de nueva planta, de demolición o de planta de tratamiento de RCD. No se indican otros parámetros más específicos, como los relativos al tiempo, el tipo de gestión del RCD, etc.

2.3.2.3. Límites del sistema

En el ciclo de vida de un edificio se pueden distinguir cinco fases (Fig. 2.18): la fase F1 incluye todos los procesos necesarios para la producción de los materiales de construcción, desde la extracción de materias primas; la fase F2 incluye todos los procesos que intervienen en la construcción del edificio; la fase F3 incluye todos los procesos que se desarrollan durante la vida útil del edificio, desde las actividades de los usuarios, hasta operaciones de reparación y mantenimiento; la fase F4 incluye los procesos llevados a cabo durante la demolición del edificio; y la fase F5, los relativos al tratamiento de los RCD que se generan.

Estas fases se pueden agrupar en etapas: pre-uso (fases 1 y 2), uso (fase 3) y fin de vida del edificio (fases 4 y 5). Los RCD se generan en la fase F2 (ejecución), en la fase F3 (operaciones de reparación, mantenimiento y rehabilitación) y en la fase F4 (demolición). El transporte de materiales o RCD también se considera: T1 es el transporte de los materiales de construcción desde el punto de producción a la obra; T2, T3, o T4 es el transporte de los RCD que se generan en cada fase a la correspondiente instalación de gestión.

La Tabla 2.13 muestra los límites del sistema que aplica cada estudio: algunos realizan un ACV de todo el edificio, evaluando todas las fases; otros consideran solo la etapa de fin de vida del edificio, es decir, las fases F4 y F5, y T4; y otros, se centran en la gestión de los RCD que se generan, ya sea en la fase F2, F3 o F4.

2.3.2.4. Composición de los RCD

La composición del residuo es la “piedra angular” de un ACV de residuos sólidos, ya que según las propiedades físicas y químicas de las fracciones que lo componen, pueden intervenir en la gestión unos procesos u otros [105]. En el caso de los RCD, determinar la composición es uno de los problemas actuales [45], dependiendo de las características de cada obra.

La Tabla 2.14 muestra el tipo de composición utilizada en cada estudio, clasificadas como: (a) composición real de los RCD generados en un caso de estudio específico, (b) composición genérica según datos de otros estudios o de plantas de tratamiento y (c) fracciones separadas de forma independiente.

2.3.2.5. Inventario del ciclo de vida

El ICV puede ser la fase más laboriosa y que más tiempo necesite, debido al gran

		Est.1	Est.2	Est.3	Est.4	Est.5	Est.6	Est.7	Est.8	Est.9	Est.10	Est.11	Est.12
(F4) Tipos de demolición	No selectiva												
	Selectiva												
(F5) Opciones de gestión	Prevención												
	Reutilización												
	Reciclaje												
	Incineración												
	Eliminación												

Tabla 2.11. Escenarios de demolición y de gestión de RCD contemplados en los estudios seleccionados. Fuente: elaboración propia a partir de los estudios.

	Est.1	Est.2	Est.3	Est.4	Est.5	Est.6	Est.7	Est.8	Est.9	Est.10	Est.11	Est.12
1 tonelada de cada fracción (t)												
1 tonelada de RCD mixto (t)					(P)					(P)		(P)
RCD totales generados (1)(2)		(D)(1)							(C)(2)		(P)(1)	
Sup. de edificio o sistema (m ²)						(C)	(D)					
Otros				(D)								

(D) En obra de demolición (1) Cantidad en toneladas
 (C) En obra de nueva construcción (2) Cantidad en kg/m²
 (P) Según datos de planta de tratamiento de RCD

Tabla 2.12. Unidad funcional utilizada en los estudios seleccionados. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de los estudios.

	Est.1	Est.2	Est.3	Est.4	Est.5	Est.6	Est.7	Est.8	Est.9	Est.10	Est.11	Est.12
F1. Producción materiales												
T1. Transporte 1												
F2. Construcción del edificio												
T2. Transporte 2			*		*			*		*		*
F3. Uso y mantenimiento												
T3. Transporte 3			*		*			*		*		*
F4. Demolición.												
T4. Transporte 4			*		*			*		*		*
F5. Gestión de RCD			*		*			*		*		*

* No diferencian entre construcción, reparación o demolición del edificio.

Tabla 2.13. Fases contempladas en los estudios seleccionados. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de los estudios.

	Est.1	Est.2	Est.3	Est.4	Est.5	Est.6	Est.7	Est.8	Est.9	Est.10	Est.11	Est.12
Composición específica												
Composición genérica												
Análisis por fracciones												

Tabla 2.14. Tipo de composición y fracciones evaluadas en los estudios seleccionados. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de los estudios.

	Est.1	Est.2	Est.3	Est.4	Est.5	Est.6	Est.7	Est.8	Est.9	Est.10	Est.11	Est.12
Datos específicos												
Datos oficiales nacionales												
Bases de datos públicas												
Otros datos: literatura												

Tabla 2.15. Naturaleza de las fuentes de datos utilizadas en los estudios seleccionados. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de los estudios.

número de procesos a recopilar y a la falta de disponibilidad de datos. Para facilitar su realización, en las últimas décadas se han elaborado diversas bases de datos [104], aunque sobre RCD aún existe poco desarrollo [57], [109].

La calidad de los datos repercute en la fiabilidad de los resultados, estando determinada por factores como cronología, geografía, tecnología, etc. Para una correcta interpretación de los resultados, la calidad de los datos debe quedar claramente reflejada. A su vez, las fuentes empleadas repercuten en la calidad de los datos, pero ante la dificultad de la recopilación, se recomienda el uso de datos específicos para los procesos de primer plano y datos genéricos para los procesos de segundo plano. Por procesos de primer plano se entienden aquellos que se operan en las instalaciones del productor o aquellos en los que solo están involucrados uno o pocos operadores; y por procesos de segundo plano, aquellos que pueden ser representados por una media homogénea del mercado [109].

La Tabla 2.15 muestra los tipos de fuentes de datos utilizados en los estudios, distinguiendo entre: (a) datos específicos, obtenidos de empresas involucradas; (b) datos oficiales declarados por las empresas a los gobiernos, como es el perfil eléctrico del país; (c) bases de datos públicas, entre las que cabe destacar *EcolInvent* (Estudios 4, 6, 9, 10 y 12), *IVAM* (Estudio 2), *Idemat* o *ETH-ESU 96* (Estudio 7); (d) otros estudios.

2.3.2.6. Evaluación de impacto del ciclo de vida

En la fase de EICV, las entradas y salidas recopiladas en el inventario se asocian a indicadores y categorías de impacto mediante modelos de evaluación de impacto. Para realizar la evaluación, existen una serie de elementos obligatorios (selección de categorías, indicadores y método; clasificación y caracterización) y elementos opcionales (normalización, agrupación y ponderación) [103]. Por lo general, se seleccionarán categorías de impacto, indicadores de categorías y modelos de caracterización existentes, salvo que estos no sean suficientes para cumplir con el objetivo y el alcance definidos [102], [103].

	Est.1	Est.2	Est.3	Est.4	Est.5	Est.6	Est.7	Est.8	Est.9	Est.10	Est.11	Est.12
CML (Midpoint)												
E'99 (Endpoint)												
Impact 2002 (Mp./Ep.)												
Otros												

Tabla 2.16. Métodos de EICV utilizados por los estudios seleccionados. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de los estudios.

Categoría de impacto	Unidad del indicador de categoría
Agotamiento de recursos abióticos	kg Sb-eq.
Cambio climático	kg CO ₂ -eq.
Agotamiento del ozono estratosférico	kg CFC-11-eq.
Toxicidad humana	kg 1,4-DCB-eq.
Ecotoxicidad en agua dulce	kg 1,4-DCB-eq.
Ecotoxicidad en el medio marino	kg 1,4-DCB-eq.
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB-eq.
Oxidación fotoquímica	kg C ₂ H ₂ -eq.
Acidificación	kg SO ₂ -eq.
Eutrofización	kg PO ₄ ³⁻ -eq.

Tabla 2.17: Categorías de impacto del método CML 2 Baseline 2000. Fuente: [112]

Las categorías de impacto representan asuntos ambientales y de la salud de interés y, a su vez, están representadas por los indicadores de categoría. La selección de las categorías de impacto debe ser coherente con el objetivo y alcance del estudio, y abarcar los principales problemas ambientales relacionados con el sistema. Por otro lado, existen numerosos métodos de EICV ya establecidos (p. ej. *CML 2*, *ReCiPe*, *EDIP 2003*, etc.); como ejemplo, las categorías de impacto que utiliza el método CML 2 Baseline 2000 se resumen en la Tabla 2.17. Entre estos métodos se distinguen los que se desarrollan a nivel de punto central (*midpoint*) y a nivel de punto final (*endpoint*), cada uno de los cuales tiene sus ventajas e inconvenientes: por ejemplo los resultados que se obtienen mediante los métodos de nivel *midpoint* son más fiables, pero también más complejos de interpretar; por lo que una posibilidad es ofrecer resultados según ambos niveles [111].

Los estudios analizados, utilizan distintos métodos (Tabla 2.16). Tampoco hay consenso respecto a las categorías de impacto: todos evalúan calentamiento global; la mayoría también acidificación y eutrofización, así como cuestiones energéticas; y en menor grado también oxidación fotoquímica y agotamiento del ozono. En cuanto a la elección de otros aspectos ambientales no se observa un criterio común.

2.3.2.7. Resultados

Para una comparación equitativa y justa entre los resultados de distintos estudios, no solo es necesario que todos se refieran a la misma unidad funcional, sino que también deben coincidir en otras cuestiones metodológicas como los límites del sistema, la calidad de los datos, la metodología EICV, etc. Entre los estudios analizados no se dan estos requisitos, por lo que no se pueden comparar de modo justo.

A continuación se resumen los resultados obtenidos en cada estudio, agrupándolos según el objeto del análisis sea: (a) una determinada fracción de RCD, (b) la cantidad total de los RCD que se generan en una obra o (c) un edificio o elemento constructivo.

- (a) Estudios que analizan una determinada fracción de RCD:

Estudio 1: Compara la gestión de la fracción inerte según diversos escenarios (considerando reciclaje *in situ*, reciclaje en planta y eliminación), obteniendo que en general el escenario 100% eliminado en vertedero es el más desfavorable y el escenario 100% reciclado *in situ* es el más favorable. Por otro lado, el transporte penaliza algunos escenarios en teoría más beneficiosos que otros, p.ej. cuando una parte de los RCD es reciclada en planta de tratamiento y otra es eliminada en vertedero resulta más desfavorable para algunos indicadores que cuando el 100% es eliminado en vertedero.

Estudio 3: Analiza los beneficios del reciclaje de 1 tonelada de distintas fracciones de RCD, resultando entre los más beneficiosos de reciclar los metales, el papel, y para algunos indicadores, el hormigón.

Estudio 4: Compara dos escenarios de fin de vida para los tableros aglomerados utilizados en la arquitectura efímera: reciclaje de los residuos de madera y energía generada a través de recursos no renovables versus energía obtenida de la combustión de los residuos de madera y recursos de madera primaria. El escenario más favorable depende del indicador analizado, aunque desde el punto de vista ambiental el reciclaje de la madera parece ser el más favorable. Por otro lado, propone una optimización del transporte mediante la reducción del volumen de los RCD por trituración *in situ*, para así reducir el consumo de diesel y por consiguiente las cargas ambientales asociadas.

Estudio 5: Compara el reciclaje y la eliminación en vertedero de 1 tonelada de RCD mixto con una determinada composición, obteniendo que en el escenario de reciclaje los impactos ambientales se reducen para todos los indicadores analizados en comparación con el de eliminación. En el escenario de reciclaje, todas las fracciones que componen el RCD mixto son recicladas, excepto la madera que es incinerada.

Estudio 8: Analiza los beneficios del reciclaje de distintas fracciones de RCD, obteniendo que el reciclaje, por lo general, resulta siempre beneficioso. El único indicador que presenta cargas es el consumo de agua para las fracciones de acero, cartón yeso, embalajes de madera y plásticos. Los metales son las fracciones más beneficiosas de reciclar, debido a los altos impactos asociados a la producción primaria, en particular del aluminio, seguidos de plásticos, papel y cartón, orgánicos y vidrio. En el caso de los plásticos, el consumo de agua puede resultar negativo debido a los procesos de preparación necesarios para el

reciclaje. En cuanto al reciclaje de las fracciones inertes, produce menos beneficios por tonelada que el de otros RCD pero, por ser de los que más cantidad se genera en las obras, su importancia aumenta al considerar la cantidad total.

Estudio 9: Compara tres escenarios de gestión (eliminación, incineración y reciclaje) para distintas fracciones, concluyendo que para el indicador GWP, el reciclaje de la mayoría de las fracciones es beneficioso ambientalmente o produce impactos menores que la eliminación. Otras opciones de gestión beneficiosas son la incineración de RCD peligrosos, madera, papel y cartón, debido a la energía que se recupera. Entre las opciones que producen mayores impactos adversos, se encuentran la eliminación de papel y cartón, y la incineración de plásticos, bituminosos y aislantes. Respecto a otros indicadores, la eliminación de embalajes debería ser evitada por los impactos que producen; la eliminación de metales y plásticos influyen negativamente en los indicadores de toxicidad; y la eliminación de inertes es perjudicial por el gran volumen que ocupan. Respecto a la incineración, algunos indicadores resultan positivos y otros negativos, debiéndose considerar otros factores como la importancia de cada categoría de impacto o los aspectos económicos y sociales. Por otro lado, para el indicador GWP, estudia la relevancia de la distancia de las plantas de tratamiento, concluyendo que no influye en la elección de la opción de gestión para la mayoría de las fracciones, excepto para maderas y pétreos en los que el reciclaje solo es la opción óptima si esta distancia es pequeña.

Estudio 10: Analiza los beneficios del reciclaje de 1 tonelada de RCD mixto con una determinada composición, teniendo en cuenta los impactos que se evitan al no ser eliminada en vertedero. De 14 indicadores analizados, 13 muestran beneficios del reciclaje frente a la eliminación, siendo el indicador de toxicidad humana el único para el que los impactos evitados son menores que los generados, debido al reciclaje de acero mediante arco eléctrico. Por otro lado, analiza la influencia del transporte en relación a los impactos que se evitan al emplear áridos reciclados en lugar de áridos naturales, estimando que los áridos reciclados se podrían transportar a una distancia doble o triple para igualar los impactos evitados.

Estudio 12: Compara el proceso de reciclaje de 1 tonelada de RCD mixto con una determinada composición según dos tipos de plantas de tratamiento. Del análisis de la gestión de cada una de las fracciones presentes en el RCD mixto concluye que el reciclaje no es siempre beneficioso, pudiendo ser preferibles otras alternativas como la incineración o la eliminación en vertedero con captura de metano en el caso de maderas y cartón. Por otro lado, para la opción de reciclaje, la etapa de transporte es la que mayores impactos ambientales produce. En cuanto a mejoras en la gestión, propone reducir los impactos asociados a la separación en fracciones que se lleva a cabo en las plantas de tratamiento de RCD, adoptando la separación selectiva en obra.

- (b) Estudios que evalúan los impactos de la gestión de la cantidad total de los RCD generados en una obra:

Estudio 2: Compara para un edificio dos escenarios distintos de fin de vida: mediante demolición tradicional y mediante demolición selectiva con posterior valorización de los RCD generados. Concluyen que la demolición selectiva es más ventajosa, resaltando la importancia de la reutilización de elementos constructivos con alta demanda de energía en su producción, como son para el caso de estudio los ladrillos cerámicos.

Estudio 9: Compara tres escenarios de gestión de los RCD que se generan durante la construcción y/o reparación de un edificio: eliminación en vertedero, incineración y reciclaje. Para el indicador GWP, el mejor escenario es el de reciclaje, seguido de la incineración y por último el reciclaje. Esto ocurre incluso

cuando se recorren grandes distancias para el transporte hasta las plantas de tratamiento, excepto para la fracción pétreo que debería ser reciclada cerca de la obra.

- (c) *Estudios que en los que la evaluación de un edificio o elemento constructivo analizan los impactos asociados a la gestión de los RCD:*

Estudio 6: Compara diversos cerramientos, según tres escenarios de gestión para los RCD que se generan en la ejecución (eliminación, incineración y reciclaje). De los impactos totales de la ejecución de los cerramientos, los impactos asociados a los RCD representan menos del 2%, pero la cantidad de los residuos generados es elevada en comparación con la de otros residuos sólidos urbanos. La incineración y la eliminación en vertedero de los RCD presentan resultados similares, siendo el reciclaje la mejor opción medioambiental debido a la recuperación de materiales.

Estudio 7: Realiza un ACV de un edificio completo que es demolido mediante explosivos con posterior reducción de tamaño de los escombros y separación in situ, comparando dos escenarios de fin de vida: reciclaje y eliminación. Los resultados reflejan que los beneficios de la etapa de fin de vida son bastante pequeños (0.2-2.6%) en comparación con el resto del ciclo de vida del edificio, pero la importancia relativa aumenta si se compara con la etapa de pre-uso; y que para todos los indicadores analizados, el escenario de eliminación produce más impactos que el de reciclaje. En cuanto a la gestión de las distintas fracciones, desde el punto de vista energético, aunque el reciclaje de áridos consume menos que el reciclaje de acero, los beneficios del reciclaje de acero son mayores, siendo la energía recuperada del 50% para el acero y del 19% para los áridos; en cuanto a las emisiones de gases de efecto invernadero, disminuyen un 54% para el acero y un 10% para los áridos; y si se analiza mediante *Eco-Indicator 99*, las reducciones son del 62% y del 21% respectivamente.

2.4. REFERENCIAS

- [1] United Nations, Department of Economic and Social Affairs. World Population Prospects, the 2010 Revision. Available at: <<http://esa.un.org/>> . Accessed 12/04, 2013.
- [2] ISO (International Organization for Standardization). ISO/TS 21929-1:2006 Sustainability in building construction -- Sustainability indicators -- Part 1: Framework for development of indicators for buildings. 2006.
- [3] Gobierno de España, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Informe de Sostenibilidad Ambiental del Plan Nacional Integrado de Residuos para el período 2008-2015. 2007
- [4] Meadows D, Randers J, Meadows D, Behrens W. The Limits to growth; a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind. New York: Universe Books; 1972.
- [5] World Commission On Environment and Development. Our Common Future. 1987.
- [6] Parlamento Europeo. Directiva 75/442/CEE, de 15 de Julio de 1975, relativa a los residuos. 1975; Diario Oficial nº L 194 de 25/07/1975 p. 0039 - 0041.
- [7] Unión Europea. Quinto programa comunitario de actuación en materia de medio ambiente: hacia un desarrollo sostenible. 1992-2000. 2000; Available at: <<http://europa.eu/>> .
- [8] Symonds. Construction and demolition waste management practices, and their economic impacts. 1999; Report to DGXI, Final Report.
- [9] Unión Europea. Sexto programa de acción de la Comunidad Europea en materia de medio ambiente: Medio ambiente 2010, el futuro está en nuestras manos. 2001-2012. 2012; Available at: <<http://europa.eu/>>.
- [10] Parlamento Europeo. Directiva 2008/98/CE de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. 2008; Diario Oficial de la Unión Europea L312, 0003-0030.
- [11] European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Roadmap to a Resource Efficient Europe. COM(2011) 571 final 2011.
- [12] Gobierno de España. Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. 1998; BOE 096, 22 abril 1998.
- [13] Gobierno de España, Ministerio de Medio Ambiente. Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición 2001-2006. 2001; BOE 166, 12 julio 2001.
- [14] Gobierno de España, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Plan Nacional Integrado de Residuos para el período 2008-2015. 2009; BOE 049, 26 de febrero de 2009.
- [15] Gobierno de España, Ministerio de la Presidencia. Real Decreto 105/2008, por el que se regula la producción y gestión de los RCD. 2008; BOE 038, 13 febrero 2008.
- [16] Gobierno de España, Ministerio de Medio Ambiente. Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. 2002; BOE 043, 19 febrero 2002.
- [17] Moran del Pozo JM, Juan Valdes A, Aguado PJ, Guerra MI, Medina C. State of the art on construction and demolition wastes management: limitations. Informes De La Construcción 2011 JAN-MAR;63(521):89-95.
- [18] Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Decreto 73/2012, de 20 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de Residuos de Andalucía. 2012.
- [19] Poon CS. Management of construction and demolition waste. Waste Manage 2007;27(2):159-160.
- [20] Trankler J, Walker I, Dohmann M. Environmental impact of demolition waste - An overview on 10

years of research and experience. *Waste Manage* 1996;16(1-3):21-26.

- [21] U.S. Environmental Protection Agency. Office of Resource Conservation and Recovery. Estimating 2003 Building-Related Construction and Demolition Materials Amounts. 2009;EPA530-R-09-002.
- [22] U.S. Environmental Protection Agency. Office of Solid Waste. Characterization of Building-Related Construction and Demolition Debris in the United States. 1998;EPA530-R-98-010.
- [23] European Commission. Eurostat. Statistics Database. Available at: <<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/>> , 2013.
- [24] Tojo N, Fischer C. Europe as a Recycling Society. European Recycling Policies in relation to the actual recycling achieved. 2011;ETC/SCP working paper 2/2011.
- [25] Bio I.S. Service Contract of Management of Construction and Demolition Waste – SR1. 2011 February 2011.
- [26] Yuan H. A model for evaluating the social performance of construction waste management. *Waste Manage* 2012 JUN;32(6):1218-1228.
- [27] Lu W, Yuan H. Exploring critical success factors for waste management in construction projects of China. *Resour Conserv Recycling* 2010 12;55(2):201-208.
- [28] Ekanayake LL, Ofori G. Building waste assessment score: design-based tool. *Build Environ* 2004 7;39(7):851-861.
- [29] Manowong E. Investigating factors influencing construction waste management efforts in developing countries: an experience from Thailand. *Waste Manage Res* 2012 JAN;30(1):56-71.
- [30] Rogers S. Battling construction waste and winning: lessons from UAE. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering* 2011 FEB;164(1):41-48.
- [31] Todorova V. Construction waste piles even higher. *The National Newspaper*, 13 April 2009.
- [32] Saghafi MD, Teshnizi ZAH. Building deconstruction and material recovery in Iran: An analysis of major determinants. 2011 International Conference on Green Buildings and Sustainable Cities 2011;21:853-863.
- [33] Al-Sari MI, Al-Khatib IA, Avraamides M, Fatta-Kassinou D. A study on the attitudes and behavioural influence of construction waste management in occupied Palestinian territory. *Waste Manage Res* 2012 FEB;30(2):122-136.
- [34] Dias de Oliveira ME, de Moraes Sales RJ, Sindeaux de Oliveira LA, Bezerra Cabral AE. Generation and composition diagnosis of C&D waste of Fortaleza/CE. *Engenharia Sanitaria E Ambiental* 2011 JUL-SEP;16(3):219-224.
- [35] Nunes KRA, Mahler CF, Valle R, Neves C. Evaluation of investments in recycling centres for construction and demolition wastes in Brazilian municipalities. *Waste Manage* 2007;27(11):1531-1540.
- [36] Altuncu D, Kasapseçkin MA. Management and recycling of constructional solid waste in Turkey. *Procedia Engineering* 2011;21(0):1072-1077.
- [37] ITEC. Euroconstruct. Available at: <<http://www.itec.es/>> . Accessed 03/04, 2014.
- [38] Gobierno de España, Ministerio de Fomento. Construcción de edificios 2007-2011. Datos recogidos de las licencias de obra concedidas por los ayuntamientos. 2012.
- [39] European Commission. Communication from the Commission to the Council and to Parliament. A Community strategy for waste management. SEC (89) 934 final, 18 September 1989. 1989.
- [40] European Commission. Communication from the Commission on the review of the Community strategy for waste management. Draft Council Resolution on waste policy. COM (96) 399 final, 30 July 1996. 1996.

- [41] Yeheyis M, Hewage K, Alam MS, Eskicioglu C, Sadiq R. An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability. *Clean Technologies and Environmental Policy* 2013 02/01;15(1):81-91.
- [42] Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya - ITeC. Manual de minimización y gestión de residuos en las obras de construcción y demolición. 2000.
- [43] Llatas Oliver C. Residuos generados en la construcción de viviendas: propuestas y evaluación de procedimientos y prescripciones para su minimización. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla, Departamento de Construcciones Arquitectónicas I; 2000.
- [44] Osmani M, Glass J, Price ADF. Architects' perspectives on construction waste reduction by design. *Waste Manage* 2008;28(7):1147-1158.
- [45] Llatas C. A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list. *Waste Manage* 2011 6;31(6):1261-1276.
- [46] Generalitat de Catalunya. Agència de Residus de Catalunya. Modelo catalán de residuos de la construcción. Available at: <http://www20.gencat.cat/> , 2013.
- [47] Gobierno de Cantabria. Consejería de Medio Ambiente. Guía de divulgación para la gestión de los residuos de construcción y demolición en Cantabria. 2010.
- [48] Diputación de Sevilla. Ordenanza Marco de Residuos de la Construcción y Demolición de la Mancomunidad de los Alcores; BOP 272, 24 noviembre 2003.
- [49] Llatas, C., Chapter 3. Methods for estimating construction and demolition (C&D) waste. *Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste*, Elsevier, 2013.
- [50] Gobierno de España, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Borrador del Plan Nacional Integrado de Residuos 2007-2015. 2006.
- [51] Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya - ITeC. Situación actual y perspectivas de futuro de los residuos de construcción. 2000.
- [52] Huete, R., Llatas, C. Estrategias para Minimizar los Residuos desde el Proyecto de Construcción. Ponencia en Congreso. Jornadas de Aplicaciones Arquitectónicas de Materiales. Madrid, España. 2005. *Jornadas de Aplicaciones Arquitectónicas de Materiales* (6). 31. 40
- [53] IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental. Guía metodológica para la elaboración de proyectos de demolición selectiva en la Comunidad Autónoma del País Vasco. 2004
- [54] Equipo de Investigación ECO-ARQ. Dpto. Construcciones Arquitectónicas I ETSA de Sevilla. Menos Residuos de Construcción y Demolición es igual a más Ecoeficiencia. Herramienta de Ayuda a la Reducción de Residuos en el Diseño y Construcción de Viviendas en Andalucía. Junta de Andalucía; Consejería de Fomento y Vivienda. 2012. Available at: <http://www.juntadeandalucia.es/fomentoyvivienda> .
- [55] Comunidad de Madrid. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Plan Regional de Residuos de Construcción y Demolición (2006-2016). 2006.
- [56] Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca. Decreto 112/2012, de 26 de junio, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. *Boletín Oficial del País Vasco* 2012; 3 de septiembre de 2012;171.
- [57] Mercante IT, Bovea MD, Ibanez-Fores V, Arena AP. Life cycle assessment of construction and demolition waste management systems: a Spanish case study. *International Journal of Life Cycle Assessment* 2012 FEB;17(2):232-241.
- [58] CEDEX. Catálogo de residuos. 2011; Available at: <http://cedexmateriales.vsf.es/view/catalogo.aspx>

. Accessed 22/04, 2013.

- [59] IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental. Monografía sobre residuos de construcción y demolición. 2004.
- [60] Marlet C. Ponencia: The European Gypsum Industry and Gypsum Waste Recycling. 17 enero 2013.
- [61] Eurogypsum. Waste Policy Paper: Building Value For Society. 2007.
- [62] Ness B, Urbel-Piirsalu E, Anderberg S, Olsson L. Categorising tools for sustainability assessment. *Ecol Econ* 2007 1/15;60(3):498-508.
- [63] IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental. Green Building Rating Systems: ¿Cómo evaluar la sostenibilidad en la edificación? 2010.
- [64] García Martínez A. Tesis doctoral: Life Cycle Assessment of Buildings. Methodological proposal for the development of Environmental Declarations of Dwellings in Andalusia. 2010.
- [65] Lu W, Yuan H. A framework for understanding waste management studies in construction. *Waste Manag* 2011 Jun;31(6):1252-1260.
- [66] BRE. SMARTWaste. True Cost of Waste Calculator. Available at: <<http://smartwaste.co.uk/>> , 2013.
- [67] WRAP. Construction products, materials and waste. Available at: <<http://wrap.org.uk/>> , 2013.
- [68] Baniyas G, Achillas C, Vlachokostas C, Moussiopoulos N, Papaioannou I. A web-based Decision Support System for the optimal management of construction and demolition waste. *Waste Manage* 2011 12;31(12):2497-2502.
- [69] DEWAM project. Herramienta DeconRCM. 2009; Available at: <<http://pandora.meng.auth.gr/>> , 2013.
- [70] Johnston H, Mincks WR. Cost Effective Waste Minimization for the Construction Manager. *Transactions of AACE International* 1993:pg. O.2.1.
- [71] Craighill A, Powell J. A Lifecycle Assessment and Evaluation of Construction and Demolition Waste. Centre for Social and Economic Research on the Global Environment, CSERGE Working Paper WM 99-03, University of East Anglia, UK 1999.
- [72] Balazs S, Antonini E, Tarantitni M. Application of Life Cycle Assessment (LCA) methodology for valorization of building demolition materials and products. *SPIE – the International Society for Optical Engineering* 2001;4193:382-390.
- [73] Chung S, Lo CWH. Evaluating sustainability in waste management: the case of construction and demolition, chemical and clinical wastes in Hong Kong. *Resour Conserv Recycling* 2003 1;37(2):119-145.
- [74] Klang A, Vikman PA, Brattebo H. Sustainable management of demolition waste - an integrated model for the evaluation of environmental, economic and social aspects. *Resources Conservation and Recycling* 2003 JUL;38(4):317-334.
- [75] Wang JY, Touran A, Christoforou C, Fadlalla H. A systems analysis tool for construction and demolition wastes management. *Waste Manage* 2004;24(10):989-997.
- [76] Dantata N, Touran A, Wang J. An analysis of cost and duration for deconstruction and demolition of residential buildings in Massachusetts. *Resources Conservation and Recycling* 2005 APR;44(1):1-15.
- [77] Stenis J. Construction waste management based on industrial management models: a Swedish case study. *Waste Manage Res* 2005 FEB;23(1):13-19.
- [78] Grant T, James KL,. Life Cycle Impact Data for resource recovery from C&I and C&D waste in Victoria final report. Melbourne, Victoria, Centre for Design at RMIT university 2005.
- [79] Begum RA, Siwar C, Pereira JJ, Jaafar AH. A benefit–cost analysis on the economic feasibility of

construction waste minimisation: The case of Malaysia. *Resour Conserv Recycling* 2006 7;48(1):86-98.

[80] Rivela B, Hospido A, Moreira T, Feijoo G. Life Cycle Inventory of Particleboard: A Case Study in the Wood Sector. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 2006;11(2):106-113.

[81] Hao JL, Hills MJ, Huang T. A simulation model using system dynamic method for construction and demolition waste management in Hong Kong. *Construction Innovation: Information, Process, Management* 2007;Vol. 7(Iss: 1):7-21.

[82] Levis JW. A Life-Cycle Analysis of Alternatives for the Management of Waste Hot-Mix Asphalt, Commercial Food Waste, and Construction and Demolition Waste. 2008.

[83] Fukino M, Kato Y, Seino S, Ishiko S. Transportation Cost and Crush Processing Cost of Construction Waste Wood. *Mokuzai Gakkaishi* 2008;54(6):352-357.

[84] Pasqualino JC, Ortiz O, Castells F. Life Cycle Assessment as a tool for material selection and waste management within the building sector. *Proceedings of the PLEA 2008–25th Conference on Passive and Low Energy Architecture*,; 22–24 October; Dublin, Ireland.: PLEA Dublin 2008; 2008.

[85] da Rocha CG, Sattler MA. A discussion on the reuse of building components in Brazil: An analysis of major social, economical and legal factors. *Resour Conserv Recycling* 2009 12;54(2):104-112.

[86] Roussat N, Mehu J, Dujet C. Indicators to assess the recovery of natural resources contained in demolition waste. *Waste Manage Res* 2009 MAR;27(2):159-166.

[87] Roussat N, Dujet C, Mehu J. Choosing a sustainable demolition waste management strategy using multicriteria decision analysis. *Waste Manage* 2009 JAN 2009;29(1):12-20.

[88] Dewulf J, Van der Vorst G, Versele N, Janssens A, Van Langenhove H. Quantification of the impact of the end-of-life scenario on the overall resource consumption for a dwelling house. *Resour Conserv Recycling* 2009 2;53(4):231-236.

[89] Blengini GA. Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy. *Build Environ* 2009 FEB 2009;44(2):319-330.

[90] Chong WK, Hermreck C. Understanding transportation energy and technical metabolism of construction waste recycling. *Resources Conservation and Recycling* 2010 JUL;54(9):579-590.

[91] DECCW (Department of Environment, Climate Change and Water NSW). Environmental benefits of recycling. 2010.

[92] La Marca F. Optimization of C&D waste management by the application of Life Cycle Assessment (LCA) methodology: the case of the Municipality of Rome, Italy. *Sustainable City Vi: Urban Regeneration and Sustainability* 2010 2010;129:497-508.

[93] Ortiz O, Pasqualino JC, Castells F. Environmental performance of construction waste: Comparing three scenarios from a case study in Catalonia, Spain. *Waste Manage* 2010 APR;30(4):646-654.

[94] Blengini GA, Garbarino E. Resources and waste management in Turin (Italy): the role of recycled aggregates in the sustainable supply mix. *J Clean Prod* 2010 JUL 2010;18(10-11):1021-1030.

[95] Yuan F, Shen L, Li Q. Emergy analysis of the recycling options for construction and demolition waste. *Waste Manage* 2011 12;31(12):2503-2511.

[96] Yuan HP, Shen LY, Hao JLL, Lu WS. A model for cost-benefit analysis of construction and demolition waste management throughout the waste chain. *Resources Conservation and Recycling* 2011 APR;55(6):604-612.

[97] Coelho A, de Brito J. Economic analysis of conventional versus selective demolition—A case study. *Resour Conserv Recycling* 2011 1;55(3):382-392.

- [98] Coelho A, de Brito J. Influence of construction and demolition waste management on the environmental impact of buildings. *Waste Manage* 2012 MAR;32(3):532-541.
- [99] Ye G, Yuan H, Shen L, Wang H. Simulating effects of management measures on the improvement of the environmental performance of construction waste management. *Resour Conserv Recycling* 2012 5;62(0):56-63.
- [100] Yuan H. A model for evaluating the social performance of construction waste management. *Waste Manage* 2012 JUN;32(6):1218-1228.
- [101] Yuan H, Chini AR, Lu Y, Shen L. A dynamic model for assessing the effects of management strategies on the reduction of construction and demolition waste. *Waste Manage* 2012 3;32(3):521-531.
- [102] ISO (International Organization for Standardization). International Standard ISO 14040: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework. Geneva, Switzerland.; 2006.
- [103] ISO (International Organization for Standardization). International Standard ISO 14044: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines. Geneva, Switzerland.; 2006.
- [104] Finnveden G, Hauschild MZ, Ekvall T, Guinee J, Heijungs R, Hellweg S, et al. Recent developments in Life Cycle Assessment. *J Environ Manage* 2009 OCT;91(1):1-21.
- [105] Gentil EC, Damgaard A, Hauschild M, Finnveden G, Eriksson O, Thorneloe S, et al. Models for waste life cycle assessment: Review of technical assumptions. *Waste Manage* 2010 DEC 2010;30(12):2636-2648.
- [106] Gobierno de España, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Prevención y gestión de residuos. El software de simulación SIMUR. 2013; Available at: <<http://magrama.gob.es/>> . Accessed 04/17, 2013.
- [107] Güeraca Hernández, L. Desarrollo de una metodología para la valoración en el análisis del ciclo de vida aplicada a la gestión integral de residuos municipales. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Projectes d'Enginyeria.
- [108] Alvarez Alves L. Análisis medio ambiental de la gestión de los residuos de la construcción y demolición (RCD^{es}). Enfoque en la perspectiva del análisis de ciclo de vida (ACV). 2010.
- [109] European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. Supporting Environmentally Sound Decisions for Waste Management – A technical guide to Life Cycle Thinking (LCT) and Life Cycle Assessment (LCA) for waste experts and LCA practitioners. <<http://eplca.jrc.ec.europa.eu/>> , 2011;2012.
- [110] Aguado A, Josa A, Ormazabal G, Estévez B., y Cardim A. Los requerimientos ambientales en la toma de decisiones sobre estructuras de hormigón. *Hormigón y Acero* 2004;4^º trimestre,(234):63-73.
- [111] Bare J, Hofstetter P, Pennington D, Haes HU. Midpoints versus endpoints: The sacrifices and benefits. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 2000 11/01;5(6):319-326.
- [112] Guinée J, Gorrée M, Heijungs R, Huppes G, Kleijn R, de Koning A, et al. Life cycle assessment-an operational guide to the ISO standards - Parts 1, 2 and 3. 2001; Available at: <http://media.leidenuniv.nl>

CAPÍTULO 3. La gestión de los RCD en obras. Descripción del caso de estudio

El objetivo de este capítulo es caracterizar los RCD que se generan en obras de nueva planta y los posibles escenarios de gestión, para lo que se seleccionan como casos de estudio ocho obras de edificios de viviendas de nueva planta.

En primer lugar, se describen las características de los edificios, que son representativos de la tipología residencial desarrollada actualmente en Andalucía.

En segundo lugar, para cada caso se caracterizan los RCD generados. Dado que los datos directos obtenidos de los constructores resultan parciales, se procede a aplicar una herramienta de cuantificación ya existente que permite estimar las cantidades en base a diversas características del edificio, como la tipología, las dimensiones o los sistemas constructivos, así como las cantidades que se obtendrían en caso de aplicar medidas de minimización. Entre las fracciones de RCD consideradas no se incluyen las tierras y los residuos peligrosos por estar excluidos del objetivo de reciclaje establecido por la Directiva Marco de Residuos. Entre los residuos peligrosos se encuentran los envases metálicos. En cuanto a los envases de madera, no se consideran residuos sino productos reutilizables, siendo muy bajo el porcentaje de estos que pasan a ser residuos, por lo que tampoco se consideran.

A continuación, se describe la gestión de los RCD que se generan en cada obra, analizándose la gestión en obra (separación en fracciones, acopio y transporte) y el tratamiento al que se destina cada fracción generada (eliminación o valorización). Dicho destino depende de si la fracción ha sido separada en obra o no: si ha sido separada, se elimina directamente o se recicla, según la obra; si no ha sido separada, forma parte del RCD mixto que se transporta a planta de tratamiento de RCD donde se separa en fracciones, que posteriormente se destinan a su correspondiente tratamiento.

Por último, dado que la viabilidad y oportunidad de una determinada opción de gestión está relacionada con las infraestructuras disponibles en la zona, se analizan las plantas de tratamiento de RCD, las instalaciones de reciclaje para cada fracción y los vertederos disponibles en el área geográfica de estudio. Se observa que las distancias medias de las obras de estudio a estas plantas de tratamiento y a los vertederos resultan: para los RCD inertes, 15 kilómetros a las plantas de tratamiento y a los vertederos; y para las fracciones de RCD no peligrosos, 10 kilómetros a las plantas de recuperación y reciclaje (aunque en algunos casos más de 200 kilómetros), y 20 kilómetros a los vertederos.

Capítulo 3. La gestión de los RCD en obras. Descripción del caso de estudio

3.1. Descripción y análisis de las obras seleccionadas	43
3.2. Cuantificación y composición de los RCD generados en las obras	45
3.3. Gestión de los RCD en las obras de estudio	47
3.3.1. Gestión en obra: separación en fracciones, acopio y transporte	
3.3.2. Destinos de las fracciones generadas en las obras	48
3.3.2.1. 17 01 Hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos	48
3.3.2.2. 17 02 01 Madera	48
3.3.2.3. 17 02 03 Plástico	48
3.3.2.4. 17 04 Metales	49
3.3.2.5. 17 08 02 Materiales de construcción a partir de yeso	49
3.3.2.6. 17 09 04 Residuos mezclados de construcción y demolición	49
3.3.2.7. 15 01 01 Envases de papel y cartón	49
3.3.2.8. 15 01 03 Envases de madera	49
3.3.2.9. 15 01 02 Envases de plástico	49
3.3.2.6. 17 09 04 Residuos mezclados de construcción y demolición	49
3.4. Descripción de las Infraestructuras de gestión disponibles en la zona	50
3.4.1. Plantas de transferencia de RCD	51
3.4.2. Plantas de tratamiento de RCD	51
3.4.3. Vertederos de residuos inertes	51
3.4.4. Vertederos de residuos no peligrosos	52
3.4.5. Plantas de recuperación y reciclaje de RCD no peligrosos	52
3.4.5.1. 17 02 01 Madera	53
3.4.5.2. 17 04 Metales	53
3.4.5.3. 17 08 02 Materiales de construcción a partir de yeso	53
3.4.5.4. 15 01 01 Envases de papel y cartón	54
3.4.5.5. 15 01 02 Envases de plástico	54
3.5. Referencias	55

3.1. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LAS OBRAS SELECCIONADAS

Se seleccionan como casos de estudio ocho obras promovidas por EMVISESA (Empresa Municipal de Vivienda, Suelo y Equipamiento de Sevilla), que previamente han sido objeto de estudio en el proyecto de investigación *-RCDs=+ECOeficiencia. Reducción de Residuos en el Diseño y Construcción de Viviendas en Andalucía* [1], llevados a cabo en el periodo 2006-2014.

Todas las obras de estudio se encuentran en Sevilla y son edificios de viviendas en altura, de protección oficial, con fecha de proyecto posterior a 2006 y construcción anterior a 2014. Las Figuras 3.1-3.9 muestran el emplazamiento, los arquitectos, la empresa constructora y otros datos de cada obra.



Figura 3.1: Situación de las obras de estudio. Fuente: Elaboración propia



Obra 1

109 Viviendas en Parcela MA 3.1, Pol. Aeropuerto, Sevilla.

Arquitectos: Fernando Carrascal Calle, José M^a Fdez. y Víctor García Trejo

Empresa constructora: VIAS

Superficie construida: 13910 m²



Obra 2

134 Viviendas en Parcela A 3.2, Pol. Aeropuerto, Sevilla.

Arquitectos: Fco. Javier Terrados Cepeda y Fernando Suárez Corchete

Empresa constructora: VIAS

Superficie construida: 17981.7 m²



Obra 3

204 Viviendas en Parcela A 2.2, Pol. Aeropuerto, Sevilla.

Arquitectos: Fco. Javier Terrados Cepeda y Fernando Suárez Corchete

Empresa constructora: Copcisa

Superficie construida: 23906.2 m²



Obra 4

147 Viviendas en Parcela A 3.4, Pol. Aeropuerto, Sevilla.

Arquitectos: Patricia Higuera Miguélez y J. Luis Jiménez Sequeiros

Empresa constructora: CYES

Superficie construida: 18592 m²



Obra 5

225 Viviendas en Parcela MC 1.2, Pol. Aeropuerto, Sevilla.

Arquitectos: Manuel López García

Empresa constructora: San José

Superficie construida: 27375.2 m²



Obra 6

245 Viviendas en Parcela en el Porvenir, Sevilla.

Arquitectos: De Lapuerta + Asensio Arquitectos Asociados

Empresa constructora: Acciona

Superficie construida: 45705.1 m²



Obra 7

103 Viviendas en Parcela P.2 del E.D. Campo de los Mártires, Sevilla.

Arquitectos: Pedro Baturone Castillo

Empresa constructora: Dragados

Superficie construida: 14112.5 m²



Obra 8

66 Viviendas en Parcela en Avda. de Andalucía, Sevilla.

Arquitectos: José Vázquez Mora y M^a Jesús Carmona Salas

Empresa constructora: Sanrocon

Superficie construida: 7618.8 m²

Figuras 3.2-3.9: Obras seleccionadas como casos de estudio. Fuente: Proyectos de ejecución de las obras

Las obras son representativas de la tipología residencial actualmente desarrollada en Andalucía. En la Tabla 3.1 se comparan las características más comunes de las edificaciones en Sevilla en 2011 con las de las obras de estudio, a partir de los datos del Ministerio de Fomento [2] y de los proyectos de cada uno de los edificios. Para cada elemento, se toman como datos de referencia los más relevantes, no incluyendo en la descripción aquellos que aparecen de forma puntual o en menor proporción.

Edificio tipo	Obra 1	Obra 2	Obra 3	Obra 4	Obra 5	Obra 6	Obra 7	Obra 8	
TIPOLOGÍA									
Edificación	Plurifam.	Plurifam.	Plurifam.	Plurifam.	Plurifam.	Plurifam.	Plurifam.	Plurifam.	
P. sobre rasante	2	5-8	7-9	6-8	7-9	5-8	9	6	
P. bajo rasante	0	1	2	1	2	1	2	4	
ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS									
Estr. vertical	H.A.	H.A.	H.A.	H.A.	H.A.	H.A.	H.A.+ metálica	H.A.	H.A.
Estr. horizontal	Unidireccional	Reticular	Reticular	Reticular	Reticular	Reticular	Reticular	Reticular	Reticular
Cubierta	Plana	Plana invertida	Plana invertida	Plana invertida	Plana invertida	Plana invertida	Plana invertida	Plana invertida	Plana invertida
Cerramientos	Revestimiento continuo	Ladrillo cara vista	Tablero fenólico	Ladrillo cara vista	Panel composite	Ladrillo cara vista, enfoscado	Panel prefabricado de hormigón	Tablero fenólico	Chapa de aluminio anodizado
Suelo	Cerámico	Terrazo y cerámico	Terrazo y cerámico	Terrazo y cerámico	Terrazo y cerámico	Terrazo y cerámico	Terrazo y cerámico	Terrazo y cerámico	Terrazo y cerámico
Carpintería	Madera	Aluminio ext., madera int.	Aluminio ext., madera int.	Aluminio ext., madera int.	Aluminio ext., madera int.	Aluminio ext., madera int.	Aluminio ext., madera int.	Aluminio ext., madera int.	Aluminio ext., madera int.
Otros elementos	Persianas, falso techo	Persianas, falso techo	Persianas, falso techo	Persianas, falso techo	Persianas, falso techo	Persianas, falso techo	Lamas, falso techo	Persianas, falso techo	Persianas, falso techo
VIVIENDA MEDIA									
Sup. útil (m²)	80	69.65	70	70	69.29	69.93	69.99	55.74	60
Nº habitaciones	4	3	3	3	3	3	3	2	2
Nº baños	2	2	2	2	2	2	2	1	1

Tabla 3.1. Comparación de las características de las obras seleccionadas con las del edificio residencial tipo en Sevilla 2011. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los proyectos de ejecución de cada obra y del Ministerio de Fomento [2].

3.2. CUANTIFICACIÓN Y COMPOSICIÓN DE LOS RCD GENERADOS EN LAS OBRAS

Para conocer la cantidad y composición de los RCD generados en las obras de estudio, se recurre en primer lugar a las empresas constructoras, pero los datos obtenidos resultan parciales (Tabla 3.2).

	Obra 1 m ³	Obra 2 m ³	Obra 3 m ³	Obra 4 m ³	Obra 5 m ³	Obra 6 m ³	Obra 7 m ³	Obra 8 m ³
170540 Tierras	15980.00	15980.00	4.00			74205.60		
170503* Tierras peligrosas						488.30		
200304 Lodos	11.50		339.00		20.00			
170101 Hormigón				8.00				
170104 RCD Mezcla inertes		191.00		122.00		1240.20		
170107 RCD Pétreo	1835.00		2874.00					
170904 RCD Mixto	590.00	6.00	472.00		3790.00		1039.36	45.00
170201 Madera pallet	30.00							
170201 Madera	55.00		36.00	50.00		1067.10		
170203 Plásticos						91.50		
170407 Chatarra	39.00		2.00			5.50		
150101 Env. papel y cartón						397.20		
150110* Envases peligrosos			5.80	0.65	11.80	89.00		
160504* Aerosoles			0.30	0.03	1.10	41.00		
200301 Basura			2734.00					
Total	18540.50	16176.00	6467.10	172.68	3822.90	77625.40	1039.36	45.00
Periodo cuantificado	08/07-05/10	09/09, 11/11- 01/12	09/09-05/11	07/11-10/11	10/08-01/10	01/10-12/11	03/11-12/11	10/11-12/11

Tabla 3.2. Cuantificación a partir de datos de las empresas constructoras. Fuente: Elaboración propia a partir de [3].

Ante la falta de datos, se procede a aplicar una herramienta de cuantificación, ECO-ARQ,2013 [1], que permite estimar las cantidades según diversas características del edificio, como la tipología, las dimensiones o los sistemas constructivos; así como las cantidades que se obtendrían en caso de aplicar medidas de minimización.

Para cada edificio se introducen en la herramienta los datos según los proyectos de ejecución. Los datos de entrada referentes a los sistemas constructivos están definidos para sistemas constructivos convencionales, seleccionándose para todas las obras losa de cimentación, estructura de hormigón armado, forjado reticular, cubierta plana invertida y baldosas de piedra artificial. En cuanto a las fachadas, en las obras 1 y 3 son de fábrica de ladrillo cerámico cara vista; en la obra 5 es de fábrica de ladrillo con revestimiento continuo; en las obras 2, 4, 7 y 8 son fachadas ventiladas con distintos paneles de acabado; y en la obra 6 es de paneles de hormigón prefabricado. Algunos de los sistemas constructivos empleados en las obras no se encuentran entre los sistemas convencionales que considera la herramienta, como ocurre con las fachadas ventiladas (2, 4, 7 y 8), los elementos prefabricados (obra 6) o las particiones de cartón yeso (en todas las obras). Estos sistemas, la herramienta los considera dentro de los criterios de minimización, por lo que en estos casos, se utilizan las pestañas de minimización, seleccionando los sistemas correspondientes. Una vez introducido todos estos datos, se obtienen los resultados para cada obra (Tabla 3.3).

Entre las fracciones de RCD consideradas no se incluyen las tierras y los residuos peligrosos por estar excluidos del objetivo de reciclaje establecido por la Directiva Marco de Residuos. Entre los residuos peligrosos se encuentran los envases metálicos. En cuanto a los envases de madera, no se consideran residuos sino productos reutilizables, siendo muy bajo el porcentaje de estos que pasan a ser residuos, por lo que tampoco se consideran (véase el apdo. 2.2.2.2).

	Obra 1		Obra 2		Obra 3		Obra 4		Obra 5		Obra 6		Obra 7		Obra 8	
	m ³	t	m ³	t	m ³	t	m ³	t	m ³	t	m ³	t	m ³	t	m ³	t
170101 Hormigón	269.33	403.99	370.08	555.11	480.31	720.47	362.03	543.05	620.31	930.46	912.69	1369.03	278.33	417.49	144.02	216.03
170103 Cerámicos	219.08	197.17	285.51	256.96	430.16	387.09	244.72	220.25	270.00	243.00	370.95	333.86	119.84	107.86	113.45	102.10
170107 Mez.inertes	87.72	105.27	123.59	148.30	150.76	180.91	127.78	153.34	191.82	230.19	304.00	364.79	94.17	113.00	53.49	64.19
170201 Madera	14.13	4.94	17.91	6.27	24.28	8.50	18.52	6.48	27.80	9.73	44.06	15.42	13.65	4.78	7.75	2.71
170202 Vidrio	0.53	0.21	0.67	0.27	0.90	0.36	0.69	0.28	1.04	0.41	1.64	0.66	0.51	0.20	0.29	0.12
170203 Plástico	10.95	0.30	13.88	0.38	18.81	0.06	14.35	0.39	21.55	0.59	34.15	0.93	10.58	0.28	6.01	0.16
170302 Mez.bitum.	0.60	0.48	0.76	0.61	1.03	0.83	0.79	0.63	1.18	0.95	1.88	1.50	0.58	0.46	0.33	0.26
170401 Cobre	0.15	0.42	0.19	0.53	0.26	0.72	0.20	0.55	0.30	0.82	0.47	1.30	0.15	0.40	0.08	0.23
170402 Aluminio	0.15	0.27	0.23	0.41	0.26	0.04	0.24	0.43	0.30	0.53	0.47	0.84	0.17	0.31	0.10	0.18
170405 Hierro y acero	0.50	2.68	0.63	3.40	0.85	4.60	0.65	3.51	0.98	5.27	1.55	8.35	0.48	2.59	0.27	1.47
170802 Mat. de yeso	16.76	9.22	21.25	11.69	28.80	15.84	21.97	12.08	32.98	18.14	52.27	28.75	16.19	8.91	9.20	5.06
170904 RCD mezclados	43.06	41.51	66.11	59.55	72.74	70.60	55.56	53.89	94.45	87.37	304.87	231.57	35.38	36.38	26.69	24.62
150101 E. papel/cartón	81.30	5.69	108.34	7.58	142.58	9.98	105.55	7.39	220.98	15.47	314.18	21.99	78.67	5.51	44.82	3.14
150102 Env. plástico	85.67	6.85	108.63	8.69	147.24	11.78	112.31	8.99	210.75	16.86	334.00	26.72	82.77	6.62	47.01	3.76
150103 Env. madera	416.27	249.76	637.00	382.20	818.33	491.00	535.51	321.3	925.10	555.06	1375.32	825.19	305.66	183.39	241.97	145.18
150104 Env. metálicos	22.60	4.52	40.53	8.11	50.95	10.19	29.38	5.88	66.03	13.21	85.62	17.12	13.92	2.78	13.57	2.71
150105 Env. mezclados	12.52	5.01	15.88	6.35	21.53	8.61	16.42	6.57	24.65	9.86	39.06	15.63	12.10	4.84	6.87	2.75

Tabla 3.3. Cantidades obtenidas aplicando la herramienta ECO-ARQ, 2013 [1].

3.3. GESTIÓN DE LOS RCD EN LAS OBRAS DE ESTUDIO

En las obras de estudio, la gestión de los RCD se planifica previamente en los Estudios y Planes de Gestión (arts. 4 y 5 del RD 105/2008), estimándose las cantidades a generar, y determinando cuestiones como la separación o el destino final de cada fracción. Estudios y Planes de Gestión solo son obligatorios para las obras posteriores al RD 105/2008; por lo que según las fechas de proyectos y licencias, cada obra de estudio realiza: ambos, ninguno de los dos o solo el Plan de Gestión (Tabla 3.4). Una vez que comienza la obra, la gestión de los RCD abarca tanto la gestión en la propia obra como el tratamiento en las instalaciones de gestión, incluido el transporte.

3.3.1. Gestión en obra: separación en fracciones, acopio y transporte

En las obras de estudio, los RCD generados se recogen en cubilotes que mediante grúas se transportan al lugar de acopio (Fig. 3.10). La separación en fracciones es obligatoria si se superan ciertas cantidades de cada fracción (art. 5 del RD 105/2008). En algunas de las obras de estudio los RCD no se separan en fracciones, bien porque son anteriores al RD 105/2008 o porque no disponen de suficiente espacio en el solar (Tabla 3.4). No obstante, los RCD peligrosos se separan en cualquier caso, acopiándose en recipientes situados en una zona especialmente habilitada (Fig. 3.11). Los RCD no peligrosos se acopian en cubas (Fig. 3.12), aunque en algunos casos se amontonan en la obra (Fig. 3.13).

		Obra 1	Obra 2	Obra 3	Obra 4	Obra 5	Obra 6	Obra 7	Obra 8
Documentación	Estudio de gestión	(1)		(1)		(1)			
	Plan de gestión	(1)				(1)			
Gestión en obra	Separación en fracciones							(2)	

(1) Anterior a la aprobación del RD 105/2008
 (2) Por falta de espacio en el solar.

Tabla 3.4. Documentación de obra y gestión llevada a cabo en obra.

Cuando las cubas están completas, un transportista autorizado las traslada a la correspondiente infraestructura de tratamiento. Una vez admitido los RCD en la instalación, el transportista recibe un albarán que entrega al constructor para que quede constancia de que se ha realizado correctamente la gestión.



Figuras 3.10-3.13. Recogida de los RCD mediante cubilotes, acopio de RCD peligrosos en recipientes especiales, acopio de RCD no peligrosos en cubas y acopio de RCD no peligrosos en montones

3.3.2. Destinos de las fracciones generadas en las obras

La Tabla 3.5 resume el destino de cada fracción de RCD generada en las obras de estudio, que depende de si ha sido separada en obra o no. Si ha sido separada, se elimina directamente o se recicla, según la obra. Si no ha sido separada, forma parte del RCD mixto que se destina a planta de tratamiento de RCD donde se separa en fracciones.

	Obra 1	Obra 2	Obra 3	Obra 4	Obra 5	Obra 6	Obra 7	Obra 8
170102,03 Cerámicos*								
170101 Hormigón *			R	E				
170106 Mezcla hor.y cerám.	E	R	R	E		R		E
170201 Madera*	E		E	E		R		(2)
170202 Vidrio*								
170203 Plástico*		(1)		E		E		(2)
1704 Metales*	R	R	R	R		R		
170802 Mat. a partir de yeso		E						
170904 RCD Mixto	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)
150101 Env. de papel y cartón*		(1)				E		(2)
150102 Envases plásticos		(3)		(3)		(3)		(3)
200301 Basura			E	E				

(E) Eliminación

(R) Reciclaje

(1) papel y cartón y plásticos, destinados a recuperador

(2) papel y cartón, plásticos y madera, destinados a recuperador

(3) no se distingue entre envases plásticos y plásticos

(4) El destino principal es la planta de tratamiento de RCD para su clasificación y reciclaje, pero en algunos casos, dada la gran cantidad de residuos no inertes no es aceptada la cuba y tiene que ser llevada al vertedero de no peligrosos.

* fracciones obligatorias de separar según RD 105/2008

Tabla 3.5. Fracciones separadas en las obras y destinos.

Todas las operaciones de eliminación y valorización de los RCD que se efectúen deben corresponderse con las establecidas en los Anexos I y II de la Directiva Marco de Residuos, entre las que figuran: D1 Depósito sobre el suelo o en su interior (por ejemplo vertido), R3 Reciclado o recuperación de sustancias orgánicas que no se utilizan como disolventes (incluidas las operaciones de formación de abono y otras transformaciones biológicas), R4 Reciclado o recuperación de metales y compuestos metálicos, o R5 Reciclado o recuperación de otras materias inorgánicas [4].

3.3.2.1. 17 01 Hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos

En la mayoría de las obras no se distingue entre 17 01 01 Hormigón, 17 01 02 Ladrillos y 17 01 03 Tejas y materiales cerámicos, agrupándose como 17 01 07 Mezclas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos. Solo dos obras separan la fracción de hormigón (Fig. 3.14) y no hay constancia de que ninguna separe la cerámica. No obstante, la composición de la fracción inerte depende de la fase de la obra, por ejemplo en estructuras será principalmente hormigón y en albañilería, cerámica. Los destinos de estas fracciones en las obras de estudio son el reciclaje y la eliminación directa en vertedero de inertes.

3.3.2.2. 17 02 01 Madera

Esta fracción se separa en la mayoría de las obras (Fig. 3.15). Cuando no se separa, se incorpora a la fracción de RCD mixto o se agrupa con otros RCD banales (Fig. 3.18). En general se elimina en vertedero, y cuando se agrupa con otros banales, se elimina o se transporta a un recuperador para su posible valorización.

3.3.2.3. 17 02 03 Plástico

Solo en dos obras se separa esta fracción, en el resto, se incorpora a la fracción de RCD mixto o se separa con otros RCD banales (Fig. 3.18). En las obras en las que se separa se destina a vertedero, y cuando se separa junto a otros banales, se elimina o se transporta a un recuperador para su posible valorización.

3.3.2.4. 17 04 Metales

En la mayoría de las obras, los metales, previa separación de otros RCD, son retirados por un transportista o gestor autorizado para su posterior reciclaje (Fig. 3.16).

3.3.2.5. 17 08 02 Materiales de construcción a partir de yeso

Solo hay constancia de una obra que separe esta fracción, destinándolo a vertedero, ya que actualmente no está implantado su reciclaje (Fig. 3.17).

3.3.2.6. 17 09 04 Residuos mezclados de construcción y demolición

Denominada RCD mixto, esta fracción se genera cuando no se separa en fracciones, caracterizándose por una composición heterogénea. Dos obras no separan en fracciones, la Obra 5 por ser anterior al RD 105/2008 y la Obra 7 por no disponer de sitio en el solar para las cubas; pero las otras obras, aunque separen, también generan RCD mixto. Esta fracción se transporta a la planta de tratamiento de RCD, pero si lleva gran cantidad de RCD no inertes no aceptan la cuba y debe ser trasladada al vertedero de no peligrosos. Tras la clasificación en la planta de tratamiento de RCD, las fracciones inertes, madera, metales y envases de papel y cartón se destinan a reciclaje, eliminándose en vertedero el resto.

3.3.2.7. 15 01 01 Envases de papel y cartón

Solo una obra los separa específicamente. En el resto de las obras, se incorpora a la fracción de RCD mixto o se separa con otros RCD banales (Fig. 3.18). En las obras en las que se separa se destina a vertedero, y cuando se separa junto a otros banales, se elimina o se transporta a un recuperador para su posible valorización.

3.3.2.8. 15 01 03 Envases de madera

Esta fracción se separa en todas las obras, ya que los suministradores de pallets cobran una fianza que devuelven tras su recuperación. Por ello en este estudio no se consideran residuos sino productos reutilizables, como se ha indicado anteriormente. En caso de que se encuentren en mal estado y no sirvan para más usos, pasan a ser residuo, pero el porcentaje de este tipo de residuo que se produce es muy pequeño.

3.3.2.9. 15 01 02 Envases de plástico

En las obras no se distingue entre residuos 17 02 03 Plástico y 15 01 02 Envases de plástico, por lo que esta fracción se gestiona según lo descrito en el apartado 3.3.2.3.



Figuras 3.14-3.18. Fracciones de hormigón, madera, metales, yeso y mezcla de plásticos y papel y cartón en las obras de estudio.

3.4. DESCRIPCIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE GESTIÓN DISPONIBLES EN LA ZONA

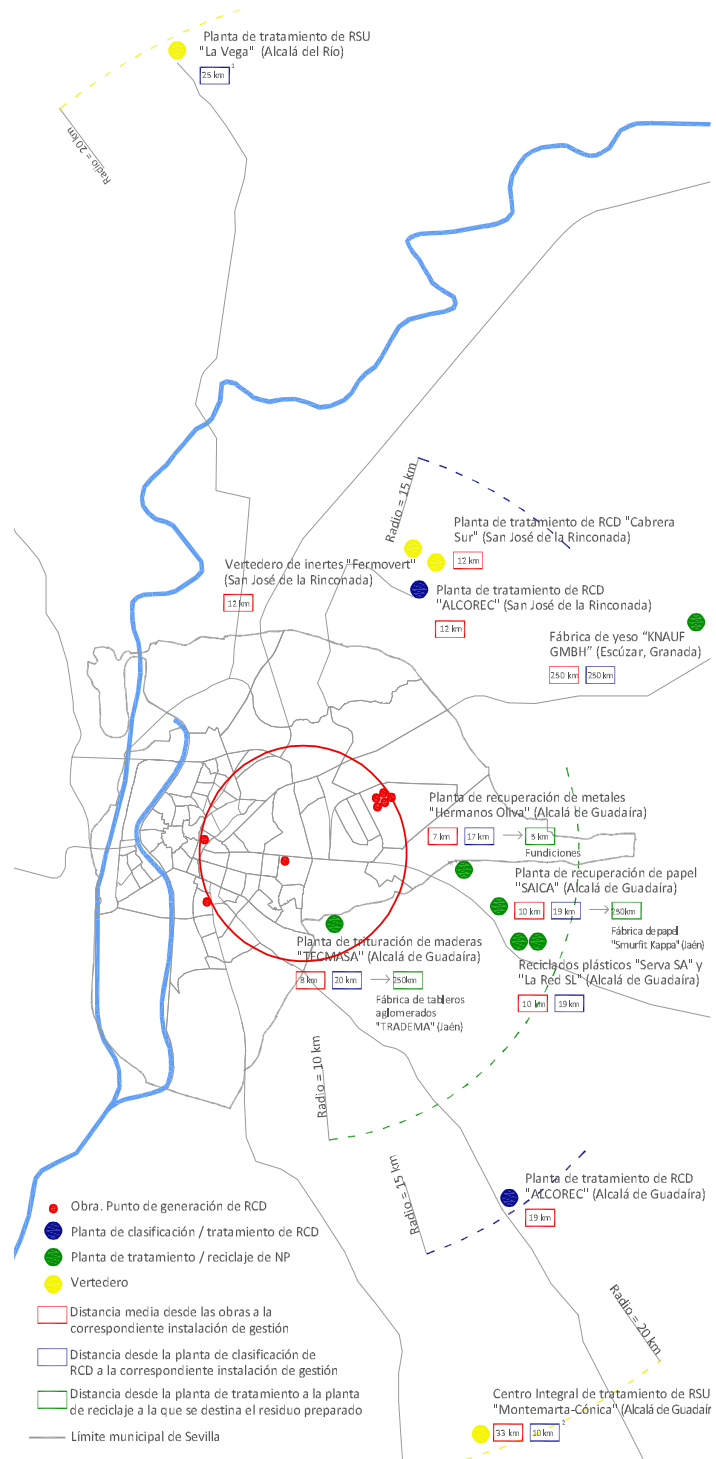
La gestión de los RCD debe realizarse siguiendo el principio de proximidad, por lo que la viabilidad y oportunidad de una determinada opción de gestión está relacionada con las infraestructuras disponibles en la zona. Por lo tanto, en este apartado se estudian las posibilidades de cada fracción generada en las obras de ser reciclada o eliminada en vertedero, con independencia de la opción real que se haya llevado a cabo en las obras. Para ello se analizan las plantas de tratamiento de RCD, instalaciones de reciclaje para cada fracción y vertederos disponibles en el área geográfica de estudio.

La Figura 3.19 muestra la localización de las diversas instalaciones disponibles. Cuando para el reciclaje de una fracción existe más de una instalación disponible, se selecciona un gestor representativo. Se indican las distancias medias de las obras a estas plantas y de estas plantas a otras, observándose que, desde el centro geográfico de las obras: para los RCD inertes, las plantas de tratamiento y los vertederos se encuentran en un radio de 15 kilómetros; y para las fracciones de RCD no peligrosos, las plantas de recuperación se encuentran en un radio de 10 kilómetros, las plantas de reciclaje, algunas en un radio de 10 kilómetros y otras a más de 200 kilómetros, y los vertederos en un radio de 20 kilómetros.

3.4.1. Plantas de transferencia de RCD

Las plantas de transferencia de RCD son necesarias cuando existen grandes distancias entre las obras al vertedero o a las plantas de tratamiento de los RCD [5], por lo que en el caso de estudio no son necesarias.

Figura 3.19. Infraestructuras de gestión disponibles en el área geográfica de estudio.



3.4.2. Plantas de tratamiento de RCD

Las plantas de tratamiento de RCD que sirven al área metropolitana de Sevilla se localizan en un radio de aproximadamente 15 km desde el centro del municipio (Fig. 3.19). Las plantas más próximas a Sevilla son las de *Alcorec*, en San José de la Rinconada y Alcalá de Guadaíra (Figs. 3.20-3.22), y la de *Cabrera Sur* en San José de la Rinconada. *Alcorec* es el único gestor autorizado para obtener la devolución de fianza (apdo. 2.2.1.3).

En estas plantas se aceptan los RCD limpios (solo fracciones inertes) y los RCD mixtos (fracciones inertes y no peligrosos). Si el grado de impurezas del RCD mixto supera cierta cantidad, se rechaza y es enviado a vertedero de no peligrosos. En ambas plantas se realizan los siguientes procesos:

1. Pre-tratamiento: Control de admisión de los RCD y separación de residuos peligrosos y voluminosos.
2. Clasificación I: separación de las fracciones de finos de las de mayor diámetro mediante trómel, y separación de férricos mediante electroimán.
3. Clasificación II: separación de fracciones no inertes en cabina de triaje manual. De las fracciones que se generan en una obra de nueva planta, madera, metales y envases de papel y cartón, se destinan al correspondiente gestor para reciclaje; y el resto se elimina en vertedero de residuos no peligrosos. En las cabinas de triaje también se separan los plásticos, pero según consulta a la instalación, la separación de los plásticos procedentes de obras de nueva planta es mínima por el grado de contaminación que presentan.
4. Trituración primaria de la fracción inerte.
5. Acopio para la posterior venta del árido reciclado.

Diferencias entre ambas plantas son que *Alcorec* dispone de maquinaria para la trituración secundaria de la fracción inerte, que producirá un árido reciclado de diferentes granulometrías y mayor calidad; y *Cabrera Sur* dispone de un vertedero de residuos inertes.

3.4.3. Vertederos de residuos inertes

En la Vega del Guadalquivir existen graveras que una vez explotadas son acondicionadas como vertederos de inertes, como son las instalaciones de *Fermovert* en San José de la Rinconada o la de *Cabrera Sur*. Estos vertederos se encuentran en un radio de 15 km desde el centro del municipio (Fig. 3.19).



Figuras 3.20-3.22. Instalaciones de la planta de ALCOREC de San José de la Rinconada

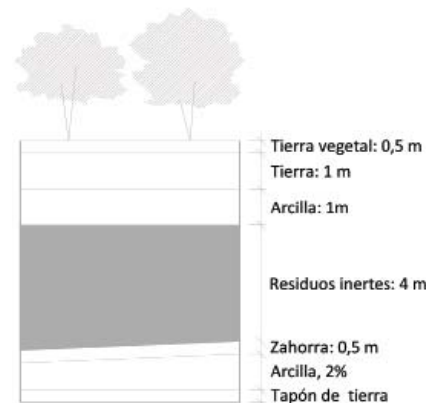


Figura 3.23. Impermeabilización y sellado del vaso de vertido. Fuente: [12]

En estos vertederos los escombros limpios se vierten hasta cierta cota, procediéndose al sellado mediante una capa de arcilla. Por último, se acondiciona la superficie para su explotación agrícola (Fig. 3.23). Todo ello queda regulado por el RD 1481/2001, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero [6] y la Directiva 1999/31/CE relativa al vertido de residuos [7].

3.4.4. Vertederos de residuos no peligrosos

Los RCD mixto con alto contenido en residuos no inertes, los residuos no peligrosos rechazados en las plantas de reciclaje o los que no admiten valorización son depositados en los vertederos de residuos no peligrosos. Estos vertederos deberán controlar los lixiviados y disponer de sistemas de recogida y aprovechamiento del biogás procedente de la fermentación anaerobia de la fracción orgánica [7, 8].

Los vasos de vertido están impermeabilizados con láminas de polietileno y poseen redes de captación de lixiviados. Durante el funcionamiento del vertedero, periódicamente se cubren los residuos depositados con tierras para evitar olores, suciedad, etc. Cuando se alcanza el volumen máximo de llenado, se sella y clausura. Sobre las celdas selladas se instalan pozos de captación de biogás conectados a colectores que lo conducen hasta la central de combustión, donde se genera energía eléctrica. De los 27 vertederos de RSU que existen en Andalucía, solo 2 disponen de instalación de aprovechamiento de biogás [9]. Todo ello queda regulado por el RD 1481/2001, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero [6] y la Directiva 1999/31/CE relativa al vertido de residuos [7].

El vertedero de residuos urbanos que da servicio a Sevilla es *Montemarta-Cónica* en Alcalá de Guadaíra, situado a unos 20 km del centro del municipio. Hay que tener en cuenta que desde las plantas de valorización de residuos, los rechazos también se transportan a estos vertederos. Por ello, se ha considerado también en el estudio la planta de *La Vega* en Alcalá del Río, a la que se destinan los rechazos de la planta de reciclaje de RCD de San José de la Rinconada. Los rechazos que se producen en el resto de plantas, se suponen transportados a *Montemarta-Cónica* (Fig. 3.19).

3.4.5. Plantas de recuperación y reciclaje de RCD no peligrosos

Una vez separados en fracciones, ya sea en obra o en planta de tratamiento de RCD, se procede a la valorización de los RCD. En muchos casos, en primer lugar, la fracción se transporta a una planta de recuperación, donde, entre otros, se reduce el volumen de los residuos para optimizar el transporte hasta la planta de reciclaje. La localización de la planta de reciclaje de cada fracción depende de la oferta existente, pudiendo ir desde el nivel local al internacional.

En la provincia de Sevilla existe un gran número de recuperadores de residuos metálicos, siendo menor el de residuos plásticos y de papel y cartón, muy escaso el de residuos de madera y nulo el de yesos [10]. Muchos se localizan en el área entre el municipio central y los corredores que le unen con Alcalá de Guadaíra y Dos Hermanas, a unos 10 kilómetros desde el centro de la ciudad, principal zona de la actividad industrial del área metropolitana [11]. En esta zona también se localizan plantas de reciclaje de varias fracciones, siendo necesario el traslado fuera del municipio del resto de fracciones para su reciclaje. De todas las plantas de recuperación y reciclaje existentes, se han seleccionado algunas representativas, teniendo en cuenta el principio de proximidad y a partir de la información proporcionada por los transportistas de las obras, las plantas de tratamiento de RCD y los recuperadores (Fig. 3.19).

3.4.5.1. 17 02 01 Madera

Según empresas consultadas dedicadas al reciclaje de pallets en la zona (*TECMASA*), el mercado secundario del pallet de construcción es inexistente, por lo que se considera que la opción de reciclaje de todos los residuos de maderas (tanto de obra como de envases) es como tablero aglomerado. En este caso, es posible el reciclaje de maderas separadas en obra o en planta de tratamiento de RCD.

Una de las fábricas de tableros aglomerados es *Tableros TRADEMA, S.L.*, en Jaén. Para optimizar el transporte, los residuos de madera se tratan primero en la planta *TECMASA, Reciclados de Andalucía S.L.* en Sevilla (Fig. 3.19). En esta planta la fracción de madera se limpia manualmente de impurezas (y tableros DM, que no son aptos para la fabricación de tableros aglomerados) y se tritura, separándose posteriormente mediante electroimán posibles elementos metálicos. Finalmente, la madera triturada se acopia para su transporte a la fábrica de tableros aglomerados (Figs. 3.24 y 3.25).

3.4.5.2. 17 04 Metales

Una vez separados los metales, en obra o en planta de tratamiento de RCD, se destinan a un recuperador donde se limpian de impuros, se separan entre metales ferrosos y no ferrosos, y se fragmentan y empaquetan para optimizar el transporte (Figs. 3.26-3.28). Tras ello se transportan a las fundiciones, según sea el metal ferroso o no ferroso, reciclándose en el mismo metal. Varios gestores de residuos metálicos dan servicio al área de estudio, algunos localizados en Alcalá de Guadaíra, como *Hermanos Oliva* o *Siderúrgica Sevillana, S.A* (Fig. 3.19).

3.4.5.3. 17 08 02 Materiales de construcción a partir de yeso

Aunque aún poco implantadas, en España existen iniciativas para el reciclaje de los RCD de yeso laminado procedentes de obras de construcción, como las de *Placo Saint-Gobain* en Madrid o la de *Knauf* en Escúzar (Fig. 3.19). Sin embargo, aún no existen recuperadores de yeso laminado, por lo que el residuo procedente de las obras debe llegar ya limpio a las plantas de reciclaje, siendo necesaria la separación en obra. Otra limitación que supone no recuperar previamente estos residuos es que no se reduce el volumen, por lo que el transporte hasta las plantas no está optimizado.



Figuras 3.24 y 3.25. Planta de trituración de madera *TECMASA*.



Figuras 3.26-3.28. Recuperación de metales en *Hermanos Oliva*.

3.4.5.4. 15 01 01 Envases de papel y cartón

La fracción de papel separada, ya sea en obra o en planta de tratamiento de RCD se envía a las plantas de recuperación de papel, donde se selecciona, limpia, clasifica y embala. Posteriormente se transporta a la fábrica de papel donde tienen lugar la fabricación de pulpa y de papel. Empresas de recuperación consultadas en el área de estudio transportan los residuos de papel recuperados a fábricas de papel situadas en distintos puntos de España: Andalucía (como *Smurfit Kappa Mengibar*), el País Vasco, Cataluña o Madrid; pero también lo transportan a países como China, cargando el barco desde Algeciras.

De las plantas de recuperación existentes se ha tomado como representativa la empresa *SAICA*, situada en Alcalá de Guadaíra. Y de las fábricas de papel y cartón, la planta *Smurfit Kappa Mengibar*, situada en Mengibar (Jaén) (Fig. 3.19).

3.4.5.5. 15 01 02 Envases de plástico

Solo se consideran reciclables los envases plásticos (tipo film) separados en obra y transportados directamente a la planta de reciclaje, sin recuperación previa. El resto de los RCD plásticos es enviado a vertedero, incluidos los envases plásticos separados en planta de clasificación, por presentar alto grado de heterogeneidad y suciedad. Empresas de reciclaje consultadas aceptan otros tipos de RCD plásticos, pero principalmente proceden de obras de demolición, siendo los films plásticos separados en obra los únicos que aceptan de obras de nueva planta. Una de las plantas de reciclaje de plásticos de la zona de estudio es la planta *Reciclados Plásticos La Red S.L.* de Alcalá de Guadaíra (Fig. 3.19).

3.5. REFERENCIAS

- [1] Equipo de Investigación ECO-ARQ. Dpto. Construcciones Arquitectónicas I ETSA de Sevilla. Menos Residuos de Construcción y Demolición es igual a más Ecoeficiencia. Herramienta de Ayuda a la Reducción de Residuos en el Diseño y Construcción de Viviendas en Andalucía. Junta de Andalucía; Consejería de Fomento y Vivienda. Available at: <<http://www.juntadeandalucia.es/fomentoyvivienda>> . 2012.
- [2] Gobierno de España, Ministerio de Fomento. Construcción de edificios 2007-2011. Datos recogidos de las licencias de obra concedidas por los ayuntamientos. 2012.
- [3] Ramírez de Segreto, L. Verificación en obra de modelos teóricos de cuantificación de residuos de construcción en edificaciones residenciales en Andalucía. Tesis doctoral en desarrollo. Universidad de Sevilla.
- [4] Parlamento Europeo. Directiva 2008/98/CE de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. 2008; Diario Oficial de la Unión Europea L312, 0003-0030.
- [5] Gobierno de España, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Plan Nacional Integrado de Residuos para el período 2008-2015. 2009; BOE 049, 26 de febrero de 2009.
- [6] Gobierno de España, Ministerio de Medio Ambiente. Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero; BOE 25, 29 enero 2002, 3507-3521.
- [7] Parlamento Europeo. Directiva 1999/31/CE de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos. 1999; Diario Oficial de la Unión Europea L182, 1-19.
- [8] Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Decreto 73/2012, de 20 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de Residuos de Andalucía. 2012.
- [9] Junta de Andalucía - Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente. Decreto 397/2010, de 2 de noviembre, por el que se aprueba el Plan Director Territorial de Residuos No Peligrosos de Andalucía 2010-2019. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía 2010 25 de noviembre de 2010; 231: Página núm. 114-Página núm. 167.
- [10] Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Listado de Gestores de Residuos 2013. 2013; Available at: <<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente>> .
- [11] Ayuntamiento de Sevilla. Plan General de Ordenación Urbanística de Sevilla. 2006.
- [12] Cabrera Sur. Presentación. 2012.

CAPÍTULO 4. Evaluación de la gestión de los RCD mediante ACV: aplicación de la metodología tradicional

El objetivo de este capítulo es evaluar ambientalmente la gestión de los RCD de los casos de estudio mediante el ACV, aplicando las cuestiones metodológicas tradicionalmente utilizadas para evaluar la gestión de los RCD según la literatura revisada. En concreto se analiza la gestión de trece fracciones de RCD, desarrollándose las trece evaluaciones en paralelo a lo largo del capítulo. El capítulo se organiza según las fases de un ACV establecidas en las ISO 14040:2006 y 14044:2006: definición de objetivo y alcance, análisis de inventario, evaluación de impacto e interpretación de resultados.

- **Definición de objetivos y alcance.** El contexto de este estudio son las obras residenciales de nueva planta en Andalucía. Del análisis de los casos de estudio, se seleccionan trece fracciones de RCD cada una de las cuales se evalúa según los siguientes escenarios: separación en obra y eliminación (E); separación en obra y reciclaje (R); y separación en planta de clasificación con el correspondiente tratamiento según la fracción (C). La unidad funcional es la gestión de 1 tonelada de cada fracción generada en las obras de estudio. Los límites del sistema se definen aplicando el supuesto de “carga cero”. En relación a los procedimientos de asignación de cargas, para evitar el problema de asignación en los casos de reciclaje, se utiliza el método de las “cargas evitadas”. Además, se indican las hipótesis simplificadoras utilizadas.

- **Inventario de Ciclo de Vida.** Para cada fracción se recopilan los datos de los procesos que intervienen en cada escenario, es decir, sobre los procesos de acopio, transporte, clasificación, eliminación, reciclaje y productos evitados. Se recurre, por orden de prioridad, a las empresas implicadas, a datos oficiales, a bases de datos públicas y a la bibliografía. Para los datos ambientales se recurre finalmente a la base de datos *EcolInvent*, modificando los procesos de los que

se dispone de datos de fuentes de mayor calidad o tomándola como base para desarrollar los procesos no disponibles en ella.

- **Evaluación de Impactos del Ciclo de Vida.** Los impactos ambientales se evalúan mediante el método CML 2001, según las categorías de Cambio Climático, Acidificación, Eutrofización, Agotamiento del ozono estratosférico, Toxicidad Humana y Oxidación fotoquímica; y también se calcula la Energía Primaria Incorporada mediante el método de Demanda de Energía Acumulada. Se realiza según los elementos obligatorios establecidos en las ISO 14040:2006 y 14044:2006. El programa de cálculo utilizado es *SimaPro 7.1*.

- **Análisis de resultados.** Para cada fracción e indicador, el escenario R es el más favorable, excepto en los siguientes casos en que lo es el E: acero según HTP; y envases plásticos según ODP; y madera, yeso y envases de papel y cartón según GWP. En los tres últimos casos, la causa es el crédito de CO₂ que se otorga a los productos de madera natural, por el almacenamiento de CO₂ que realiza la madera y que se prolonga durante la vida útil del producto resultante. El escenario C nunca es el más favorable, siendo, como mucho, similar en impactos al correspondiente escenario E o R. La principal causa de las cargas son los procesos de tratamiento (eliminación o reciclaje según el escenario), siendo menor la relevancia de los de acopio, transporte o clasificación. Por otro lado, los ahorros de cargas se deben a los productos evitados en los escenarios de reciclaje (excepto para los productos de madera). Estos resultados se verifican con los resultados de otros estudios. Por último, se propone un *Índice de Reciclaje*, I_R , que se define para cada fracción como «la relación de los impactos del escenario R respecto a los del escenario E según los resultados CED», y que reflejan la aptitud de cada fracción para ser reciclada desde el punto de vista energético frente a la eliminación.

Capítulo 4. Evaluación de la gestión de los RCD mediante ACV: aplicación de la metodología tradicional

4.1. Definición de objetivos y alcance del estudio	59
4.1.1. Objetivo	59
4.1.2. Alcance del estudio	59
4.1.3. Unidad funcional	60
4.1.4. Límites del sistema	60
4.1.5. Procedimiento de asignación de cargas	60
4.1.6. Categorías de impacto y métodos de EICV	61
4.1.7. Requerimientos de datos	61
4.1.8. Hipótesis	61
4.2. Inventario de Ciclo de Vida	61
4.2.1. Procesos de Acopio	64
4.2.2. Procesos de Transporte	65
4.2.3. Procesos de Gestión final	66
4.2.3.1. Datos a recopilar	66
4.2.3.2. Fuentes de datos consultadas	67
4.2.3.3. Cantidades de procesos unitarios que intervienen en los escenarios de reciclaje	68
4.2.4. Inventario de Ciclo de Vida por tipo de RCD y escenario analizado	69
4.2.5. Calidad de los datos empleados	71
4.3. Evaluación de impactos del ciclo de vida y resultados	71
4.3.1. Impactos de la gestión de 1 tonelada de cada fracción	71
4.3.1.1. 17 01 01 Hormigón, según los escenarios E, R y C	72
4.3.1.2. 17 01 02 Ladrillos y 17 01 03 Tejas y materiales cerámicos, según los esc. E, R y C	74
4.3.1.3. 17 01 07 Mez. de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerám., según los esc. E, R y C	76
4.3.1.4. 17 02 01 Madera, según los escenarios E, R y C	78
4.3.1.5. 17 02 03 Plástico, según los escenarios E y C	80
4.3.1.6. 17 04 01 Cobre, bronce, latón, según los escenarios E, R y C	82
4.3.1.7. 17 04 02 Aluminio, según los escenarios E, R y C	84
4.3.1.8. 17 04 05 Hierro y acero, según los escenarios E, R y C	86
4.3.1.9. 17 08 02 Mat. de construcción a partir de yeso, según los escenarios E, R y C	88
4.3.1.10. 15 01 01 Envases de papel y cartón, según los escenarios E, R y C	90
4.3.1.11. 15 01 02 Envases de plástico, según los escenarios E, R y C	92
4.3.1.12. 17 09 04 R. mezclados de construcción y demolición (RECHAZOS), según los esc.E y C	94
4.3.1.13. 17 09 04 R. mezclados de construcción y demolición (RCD MIXTO), según el esc.C	96
4.4. Discusión de resultados	98
4.4.1. Interpretación de los resultados obtenidos según etapas de la gestión	98
4.4.1.1. Acopio	98
4.4.1.2. Transporte	98
4.4.1.3. Clasificación (solo en escenarios C)	99
4.4.1.4. Procesos de gestión final	99
4.4.1.5. Productos evitados en los escenarios de reciclaje R o C(R)	99
4.4.2. Interpretación de los resultados obtenidos para cada fracción según los indicadores GWP y CED	100
4.4.2.1. Indicador GWP	100
4.4.2.2. Indicador CED	101
4.4.2.3. Factores que influyen en los resultados	101
4.4.3. Limitaciones y carencias	102
4.4.4.1. Calidad de los datos	102
4.4.4.2. Evaluación de escenarios que contemplen actividades de prevención	102
4.4.4. Aplicación de los resultados	102
4.4.4.1. Índice de Reciclaje	102
4.4.5. Comparación de los resultados obtenidos con los de otros estudios	103
4.5. Referencias	105

4.1. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO

4.1.1. Objetivo

El objetivo de este estudio es evaluar ambientalmente la gestión de las principales fracciones de RCD generadas en obras de construcción residencial en Andalucía, mediante la metodología de ACV tradicionalmente utilizada en la evaluación de la gestión de los RCD. El método aplicado sigue la estructura de las ISO, según se indica en la Figura 2.16.

4.1.2. Alcance del estudio

El contexto en el que se inscribe este estudio son obras residenciales de nueva planta ejecutadas en Andalucía en el periodo 2006-2014 y cuyas características y tipológicas se indican en el capítulo 3. La selección de las fracciones de RCD y los escenarios de gestión a evaluar se basa en el análisis de los casos de estudio y de las infraestructuras de gestión disponibles en la zona realizados en el capítulo 3. Las Tablas 4.1 y 4.2 resumen los escenarios de gestión a evaluar para cada fracción seleccionada.

Los escenarios de gestión a evaluar se establecen según dos variables: la gestión en obra (separación o no de fracciones) y la gestión final (eliminación o reciclaje). Si se separa en obra, cada fracción separada se destina a eliminación o reciclaje ⁽¹⁾. Si no se separa en obra, los RCD mezclados se envían a planta de clasificación para la separación en fracciones y posterior gestión final (según apdo. 3.4.2). No se considera la opción de que los RCD mezclados se envíen directamente a vertedero sin clasificación previa, por ser una *praxis* inaceptable. Por tanto, resultan tres escenarios: separación en obra y eliminación (E), separación en obra y reciclaje (R) y clasificación en planta con la correspondiente gestión final (C) (Tabla 4.1).

A partir de la cuantificación de los RCD generados en cada obra (Tabla 3.3), se seleccionan las doce fracciones más representativas, englobándose en la fracción de rechazos: los RCD mezclados, los envases mezclados y aquellos residuos de los que se genera poca cantidad, como los vidrios o las mezclas bituminosas. No se incluyen los envases de madera por considerarse que son devueltos en su totalidad al suministrador. Tampoco se incluyen las tierras y los residuos peligrosos (entre los que se encuentran los envases metálicos) por no computar a efectos del objetivo de reciclaje del 70% para 2020 impuesto por la Directiva Marco de Residuos [1].

Cada fracción de RCD se evalúa según los escenarios E, R y C, siempre que sea posible. Según el apartado 3.4, casi todas las fracciones pueden ser analizadas según los tres escenarios E, R y C, excepto las fracciones de plásticos y rechazos, no aptas para el reciclaje por la suciedad y heterogeneidad que presentan, y que se evalúan solo según los escenarios E y C (Tabla 4.2).

	Separación	Gestión Final
Escenario E	En obra	Eliminación
Escenario R	En obra	Reciclaje
Escenario C	En planta de clasificación	Eliminación o Reciclaje según fracción de RCD ¹

¹ A partir de datos de la planta de ALCOREC

Tabla 4.1. Características de los escenarios analizados.

	Escenario		
	E	R	C
170101 Hormigón			R
170102,03 Cerámicos			R
170106 Mezcla hor. y cerám.			R
170201 Madera			R
170203 Plástico			E
170401 Cobre, bronce, latón			R
170402 Aluminio			R
170405 Hierro y acero			R
170802 Mat. a partir de yeso			E
170904 RCD mezclados (Rechazos)			E
150101 Env. papel y cartón			R
150102 Envases de plástico			E
170904 RCD mezclados (RCD mixto)			R

Tabla 4.2. Escenarios analizados por fracción de RCD.

(1) No se consideran escenarios de reutilización por ser una opción de gestión apenas utilizada en obras de nueva planta con respecto a las obras de rehabilitación y demolición, como ya se indicó en el apartado 2.2.2.

Además, de modo complementario, se ha incluido en este estudio la evaluación del escenario C para el caso de los RCD mezclados. Esto es debido a que las 12 fracciones de RCD evaluadas según los escenarios anteriormente indicados presentan los resultados por tonelada de RCD gestionado. Sin embargo, en una obra se generan cantidades distintas de cada fracción, por lo que, para establecer la importancia relativa de cada una de ellas con respecto al total de RCD generados, se incorpora la fracción de RCD mixto, cuya composición es obtenida a partir de otros estudios (apdo. 2.2.2). Para la gestión del RCD mixto es necesaria su clasificación previa en planta, por lo que el único escenario analizado es el escenario C (Tabla 4.2). No se comparan otros escenarios, siendo el único objetivo de esta evaluación conocer la incidencia de cada tipo de RCD.

4.1.3. Unidad funcional

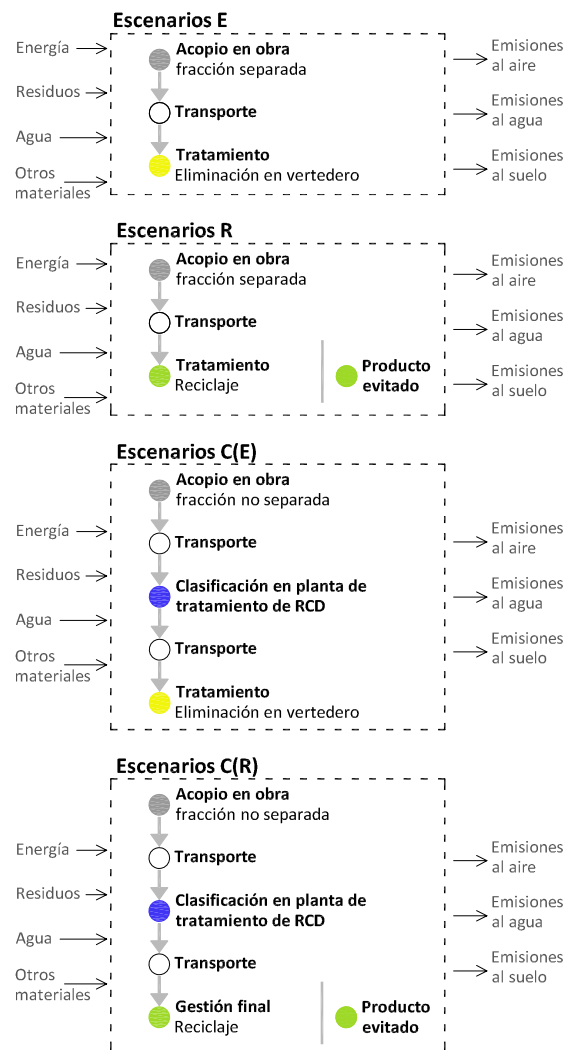
La unidad funcional se define como la gestión de 1 tonelada de cada una de las fracciones generadas en las obras de estudio, exceptuando las tierras y los residuos peligrosos. La función bajo estudio es la gestión de los RCD, según distintos escenarios de gestión particularizados para cada fracción.

4.1.4. Límites del sistema

Los límites del sistema se definen aplicando el supuesto de “carga cero”: los procesos y actividades previos a la generación del RCD se excluyen de los límites del sistema por ser comunes a todos los escenarios [2]. El sistema empieza en el punto de generación del RCD e incluye: acopio en obra, transporte, clasificación (en los escenarios C) y gestión final (eliminación o reciclaje); así como los productos evitados en caso de reciclaje. Las Figuras 4.1-4.4 muestran los límites del sistema para cada escenario E, R o C, distinguiéndose para los escenarios C entre reciclaje C(R) y eliminación C(E). La producción de bienes capitales, como instalaciones o camiones, se excluye por considerarse despreciable su efecto sobre los resultados generales [3,4].

4.1.5. Procedimiento de asignación de cargas

Para evitar el problema de asignación de cargas en los casos de reciclaje, se utiliza el método de “sustitución mediante expansión del sistema” o de las “cargas evitadas” [5]: los productos reciclados obtenidos sustituyen a un determinado producto primario, evitando los impactos de su producción. Para ello se aplican los índices de sustitución de los productos primarios por los secundarios (Tabla 4.12), calculados a partir de las propiedades físicas o el valor económico de dichos productos, según se describe en el Anexo I.



Figuras 4.1-4.4: Límites del sistema de los escenarios E, R y C

4.1.6. Categorías de impacto y métodos de EICV

Las categorías de impacto y los métodos de EICV utilizados en este estudio se seleccionan a partir del análisis realizado en el apartado 2.3.2.6 sobre las categorías y métodos más utilizados en otros estudios. Los impactos ambientales se evalúan mediante el método CML 2001 [6], según las categorías de Cambio Climático, Acidificación, Eutrofización, Toxicidad Humana, Agotamiento del ozono estratosférico y Oxidación fotoquímica. Mediante el método de Demanda de Energía Acumulada, se calcula el total de la energía Primaria Incorporada (CED) en MJ_{eq}, compuesta por CED fósil, nuclear, biomasa, agua, y eólica, solar y térmica (Tabla 4.3). Una descripción más detallada de las categorías y métodos se realiza en el Anexo II.

Categoría de impacto	Ud. del indicador	Método EICV
Cambio climático	kg CO ₂ -eq	CML 2001
Acidificación	kg SO ₂ -eq	
Eutrofización	kg PO ₄ ³⁻ -eq	
Toxicidad humana	kg 1,4-DCB-eq	
Agotam. del ozono estratosférico	kg CFC-11-eq	
Oxidación fotoquímica	kg ethylene-eq	
Energía Primaria incorporada	MJ eq	Demanda de Energía Acumulada (CED)
<i>No renovable, Fósil</i>	<i>MJ eq</i>	
<i>No renovable,</i>	<i>MJ eq</i>	
<i>Renovable, Biomasa</i>	<i>MJ eq</i>	
<i>Renovable, Hidráulica</i>	<i>MJ eq</i>	
<i>Renovable, Eólica, Solar, Térmica</i>	<i>MJ eq</i>	

Tabla 4.3: Categorías de impacto y métodos EICV utilizados

4.1.7. Requerimientos de datos

La fase de ICV de un ACV aplicado a la gestión de los RCD es particularmente laboriosa por la falta de disponibilidad de bases de datos que incluyan los procesos que intervienen [4,7]. Para obtener unos resultados fiables, se buscan datos de la mayor calidad posible, recurriéndose por orden de prioridad a: las empresas implicadas, los datos oficiales, las bases de datos públicas y la bibliografía. Finalmente, se recurre a la base de datos *EcoInvent*, que en ocasiones es modificada si se dispone de datos procedentes de fuentes de mayor calidad o se toma como base para desarrollar los procesos no disponibles en ella.

4.1.8. Hipótesis

Para llevar a cabo este estudio se realizan una serie de hipótesis simplificadoras:

HP1. Hipótesis relativa a la composición de los RCD.

- HP1.1. Ante la falta de datos exactos de cuantificación de los RCD generados en las obras de estudio, se utilizan datos de otros estudios.
- HP 1.2. Excepto para la fracción de RCD plásticos, la composición de cada fracción separada se considera homogénea, en particular: la fracción de hormigón solo contienen hormigón, sin armaduras de acero; la fracción de materiales de yeso solo contiene yeso laminado; y la fracción de envases plásticos solo contiene film.

HP2. Hipótesis relativa al acopio.

- HP2.1. Se considera que todas las cubas de acopio de los RCD en las obras son de 8 m³ de volumen y se llenan al 100% (ver apartado 4.2.1).

HP3. Hipótesis relativa al transporte.

- HP3.1. No se considera el transporte interno de los RCD en obra ⁽²⁾.
- HP3.2. Se aplica el principio de proximidad, por lo que se seleccionan las instalaciones de gestión más cercanas a las obras de estudio. Las distancias entre las obras de estudio y las instalaciones de gestión se miden desde el centro geométrico de todas las obras.

HP4. Hipótesis relativa a la clasificación en fracciones.

- HP4.1. Se considera que no existen pérdidas de material durante la clasificación en planta de RCD o de recuperación, al considerarse que los posibles restos se vuelven a insertar en los procesos de reciclaje o eliminación del RCD.

HP5. Hipótesis relativa a la eliminación en vertedero.

- HP5.1. No se considera la recuperación de biogás.

HP6. Hipótesis relativa al reciclaje de los residuos.

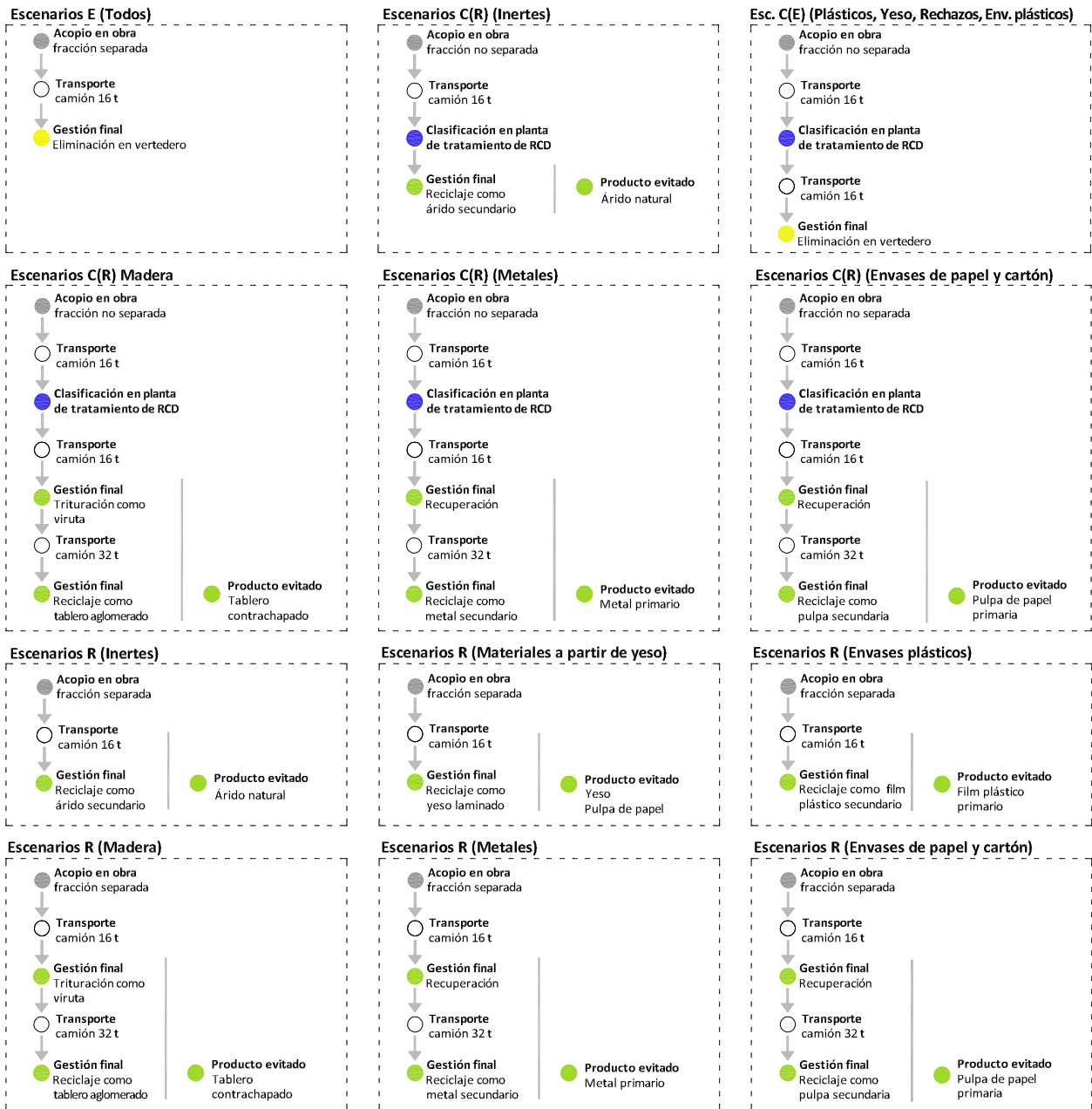
- HP6.1. RCD inertes. Se considera que se reciclan como áridos de granulometría 0-40 mm.
- HP6.2. RCD metálicos. En línea con otros estudios [8], se considera que mantienen sus propiedades inherentes durante el reciclaje, es decir, el metal reciclado posee las mismas características que el de producción primaria.
- HP6.3. RCD de yeso. Aunque aún está en proceso de implantación, se considera viable el reciclaje de yeso según las infraestructuras actuales: los RCD de yeso se trasladan directamente de la obra a la planta de reciclaje sin preparación previa para optimizar el transporte.
- HP6.4. Envases de papel y cartón. Se considera que se incorporan en su totalidad a la producción de papel reciclado.

4.2. INVENTARIO DE CICLO DE VIDA.

Las figuras 4.5-4.16 resumen los procesos que intervienen en cada escenario, según los límites del sistema establecidos. En estas figuras se han agrupado las fracciones de RCD cuya gestión es similar, para posteriormente elaborar, a partir de estas referencias, el ICV específico de cada fracción en particular.

El esquema de los procesos que intervienen en los escenarios E, de separación en obra y eliminación, es similar para todas las fracciones (Fig. 4.5). El de los escenarios R, de separación en obra y reciclaje, coincide solo en algunas (Fig. 4.11-4.16). Igualmente ocurre en los escenarios C, para los que se ha distinguido entre escenarios C(R), de separación en planta y reciclaje (Fig. 4.6, 4.8 -4.10) y escenarios C(E), de separación en planta y eliminación (Fig.4.7). El esquema de los procesos para el caso del RCD mixto, que se analiza solo según el escenario C, se indica en la Figura 4.17.

(2) A priori la incidencia en este estudio del transporte interno se considera muy poco significativa.



Figuras 4.5-4.16: Procesos que intervienen en los escenarios E, R y C por fracciones de gestión similar.

Escenarios C(R) RCD mezclados (mixto)

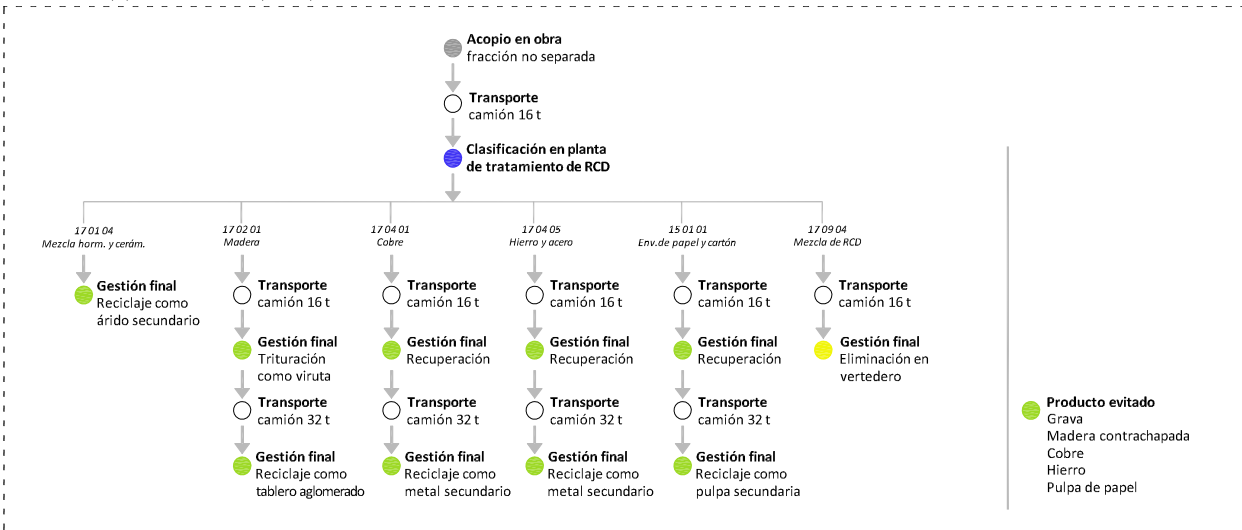


Figura 4.17: Procesos que intervienen en el escenario C de RCD mezclados (mixto)

4.2.1. Procesos de Acopio

En las obras, los RCD que se generan durante la construcción se acopian en cubas metálicas dispuestas en el solar. Si se lleva a cabo separación de fracciones en obra, por cada fracción separada se utiliza una cuba. Si no se realiza separación, todos los RCD van en la misma cuba como RCD mixto (LER 170904). Una vez que una cuba no admite más residuos, el transportista la recoge para llevarla a la correspondiente instalación de gestión.

En las obras seleccionadas, las cubas más utilizadas son cubas metálicas de 6, 8 y 10 m³ (Tabla 4.4). El acopio de los residuos peligrosos se realiza en contenedores especiales pero, como se ha indicado, no se tienen en cuenta en este estudio, así como tampoco las tierras.

Según algunos estudios, la contribución del acopio al impacto total de la gestión de RCD es poco significativa. Por ejemplo, Mercante et al., 2012 estudia la contribución al impacto total de la gestión de RCD de la fabricación y uso de las cubas de acopio, resultando que para todas las categorías de impacto supone menos de un 1% [4]. Por ello, se simplifica según la hipótesis de que todas las cubas que se utilizan en la obra son de 8 m³ y se llenan al 100%, siendo los parámetros empleados los que refleja la Tabla 4.5.

La Tabla 4.6 muestra la cantidad de material (acero S275JR) necesario para el acopio de 1 tonelada de cada fracción en cubas de 8 m³. Los datos ambientales asociados se obtienen de la base de datos *EcolInvent*.

Contenedor	Volumen (m ³)	Material	Peso (kg)
Metálico 1	6	Acero S275JR	650
Metálico 2	8	Acero S275JR	800
Metálico 3	10	Acero S275JR	1000

Tabla 4.4: Contenedores utilizados para el acopio en obra. Fuente: Elaboración propia basada en [4]

Parámetros del contenedor	Unidad	Cantidad
Capacidad promedio	m ³	8
Capacidad de llenado	%	100
Peso promedio	kg	800
Tiempo de duración	años	10
Número de usos al año	n	156

Tabla 4.5: Parámetros para contenedor de acero de 8 m³. Fuente: Elaboración propia basada en [9]

		Densidad residuo (t/m ³)	Volumen cuba (m ³)	Nº de cubas / t residuo	Peso cuba (t acero) / t residuo
170101	Hormigón	1.50	8	5.33	0.04
170102	Cerámicos	1.20	8	6.67	0.05
170106	Mezcla hor. y cerám.	1.20	8	6.67	0.05
170201	Madera	0.35	8	22.86	0.18
170203	Plástico	0.08	8	100.00	0.80
170401	Cobre, bronce, latón	2.77	8	2.89	0.02
170402	Aluminio	1.80	8	4.44	0.03
170405	Hierro y acero	5.40	8	1.48	0.01
170802	Mat. a partir de yeso	0.55	8	14.55	0.11
170904	Residuos mezclados (RCD mixto)	1.00	8	8.00	0.06
170904	Residuos mezclados (Rechazos)	1.00	8	8.00	0.06
150101	Env. papel y cartón	0.07	8	114.29	0.91
150102	Envases de plástico	0.08	8	100.00	0.80

Tabla 4.6: Cantidad de acero requerido para el acopio de 1 t de cada fracción de RCD en cubas de 8 m³. Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Procesos de Transporte

El transporte de los RCD a la correspondiente instalación de gestión se realiza en camión y se caracteriza por ser un trayecto de una única recogida, es decir, no tiene continuas paradas para la recogida de los residuos como ocurre en el caso de los RSU. La Tabla 4.7 muestra las características del camión tipo utilizado en las obras para transportar los RCD, según transportistas autorizados de las obras de estudio.

Características camión	
Combustible	diesel
Peso máximo	26 t
Volumen máximo	6, 8, 10 m ³ (según cuba utilizada)
Carga máxima autorizada	14 t
Tara	12 t

Tabla 4.7: Datos del camión utilizado para transportar los RCD desde la obra a los gestores. Fuente: Elaboración propia a partir de datos suministrado por transportista de las obras de estudio

Para el reciclaje de algunas fracciones, el residuo se transporta en primer lugar desde la obra a una planta de recuperación para reducir su volumen, optimizándose el transporte posterior desde la planta de recuperación hasta la planta de reciclaje, que suele estar localizada a una distancia mayor. En estos casos, los camiones empleados son de mayor capacidad, aunque no se dispone de datos exactos.

Para el cálculo de los impactos debidos al transporte, hay que tener en cuenta una serie de factores como el tipo de camión, la carga y las distancias recorridas; así como los trayectos que el camión realiza sin carga, en los que consume menos combustible que cuando va cargado [10]. Para ello, se utiliza el modelo de transporte descrito en el Anexo III, aplicándose un factor de corrección a las distancias que intervienen.

La Tabla 4.8 muestra los factores de corrección (μ) y la distancia que recorre cada tipo de camión en cada escenario. Estas distancias varían según el escenario: en los escenarios R, se computa el trayecto desde la obra hasta la planta de reciclaje o recuperación (DR1), y cuando sea el caso, de la planta de recuperación a la planta de reciclaje (DR2); en los escenarios E, solo se computa el trayecto desde la obra hasta el vertedero (DE1); en los escenarios C se computa el trayecto desde la obra hasta la planta de clasificación (DC1), y desde esta planta hasta la planta de reciclaje, recuperación o vertedero (DC2), así como el de la planta de recuperación a la planta de reciclaje cuando corresponda (DR2).

Para los trayectos DR1, DE1, DC1 y DC2 se considera un camión de 16 toneladas cargado completamente y la carga se calcula según la densidad correspondiente a cada residuo. Para los trayectos DR2, se considera

un camión de 32 toneladas cargado completamente y la carga se calcula según la densidad correspondiente a cada material, al haberse reducido el volumen del residuo en la recuperación. Los datos ambientales asociados a estos procesos se obtienen de la base de datos *EcoInvent*.

		Escenarios E		Escenarios R				Escenarios C				
		Camión 16 t		Camión 16 t		Camión 32 t		Camión 16 t		Camión 32 t		
		μ	DE1 (Km)	μ	DR1 (Km)	μ	DR2 (Km)	μ	DC1 (Km)	DC2 (Km)	μ	DR2 (Km)
170101	Hormigón	0.125	15	0.125	15			0.125	15	0		
170102	Cerámicos	0.149	15	0.149	15			0.149	15	0		
170106	Mezcla hor. y cerám.	0.149	15	0.149	15			0.149	15	0		
170201	Madera	0.391	20	0.391	10	0.074	250	0.391	15	20	(3)	(3)
170203	Plástico	0.947	20					0.947	15	20		
170401	Cobre, bronce, latón	0.104	20	0.104	10	0.052	5	0.104	15	20	(3)	(3)
170402	Aluminio	0.109	20	0.109	10	0.052	5	0.109	15	20	(3)	(3)
170405	Hierro y acero	0.104	20	0.104	10	0.052	5	0.104	15	20	(3)	(3)
170802	Mat. a partir de yeso	0.277	20	0.277	250			0.277	15	20		
170904	Residuos mezclados (RCD mixto)	0.172	20					(1)	15	(2)	(3)	(3)
170904	Residuos mezclados (Rechazos)	0.172	20					(1)	15	20		
150101	Env. papel y cartón	1.001	20	1.001	10	0.204	250	1.001	15	20	(3)	(3)
150102	Envases de plástico	0.947	20	0.947	10			0.947	15	20		

(1) $\mu = 0.172$ para toda fracción sin separar desde la obra a la planta de clasificación, pero una vez separadas se aplica el valor específico de cada fracción.

(2) Se aplican las distancias de cada tipo de RCD a la planta de gestión correspondientes a cada tipo de RCD según el escenario C.

(3) Se aplican μ y las distancias correspondientes a cada tipo de RCD según el escenario R.

Tabla 4.8: Distancias y factores de corrección μ que intervienen en los procesos de transporte de cada escenario.

4.2.3. Procesos de Gestión final

4.2.3.1. Datos a recopilar

Los procesos de gestión final dependen del escenario y de la fracción de RCD. En los escenarios E, todas las fracciones se separan en obra y se eliminan en el correspondiente vertedero: de inertes o de residuos no peligrosos. En los escenarios R, las fracciones se separan en obra y se destinan a la correspondiente instalación de reciclaje, existiendo en algunos casos instalaciones de recuperación intermedia. Por último, en los escenarios C las fracciones se separan en planta de clasificación de RCD y se destinan al correspondiente gestor. La descripción de las instalaciones de gestión se realiza en el capítulo 3.

En los escenarios de reciclaje, se obtienen una serie de productos secundarios que evitan la producción primaria de determinados productos. Los productos primarios y secundarios que intervienen en este estudio son los siguientes: los residuos inertes (hormigón, cerámicos y mezcla de ambos) se reciclan como árido secundario, lo que evita la producción de grava natural; los residuos de madera se suponen utilizados en la fabricación de tablero de partículas, lo que evita la producción de tablero contrachapado; los metales (cobre, aluminio y hierro) se reciclan otra vez como el mismo metal, evitando la producción primaria del metal correspondiente; los residuos de yeso laminado se reciclan otra vez como yeso laminado, evitando la producción de yeso mineral y de pulpa de papel; los residuos de plástico no se reciclan, pero sí se reciclan los envases plásticos otra vez como film, evitando la producción primaria del film de polietileno; los residuos de envases de papel y cartón se destinan a la producción de papel, evitando la producción de pulpa de sulfato; de la fracción de RCD mixto una vez clasificada se reciclan los residuos inertes, metales, madera, y papel y cartón, según lo anterior.

En resumen, los datos a recopilar son los siguientes: datos sobre vertederos de residuos inertes y de no peligrosos; datos sobre plantas de clasificación de RCD; y datos sobre los procesos de producción de los productos secundarios y primarios.

4.2.3.2. Fuentes de datos consultadas

Para obtener los datos se recurre por orden de prioridad a: las empresas implicadas, los datos oficiales, las bases de datos públicas y la bibliografía. Dada la dificultad que entraña la recopilación de datos, finalmente se recurre a la base de datos *EcolInvent*, realizando las modificaciones oportunas en aquellos procesos de los que se dispone de datos obtenidos mediante otras fuentes de mayor calidad o tomándola como base para desarrollar los procesos no disponibles en ella.

Respecto a los datos de otras fuentes, en primer lugar se recurre a las empresas implicadas en la gestión, que en el mejor de los casos ofrecen un dato global estimado, pero por lo general no facilitan los datos requeridos. En segundo lugar se recurre a los datos oficiales publicados en España, en concreto al Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes [11] donde están registradas algunas de las empresas implicadas en este estudio. La Tabla 4.9 muestra los datos obtenidos de empresas consultadas y bases de datos oficiales, que resultan incompletos y poco específicos para el objetivo de este estudio. Otros datos oficiales utilizados son los correspondientes al perfil eléctrico de España 2012 (Tabla 4.10) [12].

	%
Carbón	19.30
Nuclear	22.10
Hidráulica	7.70
Eólica	18.10
Ciclo combinado	14.10
Cogeneración y resto	12.70
Térmica renovable	1.80
Solar Termoelectrónica	1.30
Solar fotovoltaica	2.90

Tabla 4.10. Mix eléctrico español 2012. Fuente: [12]

	Empresa consultada	Consumo por tonelada de residuo					Fuente
		Diesel (l/t)	Electricidad (kWh/t)	Agua (l/t)	Gas natural (t/t)	Biomasa (t/t)	
170201 Madera	TECMASA Reciclados de Andalucía SL	3.49					Empresa [11]
	Tableros TRADEMA, S.L.					0.29	
1704 Metales	Recuperaciones Hermanos Oliva García, S.L.	(1)	(1)	(1)			Empresa [11]
	Siderúrgica Sevillana, S.A.		637.56	653.21 114.86*	0.0000509		
170802 Mat. a partir de yeso	KNAUF GMBH - Planta de Escúzar		60.31	592.69	1124.35 (Nm ³ /t)		[11]
150101 Env. papel y cartón	SMURFIT España, S.A. Fábrica de Mengíbar	7.31	870.69	1189.51* 12854.32	420.32		[11]
150102 Env. plástico	Plásticos la Red		(2)	(2)			Empresa
170904 Residuos mezclados (Rechazos)	Complejo Medioambiental Montemarta-Cónica		286.00	237.41			[11]

(*) de red municipal

(1) datos de consumo proporcionados no distingue entre tipos de metales recuperados, por lo que no es posible determinar qué cantidad le correspondería a la producción de 1 tonelada de cada tipo de metal. Datos: el consumo eléctrico es de 5000 €/mes, el consumo de agua es 350 €/mes y el consumo de diesel de 8000 €/mes.

(2) Los datos de consumo proporcionados incluyen también las actividades de producción de otros plásticos, por lo que no es posible determinar qué cantidad le correspondería a la producción de 1 tonelada de film plástico. Datos: la producción de film plástico de la planta es de 30000 kg al día, y el consumo para todas las actividades de la planta es de 100 m³ de agua y 30000 euros en electricidad al mes.

Tabla 4.9. Datos de algunas de las empresas implicadas en la gestión. Consumos por tonelada de RCD. Fuente: Elaboración propia a partir de consultas a empresas y [11]

Por último, en la base de datos *EcolInvent* no están disponibles los procesos relacionados con el reciclaje de inertes, para los que se recurre a la bibliografía. La Tabla 4.11 muestra una relación de datos extraídos de otros estudios y la dispersión que cada uno de ellos supone respecto a la media.

Estudio	Geografía	Tipo de planta / Fases	Tipo de árido	Consumos			Dispersión respecto al consumo medio		
				Diesel (l/t)	Electricidad (kWh/t)	Agua (l/t)	Diesel	Electr.	Agua
Mercante et al., 2012 [4]	España	Clasificación	-	0.24	0.2	0.5	-	-	-
		Plantas tipo II Trituración primaria	0-40 mm	0.19	0.24	0.5	-65 %	-68 %	-35 %
		Trituración primaria y secundaria, y cribado	0-20; 20-40; 40-80 mm	1.02	2.59	1.00	+85 %	+244 %	+30 %
Mercante et al., 2012 [4]	España	Plantas tipo I Clasificación	-	0.34	2.06	0.5	-	-	-
		Trituración primaria	0-40 mm	0.28	-	0.5	-49 %	-100 %	-35 %
Mercante et al., 2010 [13]	España / Argentina	Clasificación	-	0.35	0.47	0.5	-	-	-
		Trituración primaria	0-40 mm	0.35	0.97	0.5	-36 %	+30 %	-35 %
Blengini & Garbarino, 2010 [14]	Italia	Planta Móvil	Baja calidad	0.68	-	-	+25 %	-100 %	-100 %
Blengini & Garbarino, 2010 [14]	Italia	Planta Semi-móvil (Clasificación+Reciclaje)	Media y baja calidad	0.70	-	-	+28 %	-100 %	-100 %
Blengini & Garbarino, 2010 [14]	Italia	Planta Fija (Clasificación+Reciclaje)	Alta, media y baja calidad	0.68	0.72	6.7	+23 %	-4 %	+773 %
Marinkovic et al., 2010 [15]	Serbia	Planta móvil	Árido grueso de hormigón	0.50	-	-	-8 %	-100 %	-100 %
Álvarez, 2010 [16]	España	Planta Fija (Clasificación+Reciclaje)	0-20; 20-40; 40-80; 0-40 mm	0.32	2.89	0.005	-41 %	+284 %	-99 %
Álvarez, 2010 [16]	España	Planta Fija (Clasificación+Reciclaje)	s/d	0.44	1.6	0.002	-20 %	+113 %	-99 %
Grant & James, 2005 [17]	Australia	Sin especificar	De hormigón	0.55	-	70	0 %	-100 %	-
Aguado et al., 2004 [7]	España	Sin especificar	De hormigón	0.87	-	-	+58 %	-100 %	-100 %
Consumos medio				0.55	0.75	0.76*			

*no se ha tenido en cuenta a Grant & James, 2005, por considerarse excesivo

Tabla 4.11. Inventarios para las plantas de tratamiento de RCD según bibliografía. Fuente: Elaboración propia a partir de la bibliografía indicada

4.2.3.3. Cantidades de procesos unitarios que intervienen en los escenarios de reciclaje

Como se indicó en el apartado 4.1.5., en los escenarios en los que interviene el reciclaje, para evitar el problema de asignación asociado, se utiliza el método de "sustitución mediante expansión del sistema" o método de las "cargas evitadas" [5]. Este se basa en que los materiales secundarios obtenidos de las actividades de reciclaje son utilizados en sustitución del correspondiente material primario, lo que genera que se eviten una serie de impactos. Por tanto, en estos escenarios es necesario conocer tanto la cantidad de producto secundario generado como la cantidad de producto primario evitado.

Para calcular la cantidad de producto secundario generado, se deben considerar las pérdidas de material que se producen durante los procesos de clasificación y reciclaje. Rigamonti et al., 2009 utilizan para ello el índice de eficiencia del reciclaje, que contempla la eficiencia de los procesos de clasificación y de recuperación [18]. En este estudio, no se considera la eficiencia de la clasificación, ya que en los casos en los que se realiza separación en obra no existen pérdidas por clasificación [19] y en los que se separa en planta, por hipótesis se considera que estas pérdidas son nulas, es decir, la eficiencia de la clasificación es del 100% en todo caso. Así pues, solo se considera la eficiencia de la recuperación, que contempla las pérdidas debidas al proceso de recuperación.

Para establecer la eficiencia de la recuperación, se toman como referencia los datos de *EcolInvent* [26], excepto cuando no existe dicho dato o se dispone del dato directo de la empresa. El único dato obtenido directamente de empresas implicadas es para el reciclaje de film plástico, que según *Plásticos La Red*, el reciclaje del film procedente de construcción tiene una eficiencia de recuperación del 50%, es decir, solo se recupera el 50% de la cantidad total que se destina a reciclaje. Entre los procesos de reciclaje que no contempla *EcolInvent* se encuentran los de las fracciones de hormigón y cerámicos, para los que se recurre a la bibliografía, extrayéndose los siguientes datos: (a) Grant & James, 2005 consideran que se recupera un 90% para cerámicos y un 98.9% para hormigón con contenido del 1% de armadura de acero [17]; (b) DECCW, 2010 consideran que se recupera un 90% para cerámicos y un 99.6% para hormigón con contenido del 1% de armadura de acero [19]; (c) Blengini & Garbarino, 2010 consideran que se recupera un 99.76% de áridos, siendo 0.24% restante debido a las armaduras del hormigón [14]. A partir de estos datos, se toman como porcentajes un 90% para cerámicos y un 100% para hormigón, suponiendo que el hormigón está limpio de armaduras (Hipótesis HP 1.2, aceptable en obras de nueva planta).

		Producto secundario	Producto primario	Índice de sustitución	Fuente
1701	Fracciones inertes	Árido reciclado	Grava	1:1.00	[4,14]
170201	Madera	Tablero de partículas	Tablero contrachapado	1:0.60	[8]
17 04	Metales	Metal	Metal	1:1.00	[8]
170802	Mat. a partir de yeso	Yeso	Yeso	1:1.00	[20]
150101	Env. papel y cartón	Pulpa de papel recuperado	Pulpa de papel	1:0.83	[8]
150102	Envases de plástico	Film reciclado	Film de material virgen	1:0.86	[8, 21]

Tabla 4.12: Índices de sustitución considerados para cada residuo. Productos secundarios obtenidos del reciclaje y productos primarios reemplazados. Fuente: Elaboración propia basada en [4] y [8]

Respecto al cálculo de las cantidades de productos primarios que evitan los productos secundarios, es necesario establecer la equivalencia entre los productos primario y secundario, lo que se realiza mediante los índices de sustitución (Tabla 4.12). El cálculo de estos índices se realiza según el procedimiento descrito en el Anexo I, basado en las propiedades físicas o el valor económico de los productos.

4.2.4. Inventario de Ciclo de Vida por tipo de RCD y escenario analizado

Para cada fracción de RCD analizada se especifican las cantidades de los procesos implicados en los escenarios E (Tabla 4.13), escenarios R (Tabla 4.14) y escenarios C (Tabla 4.15).

Proceso	Unidad	E Hormig.	E Cerám.	E Mezcla	E Madera	E Plásticos	E Cobre	E Aluminio	E Acero	E Yeso	E Env.P y C	E Env.Plás.	E Restos	E Mixto
ACOPIO	kg	4.30E-02	5.30E-02	4.62E-02	1.83E-01	8.01E-01	2.30E-02	3.60E-02	1.20E-02	1.17E-01	9.16E-01	8.01E-01	6.40E-02	6.40E-02
TRANSPORTE > 16 T	tkm	1.88E+00	2.24E+00	1.99E+00	7.82E+00	1.89E+01	2.08E+00	2.17E+00	2.08E+00	5.55E+00	2.00E+01	1.89E+01	3.45E+00	3.45E+00
ELIMIN.HORMIGÓN EN VERT. IN.	kg	1.00E+03		6.78E+02										
ELIMIN. INERTES EN VERT. IN.	kg		1.00E+03	3.22E+02										
ELIMIN. DE MADERA EN VERT. NP.	kg				1.00E+03									5.87E+00
ELIMIN. PLÁSTICOS EN VERT. NP.	kg					1.00E+03								1.30E+01
ELIMIN. ALUMINIO EN VERT. NP.	kg						1.00E+03	1.00E+03						1.44E+01
ELIMIN. ACERO EN VERT. NP.	kg								1.00E+03					1.96E+00
ELIMIN. YESO EN VERT. NP.	kg									9.10E+02				1.10E+01
ELIMIN. INERTES EN VERT. NP.	kg									2.00E+01			1.00E+03	9.59E+02
ELIMIN. CARTÓN EN VERT. NP.	kg									7.00E+01	1.00E+03			9.40E+00
ELIMIN. POLIETILENO EN VERT. NP.	kg											1.00E+03		

Tabla 4.13: Inventarios de los escenarios E para cada fracción de RCD. Fuente: Elaboración propia

Proceso	Unidad	R Hormig.	R Cerám.	R Mezcla	R Madera	R Cobre	R Aluminio	R Acero	R Yeso	R Env.P y C	R Env.Plás.
ACOPIO	kg	4.30E-02	5.30E-02	4.62E-02	1.80E-01	2.30E-02	3.60E-02	1.20E-02	1.16E-01	9.16E-01	8.01E-01
TRANSPORTE > 16 t	tkm	1.88E+00	2.24E+00	1.99E+00	3.91E+00	1.04E+00	1.09E+00	1.04E+00	6.93E+01	1.00E+01	9.47E+00
TRANSPORTE > 32 t	tkm				1.85E+01	2.60E-01	2.60E-01	2.60E-01		5.09E+01	
ELIMIN. PLÁSTICOS EN VERT. NP.	kg										
ELIMIN. YESO EN VERT. NP.	kg										
ELIMIN. INERTES EN VERT. NP.	kg								2.00E+01		
CLASIFICACIÓN MIXTO	kg										
ARIDO DE HORMIGON 0-40 mm	kg	1.00E+03		6.78E+02							
ARIDO CERÁMICO 0-40 mm	kg		9.00E+02	2.90E+02							
TABLERO DE PARTÍCULAS	m3				1.21E+00						
COBRE SECUNDARIO	kg					7.00E+02					
ALUMINIO SECUNDARIO	kg						9.70E+02				
ACERO, ARCO ELÉCTRICO	kg							9.00E+02			
PAPEL RECUPERADO	kg										
FILM RECICLADO	kg									1.00E+03	
FILM RECICLADO	kg										1.00E+03
GRAVA NATURAL	kg	-1.00E+03	-9.00E+02	-9.68E+02							
TABLERO CONTRACHAPADO	m3				7.23E-01						
COBRE PRIMARIO	kg					-7.00E+02					
ALUMINIO PRIMARIO	kg						-9.70E+02				
ACERO PRIMARIO	kg							-9.00E+02			
YESO	kg								-1.00E+03		
PULPA DE SULFATO	kg								-5.83E+01	-8.33E+02	
FILM DE POLIETILENO	kg										-4.30E+02

Tabla 4.14: Inventarios de los escenarios R para cada fracción de RCD. Fuente: Elaboración propia

Proceso	Unidad	C Hormig.	C Cerám.	C Mezcla	C Madera	C Plásticos	C Cobre	C Aluminio	C Acero	C Yeso	C Env.P y C	C Env.Plás.	C Restos	C Mixto
ACOPIO	kg	4.30E-02	5.30E-02	5.30E-02	1.80E-01	8.01E-01	2.30E-02	3.60E-02	1.20E-02	1.17E-01	9.16E-01	8.01E-01	6.40E-02	6.40E-02
TRANSPORTE > 16 T	tkm	1.88E+00	2.24E+00	2.24E+00	1.37E+01	3.31E+01	3.65E+00	3.80E+00	3.65E+00	9.70E+00	3.50E+01	3.31E+01	6.04E+00	3.20E+00
TRANSPORTE > 32 T	tkm				1.85E+01		2.60E-01	2.60E-01	2.60E-01		5.09E+01			5.88E-01
ELIMIN. PLÁSTICOS EN VERT. NP.	kg					1.00E+03						1.00E+03		1.30E+01
ELIMIN. YESO EN VERT. NP.	kg									9.10E+02				1.10E+01
ELIMIN. INERTES EN VERT. NP.	kg									2.00E+01			1.00E+03	2.01E+01
ELIMIN. CARTÓN EN VERT. NP.	kg									7.00E+01				
CLASIFICACIÓN MIXTO	kg	1.00E+03	1.00E+03	1.00E+03	1.80E-01	1.00E+03	1.00E+03	1.00E+03	1.00E+03	1.00E+03	1.00E+03	1.00E+03	1.00E+03	1.00E+03
ARIDO DE HORMIGON 0-40 mm	kg	1.00E+03		6.78E+02										6.36E+02
ARIDO CERÁMICO 0-40 mm	kg		9.00E+02	3.22E+02										2.72E+02
TABLERO DE PARTÍCULAS	m3				1.21E+00									7.07E-03
COBRE SECUNDARIO	kg						7.00E+02							1.00E-01
ALUMINIO SECUNDARIO	kg							9.70E+02						
ACERO, ARCO ELÉCTRICO	kg								9.00E+02					1.76E+00
PAPEL RECUPERADO	kg										1.00E+03			9.41E+00
GRAVA NATURAL	kg	1.00E+03	9.00E+02	9.00E+02										-9.08E+02
TABLERO CONTRACHAPADO	m3				7.23E-01									4.24E-03
COBRE PRIMARIO	kg						7.00E+02							-1.00E-01
ALUMINIO PRIMARIO	kg							9.70E+02						
ACERO PRIMARIO	kg								9.00E+02					-1.76E+00
PULPA DE SULFATO	kg										8.33E+02			-7.84E+00

Tabla 4.15: Inventarios de los escenarios C para cada fracción de RCD. Fuente: Elaboración propia

4.2.5. Calidad de los datos empleados

Se resume la procedencia y calidad de los datos empleados en el presente ICV (Tabla 4.16):

	Fuente de datos	Geografía	Antigüedad (años)	Tecnología
Acopio	Cantidades de procesos unitarios - Datos propios - Literatura: [4], [9]	España	< 4	Media
	Procesos unitarios - Base de datos: EcoInvent	Europa	< 10	Media
Transporte	Cantidades de procesos unitarios - Datos propios - Literatura: [10]	Sevilla	< 2	Media
	Procesos unitarios - Base de datos: EcoInvent	Europa	< 10	Media
Gestión Final	Cantidades de procesos unitarios - Datos propios - Base de datos: EcoInvent - Literatura: [22], [23], [19], [17]	Andalucía Europa	< 10	Media
	Procesos unitarios - Base de datos: EcoInvent adaptados según datos oficiales [12], datos propios y literatura [13]	Europa	< 10	Media
Procesos evitados	Cantidades de procesos unitarios - Datos oficiales: [21] - Literatura: [4], [8]	Europa	< 4	Media
	Procesos unitarios - Base de datos: EcoInvent adaptados según datos oficiales [21]	Europa	< 10	Media

Tabla 4.16: Calidad de los datos empleados en los ICV de cada escenario. Fuente: Elaboración propia

Las cantidades de procesos unitarios asociados al acopio y al transporte se obtienen aplicando datos propios y de la literatura: en el caso del acopio se calculan según el volumen de la cuba y la densidad del RCD (apdo. 4.2.1); y para el transporte, aplicando el factor de corrección μ (Tabla 4.8) a las distancias estimadas (apdo. 4.2.2). El cálculo de las cantidades de procesos asociados a la gestión final y a los productos evitados se describe en el apdo. 4.2.3.3: para la gestión final se recurre a datos de empresas, bases de datos y literatura; y para los productos evitados se aplican los índices de la Tabla 4.12, según literatura.

Los datos ambientales asociados a los procesos unitarios se obtienen de la base de datos *EcoInvent* [26], modificados puntualmente si se dispone de un dato de mayor calidad o si el proceso no está disponible. Los datos de mayor calidad empleados son: perfil eléctrico español (Tabla 4.10) y datos de empresa de trituración de madera (Tabla 4.9). Los datos no disponibles o incompletos son los de reciclaje de las fracciones inertes y los de clasificación en planta de RCD, recurriéndose a la literatura.

4.3. EVALUACIÓN DE IMPACTOS DEL CICLO DE VIDA Y RESULTADOS

4.3.1. Impactos de la gestión de 1 tonelada de cada fracción

Para cada una de las trece fracciones consideradas, los impactos se calculan para las categorías de impacto descritas en el apartado 4.1.6, aplicando las metodologías CML y CED. La evaluación se lleva a cabo según los elementos obligatorios establecidos en las ISO 14040:2006 y 14044:2006. Los cálculos se realizan mediante una herramienta informática de ACV, seleccionándose el programa *SimaPro v. 7.1*, de *PRé Consultants*.

A continuación se exponen los resultados obtenidos para cada fracción según los escenarios E, R y C, de acuerdo con las figuras 4.5-4.17. En cada escenario se consideran las cargas asociadas al acopio, el transporte, la clasificación, la eliminación y/o el reciclaje y los procesos evitados.

4.3.1.1. 17 01 01 Hormigón, según los escenarios E, R y C(R)

	AcoPIO	Transporte (16 t)	Clasificación	Árido reciclado	Árido natural	Eliminación	Total
Escenario R	AP (kg SO2 eq)	2.92E-04	1.05E-03	1.08E-02	-1.74E-02		-5.25E-03
	EP (kg PO4--- eq)	5.48E-05	2.38E-04	1.97E-03	-2.67E-03		-4.10E-04
	GWP (kg CO2 eq)	7.33E-02	1.84E-01	1.36E+00	-2.37E+00		-7.62E-01
	ODP (kg CFC-11 eq)	2.77E-09	2.78E-08	1.50E-07	-2.42E-07		-6.16E-08
	HTP (kg 1,4-DB eq)	1.59E-01	1.19E-02	6.86E-01	-9.54E-01		-9.73E-02
	POP(kg C2H4)	3.71E-05	2.55E-05	2.84E-04	-5.24E-04		-1.78E-04
	CED (MJ eq)	1.16E+00	2.65E+00	2.33E+01	-4.42E+01		-1.70E+01
	CED F (MJ eq)	9.83E-01	2.62E+00	1.94E+01	-3.33E+01		-1.03E+01
	CED N (MJ eq)	1.35E-01	1.96E-02	2.93E+00	-8.06E+00		-4.98E+00
	CED B (MJ eq)	3.38E-03	4.14E-04	3.64E-03	-1.20E-02		-4.60E-03
	CED WSG (MJ eq)	4.38E-03	1.00E-03	7.06E-01	-1.97E+00		-1.25E+00
	CED W (MJ eq)	3.19E-02	2.12E-03	3.11E-01	-8.61E-01		-5.16E-01
	Escenario E	AP (kg SO2 eq)	2.92E-04	1.05E-03			1.87E-02
EP (kg PO4--- eq)		5.48E-05	2.38E-04			3.99E-03	4.28E-03
GWP (kg CO2 eq)		7.33E-02	1.84E-01			2.44E+00	2.70E+00
ODP (kg CFC-11 eq)		2.77E-09	2.78E-08			3.15E-07	3.46E-07
HTP (kg 1,4-DB eq)		1.59E-01	1.19E-02			1.39E+00	1.56E+00
POP(kg C2H4)		3.71E-05	2.55E-05			4.50E-04	5.12E-04
CED (MJ eq)		1.16E+00	2.65E+00			3.65E+01	4.03E+01
CED F (MJ eq)		9.83E-01	2.62E+00			3.61E+01	3.97E+01
CED N (MJ eq)		1.35E-01	1.96E-02			3.46E-01	5.01E-01
CED B (MJ eq)		3.38E-03	4.14E-04			6.67E-03	1.05E-02
CED WSG (MJ eq)		4.38E-03	1.00E-03			2.38E-02	2.92E-02
CED W (MJ eq)		3.19E-02	2.12E-03			3.75E-02	7.15E-02
Escenario C		AP (kg SO2 eq)	2.92E-04	1.05E-03	9.63E-03	1.08E-02	-1.74E-02
	EP (kg PO4--- eq)	5.48E-05	2.38E-04	1.90E-03	1.97E-03	-2.67E-03	1.49E-03
	GWP (kg CO2 eq)	7.33E-02	1.84E-01	1.21E+00	1.36E+00	-2.37E+00	4.49E-01
	ODP (kg CFC-11 eq)	2.77E-09	2.78E-08	1.44E-07	1.50E-07	-2.42E-07	8.22E-08
	HTP (kg 1,4-DB eq)	1.59E-01	1.19E-02	6.60E-01	6.86E-01	-9.54E-01	5.63E-01
	POP(kg C2H4)	3.71E-05	2.55E-05	2.42E-04	2.84E-04	-5.24E-04	6.42E-05
	CED (MJ eq)	1.16E+00	2.65E+00	1.96E+01	2.33E+01	-4.42E+01	2.60E+00
	CED F (MJ eq)	9.83E-01	2.62E+00	1.76E+01	1.94E+01	-3.33E+01	7.35E+00
	CED N (MJ eq)	1.35E-01	1.96E-02	1.49E+00	2.93E+00	-8.06E+00	-3.49E+00
	CED B (MJ eq)	3.38E-03	4.14E-04	3.29E-03	3.64E-03	-1.20E-02	-1.30E-03
	CED WSG (MJ eq)	4.38E-03	1.00E-03	3.46E-01	7.06E-01	-1.97E+00	-9.08E-01
	CED W (MJ eq)	3.19E-02	2.12E-03	1.59E-01	3.11E-01	-8.61E-01	-3.58E-01

Tabla 4.17. Impactos de la gestión de 1 tonelada de RCD de hormigón: escenarios R, E y C(R).

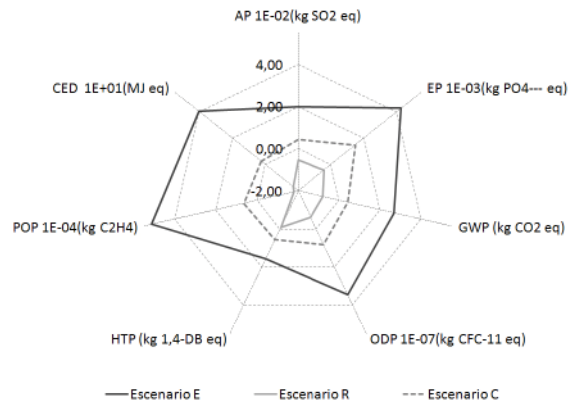
Para todos los indicadores, el escenario E es el que más impactos genera, pudiéndose evitar aplicando el escenario R entre un 106 -142% de los impactos, y aplicando el escenario C, entre un 64-93%, dependiendo de cada indicador (Fig. 4.18).

- Escenario E: En este escenario, los mayores impactos son debidos al tratamiento de eliminación, con contribuciones a los resultados totales superiores al 87% en todos los indicadores. La contribución del acopio siempre es menor del 3% excepto en los indicadores HTP y POP, con un 10% y un 7% respectivamente. Por último, la contribución del transporte es menor del 1% para el indicador HTP, y entre el 5-8% para el resto de indicadores (Fig. 4.19).

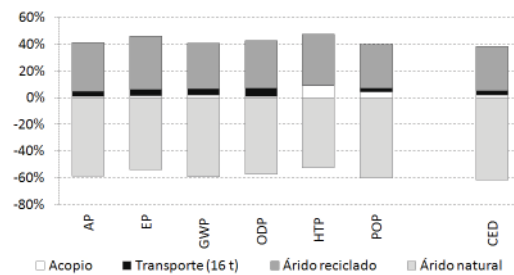
- Escenario R: En este escenario, todos los indicadores resultan negativos debido a las cargas evitadas por el reciclaje como áridos, que suponen más del 50% de los resultados totales en todos los indicadores. Los procesos de reciclaje son los responsables de la mayoría de los impactos, suponiendo para todos los indicadores entre un 32-40% de las cargas. El acopio es poca relevante, siendo su contribución menor del 2%, excepto en los indicadores HTP y POP, con un 9% y un 4% respectivamente. Por último, el transporte contribuye menos del 1% para el indicador HTP, y entre el 3-7% para el resto de indicadores (Fig. 4.20).

- Escenario C(R): En este escenario, aunque el tratamiento sea de reciclaje y se eviten cargas, ningún indicador resulta negativo. Las cargas evitadas suponen entre un 38-50%. La mayoría de los impactos son debidos a los procesos de reciclaje y de clasificación, suponiendo cada uno entre un 20-29% de las cargas. El acopio es el que menos contribuye, no superando el 1,5%, excepto en los indicadores HTP y POP, con un 6% y un 3% respectivamente. Por último, el transporte contribuye menos del 1% para el indicador HTP, y entre el 3-5% para el resto de indicadores (Fig. 4.21).

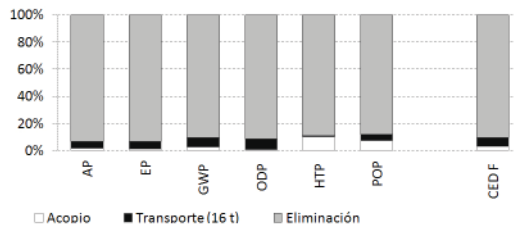
Escenarios R, E y C



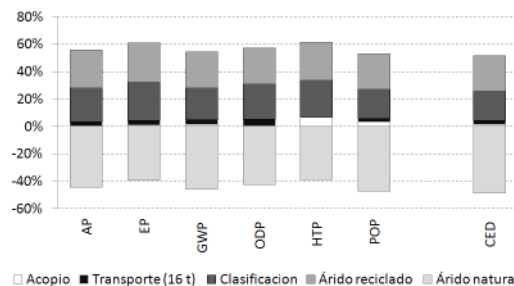
Escenario R



Escenario E



Escenario C



Figuras 4.18-4.21. Impactos de los escenarios E, R y C(R) de 1 tonelada de RCD de Hormigón.

4.3.1.2. 17 01 02 Ladrillos y 17 01 03 Tejas y materiales cerámicos, según los escenarios E, R y C(R)

	AcoPIO	Transporte (16 t)	Clasificación	Árido reciclado	Árido natural	Eliminación	Total
Escenario R	AP (kg SO2 eq)	3.60E-04		9.70E-03	-1.56E-02		-4.32E-03
	EP (kg PO4--- eq)	6.75E-05		1.77E-03	-2.40E-03		-2.81E-04
	GWP (kg CO2 eq)	9.03E-02	2.20E-01	1.22E+00	-2.14E+00		-6.08E-01
	ODP (kg CFC-11 eq)	3.42E-09	3.32E-08	1.35E-07	-2.18E-07		-4.64E-08
	HTP (kg 1,4-DB eq)	1.96E-01	1.41E-02	6.18E-01	-8.59E-01		-3.13E-02
	POP(kg C2H4)	4.57E-05	3.05E-05	2.55E-04	-4.71E-04		-1.40E-04
	CED (MJ eq)	1.43E+00	3.16E+00	2.10E+01	-3.97E+01		-1.42E+01
	CED F (MJ eq)	1.21E+00	3.13E+00	1.74E+01	-2.99E+01		-8.14E+00
	CED N (MJ eq)	1.67E-01	2.34E-02	2.63E+00	-7.25E+00		-4.43E+00
	CED B (MJ eq)	4.17E-03	4.93E-04	3.28E-03	-1.08E-02		-2.89E-03
	CED WSG (MJ eq)	5.39E-03	1.20E-03	6.36E-01	-1.77E+00		-1.13E+00
	CED W (MJ eq)	3.93E-02	2.53E-03	2.80E-01	-7.75E-01		-4.53E-01
	Escenario E	AP (kg SO2 eq)	3.60E-04				1.87E-02
EP (kg PO4--- eq)		6.75E-05				3.99E-03	4.34E-03
GWP (kg CO2 eq)		9.03E-02	2.20E-01			2.44E+00	2.75E+00
ODP (kg CFC-11 eq)		3.42E-09	3.32E-08			3.15E-07	3.52E-07
HTP (kg 1,4-DB eq)		1.96E-01	1.41E-02			1.39E+00	1.60E+00
POP(kg C2H4)		4.57E-05	3.05E-05			4.50E-04	5.26E-04
CED (MJ eq)		1.43E+00	3.16E+00			3.65E+01	4.11E+01
CED F (MJ eq)		1.21E+00	3.13E+00			3.61E+01	4.04E+01
CED N (MJ eq)		1.67E-01	2.34E-02			3.46E-01	5.36E-01
CED B (MJ eq)		4.17E-03	4.93E-04			6.67E-03	1.13E-02
CED WSG (MJ eq)		5.39E-03	1.20E-03			2.38E-02	3.04E-02
CED W (MJ eq)		3.93E-02	2.53E-03			3.75E-02	7.93E-02
Escenario C		AP (kg SO2 eq)	3.60E-04	1.25E-03	9.63E-03	9.70E-03	-1.56E-02
	EP (kg PO4--- eq)	6.75E-05	2.84E-04	1.90E-03	1.77E-03	-2.40E-03	1.62E-03
	GWP (kg CO2 eq)	9.03E-02	2.20E-01	1.21E+00	1.22E+00	-2.14E+00	6.03E-01
	ODP (kg CFC-11 eq)	3.42E-09	3.32E-08	1.44E-07	1.35E-07	-2.18E-07	9.75E-08
	HTP (kg 1,4-DB eq)	1.96E-01	1.41E-02	6.60E-01	6.18E-01	-8.59E-01	6.29E-01
	POP(kg C2H4)	4.57E-05	3.05E-05	2.42E-04	2.55E-04	-4.71E-04	1.02E-04
	CED (MJ eq)	1.43E+00	3.16E+00	1.96E+01	2.10E+01	-3.97E+01	5.46E+00
	CED F (MJ eq)	1.21E+00	3.13E+00	1.76E+01	1.74E+01	-2.99E+01	9.47E+00
	CED N (MJ eq)	1.67E-01	2.34E-02	1.49E+00	2.63E+00	-7.25E+00	-2.94E+00
	CED B (MJ eq)	4.17E-03	4.93E-04	3.29E-03	3.28E-03	-1.08E-02	4.02E-04
	CED WSG (MJ eq)	5.39E-03	1.20E-03	3.46E-01	6.36E-01	-1.77E+00	-7.81E-01
	CED W (MJ eq)	3.93E-02	2.53E-03	1.59E-01	2.80E-01	-7.75E-01	-2.95E-01

Tabla 4.18. Impactos de la gestión de 1 tonelada de RCD cerámicos: escenarios R, E y C(R).

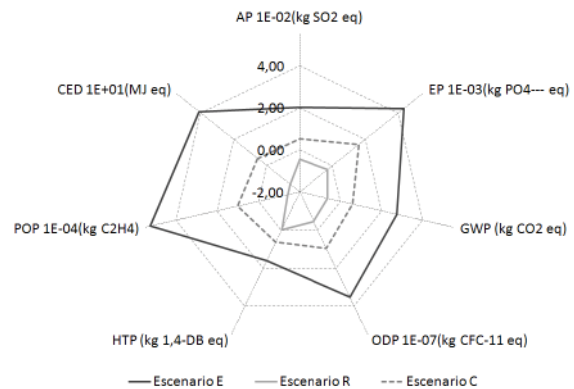
Para todos los indicadores, el escenario E es el que más impactos genera, pudiéndose evitar aplicando el escenario R entre un 102 -135% de los impactos, y aplicando el escenario C, entre un 61-87% (Fig. 4.22).

- Escenario E: Los procesos de eliminación en vertedero son los más relevantes en este escenario, con contribuciones a los resultados totales superiores al 85% en todos los indicadores. El acopio contribuye siempre menos del 4% excepto en los indicadores HTP y POP, con un 12% y un 9% respectivamente. Por último, el transporte contribuye menos del 1% para el indicador HTP, y entre el 5-10% para el resto de indicadores (Fig. 4.23).

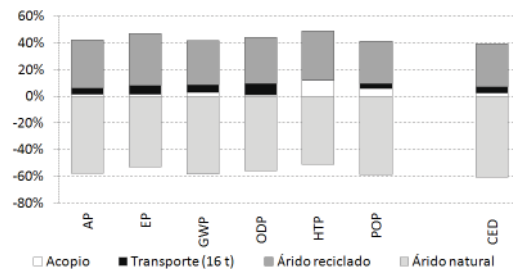
- Escenario R: Todos los indicadores resultan negativos debido a las cargas evitadas por el reciclaje como áridos, que son siempre superiores al 50%. Los procesos de reciclaje son los responsables de la mayoría de los impactos, suponiendo para todos los indicadores entre un 32-40% de las cargas. El acopio es poca relevante, contribuyendo menos del 2,5%, excepto en los indicadores HTP y POP, con un 12% y un 6% respectivamente. Por último, el transporte contribuye menos del 1% para el indicador HTP, y entre el 3-9% para el resto de indicadores (Fig. 4.24).

- Escenario C(R): En este escenario, aunque el tratamiento es de reciclaje, ningún indicador resulta negativo. Las cargas evitadas suponen entre un 35-47%. La mayoría de los impactos se reparten entre los procesos de reciclaje y de clasificación, suponiendo cada uno entre un 23-29% de las cargas. El acopio es el que menos contribuye, no superando el 2%, excepto para los indicadores HTP y POP, con un 8% y un 4% respectivamente. Por último, el transporte contribuye menos del 1% para el indicador HTP, y entre el 3-6% para el resto de indicadores (Fig. 4.25).

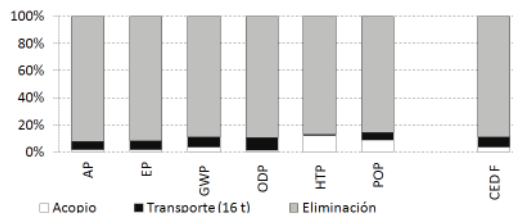
Escenarios R, E y C



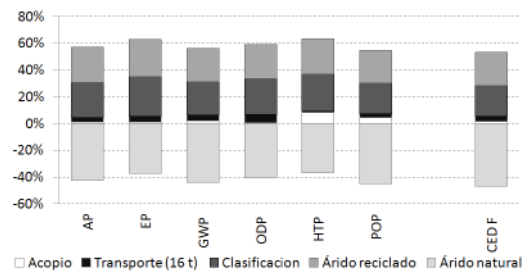
Escenario R



Escenario E



Escenario C



Figuras 4.22-4.25. Impactos de los escenarios E, R y C(R) de 1 tonelada de RCD Cerámicos.

4.3.1.3. 17 01 07 Mezclas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos, según los escenarios E, R y C(R)

	Acopio	Transporte (16 t)	Clasificación	Árido reciclado	Árido natural	Eliminación	Total
Escenario R	AP (kg SO2 eq)	3.60E-04	1.25E-03	1.08E-02	-1.56E-02		-3.24E-03
	EP (kg PO4--- eq)	6.75E-05	2.85E-04	1.97E-03	-2.40E-03		-8.40E-05
	GWP (kg CO2 eq)	9.03E-02	2.20E-01	1.36E+00	-2.14E+00		-4.72E-01
	ODP (kg CFC-11 eq)	3.42E-09	3.32E-08	1.50E-07	-2.18E-07		-3.13E-08
	HTP (kg 1,4-DB eq)	1.96E-01	1.42E-02	6.86E-01	-8.59E-01		3.73E-02
	POP(kg C2H4)	4.57E-05	3.05E-05	2.84E-04	-4.71E-04		-1.12E-04
	CED (MJ eq)	1.43E+00	3.16E+00	2.33E+01	-3.97E+01		-1.18E+01
	CED F (MJ eq)	1.21E+00	3.13E+00	1.94E+01	-2.99E+01		-6.19E+00
	CED N (MJ eq)	1.67E-01	2.34E-02	2.93E+00	-7.25E+00		-4.14E+00
	CED B (MJ eq)	4.17E-03	4.94E-04	3.64E-03	-1.08E-02		-2.53E-03
	CED WSG (MJ eq)	5.39E-03	1.20E-03	7.06E-01	-1.77E+00		-1.06E+00
	CED W (MJ eq)	3.93E-02	2.53E-03	3.11E-01	-7.75E-01		-4.22E-01
	Escenario E	AP (kg SO2 eq)	3.60E-04	1.25E-03			1.87E-02
EP (kg PO4--- eq)		6.75E-05	2.85E-04			3.99E-03	4.34E-03
GWP (kg CO2 eq)		9.03E-02	2.20E-01			2.44E+00	2.75E+00
ODP (kg CFC-11 eq)		3.42E-09	3.32E-08			3.15E-07	3.52E-07
HTP (kg 1,4-DB eq)		1.96E-01	1.42E-02			1.39E+00	1.60E+00
POP(kg C2H4)		4.57E-05	3.05E-05			4.50E-04	5.26E-04
CED (MJ eq)		1.43E+00	3.16E+00			3.65E+01	4.11E+01
CED F (MJ eq)		1.21E+00	3.13E+00			3.61E+01	4.05E+01
CED N (MJ eq)		1.67E-01	2.34E-02			3.46E-01	5.36E-01
CED B (MJ eq)		4.17E-03	4.94E-04			6.67E-03	1.13E-02
CED WSG (MJ eq)		5.39E-03	1.20E-03			2.38E-02	3.04E-02
CED W (MJ eq)		3.93E-02	2.53E-03			3.75E-02	7.93E-02
Escenario C		AP (kg SO2 eq)	3.60E-04	1.25E-03	9.63E-03	1.08E-02	-1.56E-02
	EP (kg PO4--- eq)	6.75E-05	2.85E-04	1.90E-03	1.97E-03	-2.40E-03	1.82E-03
	GWP (kg CO2 eq)	9.03E-02	2.20E-01	1.21E+00	1.36E+00	-2.14E+00	7.39E-01
	ODP (kg CFC-11 eq)	3.42E-09	3.32E-08	1.44E-07	1.50E-07	-2.18E-07	1.13E-07
	HTP (kg 1,4-DB eq)	1.96E-01	1.42E-02	6.60E-01	6.86E-01	-8.59E-01	6.98E-01
	POP(kg C2H4)	4.57E-05	3.05E-05	2.42E-04	2.84E-04	-4.71E-04	1.30E-04
	CED (MJ eq)	1.43E+00	3.16E+00	1.96E+01	2.33E+01	-3.97E+01	7.80E+00
	CED F (MJ eq)	1.21E+00	3.13E+00	1.76E+01	1.94E+01	-2.99E+01	1.14E+01
	CED N (MJ eq)	1.67E-01	2.34E-02	1.49E+00	0.00E+00	-7.25E+00	-2.65E+00
	CED B (MJ eq)	4.17E-03	4.94E-04	3.29E-03	0.00E+00	-1.08E-02	7.68E-04
	CED WSG (MJ eq)	5.39E-03	1.20E-03	3.46E-01	0.00E+00	-1.77E+00	-7.10E-01
	CED W (MJ eq)	3.93E-02	2.53E-03	1.59E-01	0.00E+00	-7.75E-01	-2.64E-01

Tabla 4.19. Impactos de la gestión de 1 tonelada de RCD mezclados de hormigón y cerámicos: escenarios R, E y C(R).

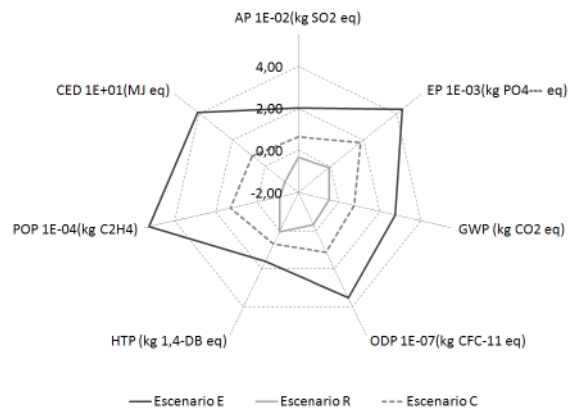
Para todos los indicadores, el escenario E es el que más impactos genera, pudiéndose evitar aplicando el escenario R entre un 98 -129% de los impactos, y aplicando el escenario C, entre un 57-82% (Fig. 4.26).

- Escenario E: Los procesos de eliminación en vertedero son los más relevantes en este escenario, contribuyendo a los resultados totales más del 85% en todos los indicadores. El acopio contribuye siempre menos del 4% excepto en los indicadores HTP y POP, con un 12% y un 9% respectivamente. Por último, el transporte contribuye menos del 1% para el indicador HTP, y entre el 5-9% en el resto de indicadores (Fig. 4.27).

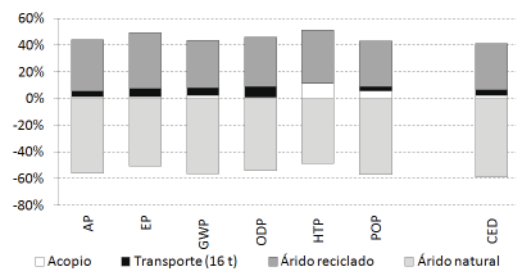
- Escenario R: Excepto el indicador HTP, el resto de indicadores resultan negativos debido a las cargas evitadas por el reciclaje como áridos, que son siempre superiores al 48%. Los procesos de reciclaje son los responsables de la mayoría de los impactos, suponiendo para todos los indicadores entre un 34-42% de las cargas. El acopio es poco relevante, contribuyendo menos del 2,5%, excepto en los indicadores HTP y POP, con un 11% y un 6% respectivamente. Por último, el transporte contribuye menos del 1% para el indicador HTP, y entre el 3-9% en el resto de indicadores (Fig. 4.28).

- Escenario C(R): En este escenario, aunque el tratamiento es de reciclaje, ningún indicador resulta negativo. Las cargas evitadas por el reciclaje suponen entre un 35-46%. La mayoría de los impactos se reparten entre los procesos de reciclaje y de clasificación, suponiendo cada uno entre un 22-30% de las cargas. El acopio es el que menos contribuye, no superando el 2%, excepto en los indicadores HTP y POP, con un 8% y un 4% respectivamente. Por último, el transporte contribuye menos del 1% para el indicador HTP, y entre el 3-6% para el resto de indicadores (Fig. 4.29).

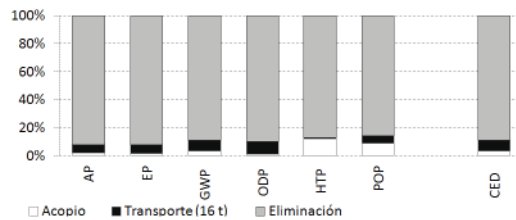
Escenarios R, E y C



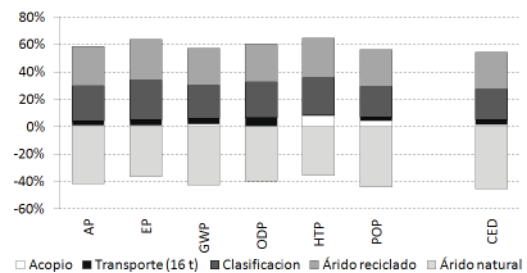
Escenario R



Escenario E



Escenario C



Figuras 4.26-4.29. Impactos de los escenarios E, R y C(R) de 1 tonelada de RCD mezclados de hormigón y cerámicos.

4.3.1.4. 17 02 01 Madera, según los escenarios E, R y C(R)

	Acopio	Transporte (16 t)	Transporte (32 t)	Clasificación	Tablero de partículas	Tablero contrachapado	Eliminación	Total
Escenario R	AP (kg SO2 eq)	1.22E-03	2.19E-03	5.40E-03	1.18E+00	-1.76E+00		-5.74E-01
	EP (kg PO4--- eq)	2.29E-04	4.97E-04	1.13E-03	1.54E-01	-3.29E-01		-1.73E-01
	GWP (kg CO2 eq)	3.07E-01	3.84E-01	1.44E+00	2.54E+02	5.10E+02		7.66E+02
	ODP (kg CFC-11 eq)	1.16E-08	5.80E-08	2.18E-07	3.20E-05	-3.23E-05		4.49E-08
	HTP (kg 1,4-DB eq)	6.65E-01	2.47E-02	8.61E-02	7.34E+01	-1.36E+02		-6.13E+01
	POP(kg C2H4)	1.55E-04	5.33E-05	1.13E-04	8.25E-02	-1.62E-01		-7.95E-02
	CED (MJ eq)	4.85E+00	5.52E+00	2.08E+01	7.74E+03	-2.30E+04		-1.52E+04
	CED F (MJ eq)	4.12E+00	5.47E+00	2.06E+01	5.61E+03	-5.70E+03		-5.88E+01
	CED N (MJ eq)	5.66E-01	4.09E-02	1.54E-01	5.27E+02	-1.19E+03		-6.62E+02
	CED B (MJ eq)	1.42E-02	8.63E-04	3.25E-03	1.45E+03	-1.59E+04		-1.45E+04
	CED WSG (MJ eq)	1.83E-02	2.09E-03	7.88E-03	9.94E+01	-5.64E+01		4.29E+01
	CED W (MJ eq)	1.34E-01	4.42E-03	1.67E-02	6.09E+01	-1.33E+02		-7.20E+01
	Escenario E	AP (kg SO2 eq)	1.22E-03	4.38E-03				3.66E-02
EP (kg PO4--- eq)		2.29E-04	9.94E-04				2.60E+00	2.60E+00
GWP (kg CO2 eq)		3.07E-01	7.68E-01				7.36E+01	7.47E+01
ODP (kg CFC-11 eq)		1.16E-08	1.16E-07				5.58E-07	6.85E-07
HTP (kg 1,4-DB eq)		6.65E-01	4.94E-02				5.76E+00	6.48E+00
POP(kg C2H4)		1.55E-04	1.07E-04				1.48E-02	1.51E-02
CED (MJ eq)		4.85E+00	1.10E+01				7.50E+01	9.10E+01
CED F (MJ eq)		4.12E+00	1.09E+01				6.76E+01	8.27E+01
CED N (MJ eq)		5.66E-01	8.17E-02				5.52E+00	6.18E+00
CED B (MJ eq)		1.42E-02	1.73E-03				1.29E-02	2.90E-02
CED WSG (MJ eq)		1.83E-02	4.18E-03				1.28E+00	1.30E+00
CED W (MJ eq)		1.34E-01	8.84E-03				5.87E-01	7.32E-01
Escenario C		AP (kg SO2 eq)	1.22E-03	7.67E-03	5.40E-03	9.63E-03	1.18E+00	-1.76E+00
	EP (kg PO4--- eq)	2.29E-04	1.74E-03	1.13E-03	1.90E-03	1.54E-01	-3.29E-01	-1.70E-01
	GWP (kg CO2 eq)	3.07E-01	1.34E+00	1.44E+00	1.21E+00	2.54E+02	5.10E+02	7.69E+02
	ODP (kg CFC-11 eq)	1.16E-08	2.03E-07	2.18E-07	1.44E-07	3.20E-05	-3.23E-05	3.34E-07
	HTP (kg 1,4-DB eq)	6.65E-01	8.66E-02	8.61E-02	6.60E-01	7.34E+01	-1.36E+02	-6.06E+01
	POP(kg C2H4)	1.55E-04	1.86E-04	1.13E-04	2.42E-04	8.25E-02	-1.62E-01	-7.92E-02
	CED (MJ eq)	4.85E+00	1.93E+01	2.08E+01	1.96E+01	7.74E+03	-2.30E+04	-1.52E+04
	CED F (MJ eq)	4.12E+00	1.92E+01	2.06E+01	1.76E+01	5.61E+03	-5.70E+03	-2.75E+01
	CED N (MJ eq)	5.66E-01	1.43E-01	1.54E-01	1.49E+00	5.27E+02	-1.19E+03	-6.60E+02
	CED B (MJ eq)	1.42E-02	3.02E-03	3.25E-03	3.29E-03	1.45E+03	-1.59E+04	-1.45E+04
	CED WSG (MJ eq)	1.83E-02	7.32E-03	7.88E-03	3.46E-01	9.94E+01	-5.64E+01	4.33E+01
	CED W (MJ eq)	1.34E-01	1.55E-02	1.67E-02	1.59E-01	6.09E+01	-1.33E+02	-7.19E+01

Tabla 4.20. Impactos de la gestión de 1 tonelada de RCD de madera: escenarios E, R y C(R).

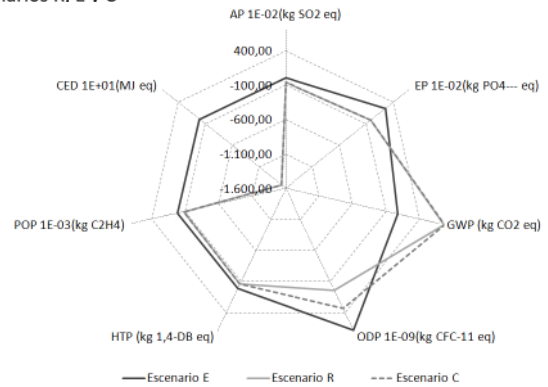
Excepto para el indicador GWP, en todos los indicadores, el escenario E es el que más impactos genera, pudiéndose evitar aplicando el escenario R entre un 94 -119% de los impactos, y aplicando el escenario C, entre un 51-119%. En ambos caso, el mayor ahorro de impactos se produce para el indicador CED, y el menor para el indicador ODP. En el caso del indicador GWP, el escenario C, seguido del R son los que más impactos generan, un 90% más de impactos que el escenario E (Fig. 4.30).

- Escenario E: Los procesos de eliminación son los más relevantes en este escenario, contribuyendo a los resultados totales más del 81% en todos los indicadores. El acopio contribuye menos del 1.5%, excepto en los indicadores AP, HTP y CED, no superando el 10% en ningún caso. Por último, el transporte contribuye menos del 1% por lo general, excepto para los indicadores AP, ODP y CED, en los que supone un 10-17% (Fig. 4.31).

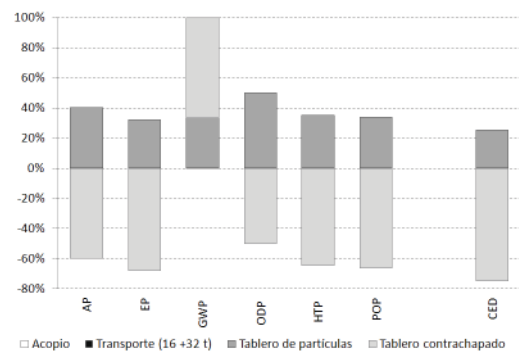
- Escenario R: Excepto GWP y ODP, todos los indicadores resultan negativos debido a las cargas evitadas por el reciclaje como tablero de partículas. Estas suponen siempre un ahorro superior al 50%, menos en GWP que suponen cargas del 66%. Los procesos de reciclaje son los responsables de la mayoría de las cargas, contribuyendo para todos los indicadores entre un 25-50%. Acopio y transporte son de poca relevancia en relación al resto de procesos, contribuyendo siempre menos del 1% (Fig. 4.32).

- Escenario C(R): Tras la clasificación en planta, la fracción de madera se destina al reciclaje, por lo que en general los indicadores resultan negativos, excepto GWP y ODP. Al igual que en el escenario R, las cargas evitadas por el reciclaje ahorran más del 50%, menos en GWP que aportan cargas del 66%. Los procesos de reciclaje son los responsables de la mayoría de los impactos, contribuyendo en todos los indicadores con un 25-50% de las cargas. Por otro lado los procesos de acopio, transporte y clasificación, son de poca relevancia en relación al resto, contribuyendo siempre menos del 1% (Fig. 4.33).

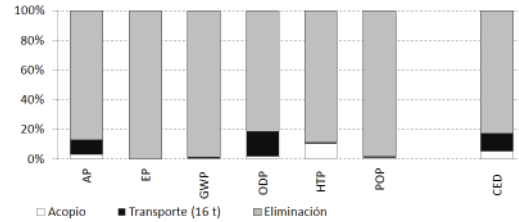
Escenarios R, E v C



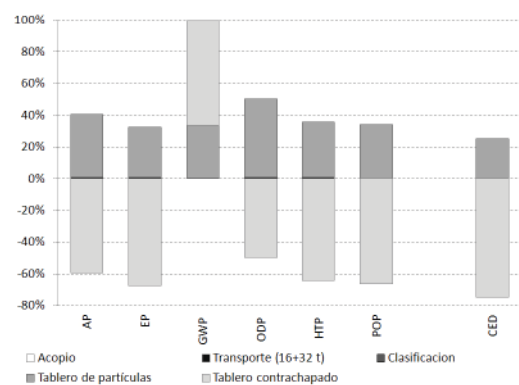
Escenario R



Escenario E



Escenario C



Figuras 4.30-4.33. Impactos de los escenarios E, R y C(R) de 1 tonelada de RCD de madera.

4.3.1.5. 17 02 03 Plástico, según los escenarios E y C(E)

	Acopio	Transporte (16 t)	Clasificación	Eliminación	Total	
Escenario E	AP (kg SO2 eq)	5.44E-03	1.06E-02		4.06E-02	5.67E-02
	EP (kg PO4--- eq)	1.02E-03	2.41E-03		4.77E+00	4.78E+00
	GWP (kg CO2 eq)	1.36E+00	1.86E+00		7.74E+01	8.07E+01
	ODP (kg CFC-11 eq)	5.16E-08	2.81E-07		5.65E-07	8.97E-07
	HTP (kg 1,4-DB eq)	2.96E+00	1.20E-01		5.22E+02	5.25E+02
	POP(kg C2H4)	6.90E-04	2.58E-04		1.57E-02	1.66E-02
	CED (MJ eq)	2.16E+01	2.67E+01		7.96E+01	1.28E+02
	CED F (MJ eq)	1.83E+01	2.65E+01		6.98E+01	1.15E+02
	CED N (MJ eq)	2.52E+00	1.98E-01		7.25E+00	9.97E+00
	CED B (MJ eq)	6.30E-02	4.18E-03		1.32E-02	8.04E-02
	CED WSG (MJ eq)	8.15E-02	1.01E-02		1.71E+00	1.80E+00
	CED W (MJ eq)	5.95E-01	2.14E-02		7.71E-01	1.39E+00
	Escenario C	AP (kg SO2 eq)	5.44E-03	1.86E-02	9.63E-03	4.06E-02
EP (kg PO4--- eq)		1.02E-03	4.21E-03	1.90E-03	4.77E+00	4.78E+00
GWP (kg CO2 eq)		1.36E+00	3.25E+00	1.21E+00	7.74E+01	8.33E+01
ODP (kg CFC-11 eq)		5.16E-08	4.91E-07	1.44E-07	5.65E-07	1.25E-06
HTP (kg 1,4-DB eq)		2.96E+00	2.10E-01	6.60E-01	5.22E+02	5.26E+02
POP(kg C2H4)		6.90E-04	4.51E-04	2.42E-04	1.57E-02	1.71E-02
CED (MJ eq)		2.16E+01	4.68E+01	1.96E+01	7.96E+01	1.68E+02
CED F (MJ eq)		1.83E+01	4.64E+01	1.76E+01	6.98E+01	1.52E+02
CED N (MJ eq)		2.52E+00	3.46E-01	1.49E+00	7.25E+00	1.16E+01
CED B (MJ eq)		6.30E-02	7.31E-03	3.29E-03	1.32E-02	8.69E-02
CED WSG (MJ eq)		8.15E-02	1.77E-02	3.46E-01	1.71E+00	2.16E+00
CED W (MJ eq)		5.95E-01	3.75E-02	1.59E-01	7.71E-01	1.56E+00

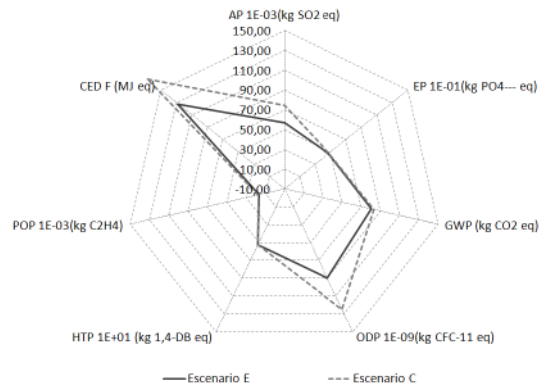
Tabla 4.21. Impactos de la gestión de 1 tonelada de RCD plásticos: escenarios E y C(E).

Como se indica en el capítulo 3, no se contempla el escenario de reciclaje para los residuos plásticos, evaluándose únicamente los escenarios de eliminación con clasificación en obra (E) o en planta (C). En todos los indicadores resulta el escenario C el de mayores cargas, entre un 29-1% más (Fig. 4.34).

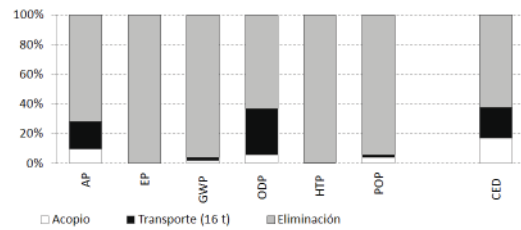
- Escenario E: Para todos los indicadores, los procesos del tratamiento de eliminación son el que contribuye con mayor porcentaje de impactos a los resultados totales con respecto al resto de procesos. En los indicadores EP, GWP, HTP y POP, contribuye más del 94%, resultando insignificantes la contribución del acopio y del transporte. En los indicadores AP, ODP y CED, la contribución de los procesos de eliminación es en torno al 62-72%, por lo que acopio y transporte resultan más relevantes en relación a los resultados totales, contribuyendo entre un 5-17% y un 18-31% respectivamente (Fig. 4.35).

- Escenario C(E): Al igual que en el escenario E, para todos los indicadores, el tratamiento de eliminación es el que contribuye con mayor porcentaje de impactos a los resultados totales con respecto al resto de procesos, aunque en este caso intervengan más cargas debido a los procesos de clasificación y al incremento de las distancias de transporte. En los indicadores EP, GWP, HTP y POP, el tratamiento de eliminación contribuye más del 91%, resultando insignificantes acopio, transporte y clasificación. En los indicadores AP, ODP y CED, el tratamiento de eliminación contribuye en torno al 45-55%, por lo que acopio, transporte y clasificación resultan más relevantes, contribuyendo entre un 4-12%, un 24-40% y un 11-13% respectivamente (Fig. 4.36).

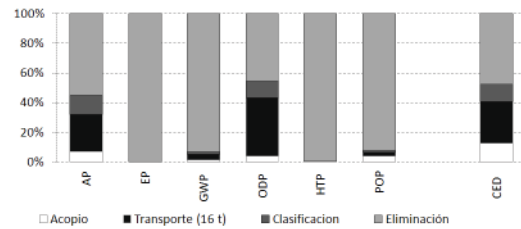
Escenarios R, E y C



Escenario E



Escenario C



Figuras 4.34-4.36. Impactos de los escenarios E y C(E) de 1 tonelada de RCD plásticos.

4.3.1.6. 17 04 01 Cobre, bronce, latón, según los escenarios E, R y C(R)

	Acopio	Transporte (16 t)	Transporte (32 t)	Clasificación	Cobre secundario	Cobre primario	Eliminación	Total
Escenario R	AP (kg SO2 eq)	1.56E-04	5.84E-04	7.59E-05	1.42E+01	-4.43E+01		-3.01E+01
	EP (kg PO4--- eq)	2.93E-05	1.32E-04	1.59E-05	6.85E-01	-2.67E+00		-1.99E+00
	GWP (kg CO2 eq)	3.92E-02	1.02E-01	2.03E-02	1.15E+03	-1.21E+03		-6.79E+01
	ODP (kg CFC-11 eq)	1.48E-09	1.55E-08	3.07E-09	4.84E-05	-9.62E-05		-4.78E-05
	HTP (kg 1,4-DB eq)	8.49E-02	6.59E-03	1.21E-03	3.07E+03	-1.41E+04		-1.10E+04
	POP(kg C2H4)	1.98E-05	1.42E-05	1.58E-06	5.81E-01	-1.51E+00		-9.31E-01
	CED (MJ eq)	6.19E-01	1.47E+00	2.92E-01	1.78E+04	-2.27E+04		-4.84E+03
	CED F (MJ eq)	5.26E-01	1.46E+00	2.90E-01	1.31E+04	-1.53E+04		-2.16E+03
	CED N (MJ eq)	7.23E-02	1.09E-02	2.17E-03	3.77E+03	-3.61E+03		1.54E+02
	CED B (MJ eq)	1.81E-03	2.30E-04	4.57E-05	1.08E+02	-1.70E+02		-6.24E+01
CED WSG (MJ eq)	2.34E-03	5.57E-04	1.11E-04	1.18E+02	-1.16E+02		2.27E+00	
CED W (MJ eq)	1.71E-02	1.18E-03	2.34E-04	7.03E+02	-3.48E+03		-2.78E+03	
Escenario E	AP (kg SO2 eq)	1.56E-04	1.16E-03				8.37E-02	8.50E-02
	EP (kg PO4--- eq)	2.93E-05	2.64E-04				1.37E-02	1.40E-02
	GWP (kg CO2 eq)	3.92E-02	2.04E-01				1.46E+01	1.49E+01
	ODP (kg CFC-11 eq)	1.48E-09	3.08E-08				1.37E-06	1.40E-06
	HTP (kg 1,4-DB eq)	8.49E-02	1.32E-02				5.89E+00	5.99E+00
	POP(kg C2H4)	1.98E-05	2.83E-05				2.82E-03	2.87E-03
	CED (MJ eq)	6.19E-01	2.94E+00				2.41E+02	2.45E+02
	CED F (MJ eq)	5.26E-01	2.91E+00				1.88E+02	1.92E+02
	CED N (MJ eq)	7.23E-02	2.17E-02				3.89E+01	3.90E+01
	CED B (MJ eq)	1.81E-03	4.59E-04				3.67E-02	3.90E-02
CED WSG (MJ eq)	2.34E-03	1.11E-03				9.53E+00	9.54E+00	
CED W (MJ eq)	1.71E-02	2.35E-03				4.31E+00	4.33E+00	
Escenario C	AP (kg SO2 eq)	1.56E-04	2.04E-03	7.59E-05	9.63E-03	1.42E+01	-4.43E+01	-3.01E+01
	EP (kg PO4--- eq)	2.93E-05	4.63E-04	1.59E-05	1.90E-03	6.85E-01	-2.67E+00	-1.99E+00
	GWP (kg CO2 eq)	3.92E-02	3.58E-01	2.03E-02	1.21E+00	1.15E+03	-1.21E+03	-6.65E+01
	ODP (kg CFC-11 eq)	1.48E-09	5.41E-08	3.07E-09	1.44E-07	4.84E-05	-9.62E-05	-4.76E-05
	HTP (kg 1,4-DB eq)	8.49E-02	2.31E-02	1.21E-03	6.60E-01	3.07E+03	-1.41E+04	-1.10E+04
	POP(kg C2H4)	1.98E-05	4.97E-05	1.58E-06	2.42E-04	5.81E-01	-1.51E+00	-9.31E-01
	CED (MJ eq)	6.19E-01	5.15E+00	2.92E-01	1.96E+01	1.78E+04	-2.27E+04	-4.82E+03
	CED F (MJ eq)	5.26E-01	5.10E+00	2.90E-01	1.76E+01	1.31E+04	-1.53E+04	-2.14E+03
	CED N (MJ eq)	7.23E-02	3.81E-02	2.17E-03	1.49E+00	3.77E+03	-3.61E+03	1.55E+02
	CED B (MJ eq)	1.81E-03	8.05E-04	4.57E-05	3.29E-03	1.08E+02	-1.70E+02	-6.24E+01
CED WSG (MJ eq)	2.34E-03	1.95E-03	1.11E-04	3.46E-01	1.18E+02	-1.16E+02	2.62E+00	
CED W (MJ eq)	1.71E-02	4.12E-03	2.34E-04	1.59E-01	7.03E+02	-3.48E+03	-2.78E+03	

Tabla 4.22. Impactos de la gestión de 1 tonelada de RCD de cobre: escenarios E, R y C(R).

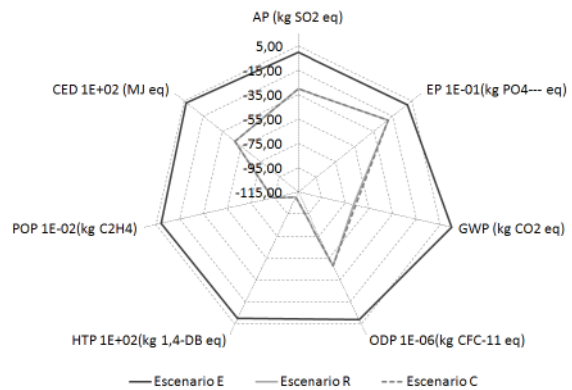
Para todos los indicadores, el escenario R es el que menos impactos genera, evitando entre un 100-122% de los impactos con respecto al escenario E y un 1-2% de los impactos con respecto al C (Fig. 4.37).

- Escenario E: Para todos los indicadores, el tratamiento de eliminación es el que más contribuye a los resultados totales, siempre más del 97%. Acopio y transporte tienen poca relevancia, contribuyendo menos del 1.5% en el caso del acopio y del 2.5% en el caso del transporte (Fig. 4.38).

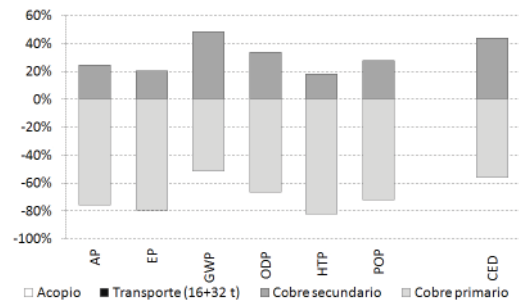
- Escenario R: Para todos los indicadores, la contribución de acopio y transporte es insignificante. Las cargas son principalmente debidas al tratamiento de reciclaje, que según el indicador, oscilan entre 18-49%. Las cargas evitadas debidas al cobre secundario ahorran siempre más del 50%, superando en todos los casos las cargas del reciclaje, y resultando por tanto un balance final negativo (Fig. 4.39).

- Escenario C(R): Tras la clasificación en planta, el residuo se destina al reciclaje, resultando todos los indicadores negativos. Al igual que en el escenario R, las cargas evitadas por el reciclaje suponen siempre ahorros superiores al 50%. Los procesos de reciclaje son los responsables de la mayoría de las cargas, contribuyendo en todos los indicadores con un 18-49%. Por otro lado los procesos de acopio, transporte y clasificación, son de poca relevancia en relación al resto, contribuyendo siempre menos del 1% (Fig. 4.40).

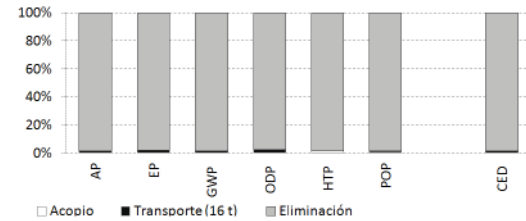
Escenarios R, E y C



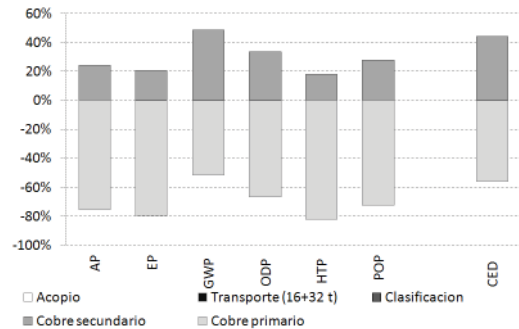
Escenario R



Escenario E



Escenario C



Figuras 4.37-4.40. Impactos de los escenarios E, R y C(R) de 1 tonelada de RCD de cobre.

4.3.1.7. 17 04 02 Aluminio, según los escenarios E, R y C(R)

	Acopio	Transporte (16 t)	Transporte (32 t)	Clasificación	Aluminio secundario	Aluminio primario	Eliminación	Total
Escenario R	AP (kg SO2 eq)	2.44E-04	6.08E-04	7.59E-05	5.28E+00	-5.24E+01		-4.72E+01
	EP (kg PO4--- eq)	4.59E-05	1.38E-04	1.59E-05	3.99E-01	-4.62E+00		-4.22E+00
	GWP (kg CO2 eq)	6.13E-02	1.07E-01	2.03E-02	1.23E+03	-1.14E+04		-1.01E+04
	ODP (kg CFC-11 eq)	2.32E-09	1.61E-08	3.07E-09	1.11E-04	-6.79E-04		-5.68E-04
	HTP (kg 1,4-DB eq)	1.33E-01	6.87E-03	1.21E-03	6.57E+02	-5.23E+04		-5.17E+04
	POP(kg C2H4)	3.10E-05	1.48E-05	1.58E-06	2.46E-01	-4.52E+00		-4.27E+00
	CED (MJ eq)	9.70E-01	1.53E+00	2.92E-01	2.14E+04	-1.82E+05		-1.61E+05
	<i>CED F (MJ eq)</i>	<i>8.23E-01</i>	<i>1.52E+00</i>	<i>2.90E-01</i>	<i>1.76E+04</i>	<i>-1.19E+05</i>		<i>-1.01E+05</i>
	<i>CED N (MJ eq)</i>	<i>1.13E-01</i>	<i>1.14E-02</i>	<i>2.17E-03</i>	<i>2.15E+03</i>	<i>-3.06E+04</i>		<i>-2.84E+04</i>
	<i>CED B (MJ eq)</i>	<i>2.83E-03</i>	<i>2.40E-04</i>	<i>4.57E-05</i>	<i>3.87E+02</i>	<i>-4.11E+02</i>		<i>-2.42E+01</i>
	<i>CED WSG (MJ eq)</i>	<i>3.66E-03</i>	<i>5.81E-04</i>	<i>1.11E-04</i>	<i>5.98E+01</i>	<i>-7.81E+01</i>		<i>-1.83E+01</i>
	<i>CED W (MJ eq)</i>	<i>2.67E-02</i>	<i>1.23E-03</i>	<i>2.34E-04</i>	<i>1.13E+03</i>	<i>-3.20E+04</i>		<i>-3.09E+04</i>
	Escenario E	AP (kg SO2 eq)	2.44E-04	1.22E-03				8.37E-02
EP (kg PO4--- eq)		4.59E-05	2.76E-04				1.37E-02	1.40E-02
GWP (kg CO2 eq)		6.13E-02	2.13E-01				1.46E+01	1.49E+01
ODP (kg CFC-11 eq)		2.32E-09	3.22E-08				1.37E-06	1.40E-06
HTP (kg 1,4-DB eq)		1.33E-01	1.37E-02				5.89E+00	6.04E+00
POP(kg C2H4)		3.10E-05	2.96E-05				2.82E-03	2.88E-03
CED (MJ eq)		9.70E-01	3.06E+00				2.41E+02	2.45E+02
<i>CED F (MJ eq)</i>		<i>8.23E-01</i>	<i>3.04E+00</i>				<i>1.88E+02</i>	<i>1.92E+02</i>
<i>CED N (MJ eq)</i>		<i>1.13E-01</i>	<i>2.27E-02</i>				<i>3.89E+01</i>	<i>3.91E+01</i>
<i>CED B (MJ eq)</i>		<i>2.83E-03</i>	<i>4.79E-04</i>				<i>3.67E-02</i>	<i>4.00E-02</i>
<i>CED WSG (MJ eq)</i>		<i>3.66E-03</i>	<i>1.16E-03</i>				<i>9.53E+00</i>	<i>9.54E+00</i>
<i>CED W (MJ eq)</i>		<i>2.67E-02</i>	<i>2.46E-03</i>				<i>4.31E+00</i>	<i>4.34E+00</i>
Escenario C		AP (kg SO2 eq)	2.44E-04	2.13E-03	7.59E-05	9.63E-03	5.28E+00	-5.24E+01
	EP (kg PO4--- eq)	4.59E-05	4.83E-04	1.59E-05	1.90E-03	3.99E-01	-4.62E+00	-4.22E+00
	GWP (kg CO2 eq)	6.13E-02	3.73E-01	2.03E-02	1.21E+00	1.23E+03	-1.14E+04	-1.01E+04
	ODP (kg CFC-11 eq)	2.32E-09	5.63E-08	3.07E-09	1.44E-07	1.11E-04	-6.79E-04	-5.68E-04
	HTP (kg 1,4-DB eq)	1.33E-01	2.40E-02	1.21E-03	6.60E-01	6.57E+02	-5.23E+04	-5.17E+04
	POP(kg C2H4)	3.10E-05	5.17E-05	1.58E-06	2.42E-04	2.46E-01	-4.52E+00	-4.27E+00
	CED (MJ eq)	9.70E-01	5.36E+00	2.92E-01	1.96E+01	2.14E+04	-1.82E+05	-1.61E+05
	<i>CED F (MJ eq)</i>	<i>8.23E-01</i>	<i>5.31E+00</i>	<i>2.90E-01</i>	<i>1.76E+01</i>	<i>1.76E+04</i>	<i>-1.19E+05</i>	<i>-1.01E+05</i>
	<i>CED N (MJ eq)</i>	<i>1.13E-01</i>	<i>3.97E-02</i>	<i>2.17E-03</i>	<i>1.49E+00</i>	<i>2.15E+03</i>	<i>-3.06E+04</i>	<i>-2.84E+04</i>
	<i>CED B (MJ eq)</i>	<i>2.83E-03</i>	<i>8.38E-04</i>	<i>4.57E-05</i>	<i>3.29E-03</i>	<i>3.87E+02</i>	<i>-4.11E+02</i>	<i>-2.42E+01</i>
	<i>CED WSG (MJ eq)</i>	<i>3.66E-03</i>	<i>2.03E-03</i>	<i>1.11E-04</i>	<i>3.46E-01</i>	<i>5.98E+01</i>	<i>-7.81E+01</i>	<i>-1.80E+01</i>
	<i>CED W (MJ eq)</i>	<i>2.67E-02</i>	<i>4.30E-03</i>	<i>2.34E-04</i>	<i>1.59E-01</i>	<i>1.13E+03</i>	<i>-3.20E+04</i>	<i>-3.09E+04</i>

Tabla 4.23. Impactos de la gestión de 1 tonelada de RCD de aluminio: escenarios E, R y C(R).

Para todos los indicadores, el escenario E es el que más impactos genera, pudiéndose evitar aplicando tanto el escenario R como el C, un 100% de los impactos ⁽³⁾ (Fig. 4.41).

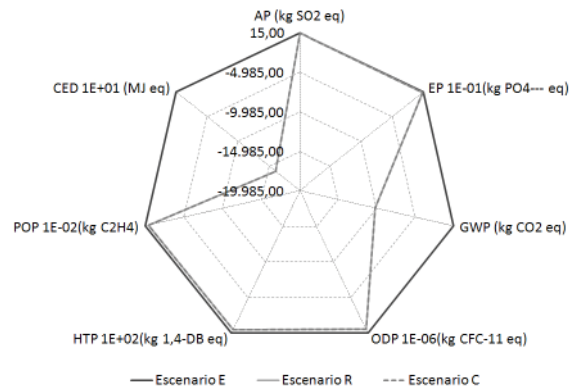
- Escenario E: Para todos los indicadores, los procesos que más contribuyen a los resultados totales son los de eliminación, siendo siempre superior al 97%. Acopio y transporte tienen poca relevancia, contribuyendo menos del 1.5% en el caso del acopio y del 2.5% en el caso del transporte (Fig. 4.42).

- Escenario R: Para todos los indicadores, la contribución de acopio y transporte son insignificantes. Las cargas son principalmente debidas al proceso de reciclaje, que según el indicador, oscilan entre 1-14%. Las cargas evitadas por el aluminio secundario suponen ahorros superiores al 85%, superando en todos los casos los impactos del reciclaje, y resultando por tanto un balance final negativo (Fig. 4.43).

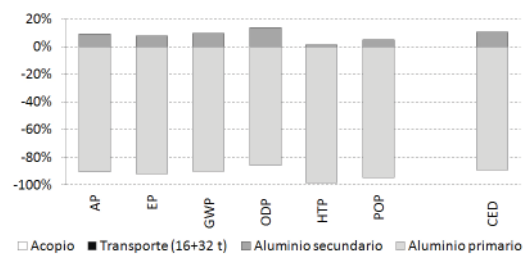
- Escenario C(R): Tras la clasificación en planta, el residuo se destina al reciclaje, resultando todos los indicadores negativos. Al igual que en el escenario R, las cargas evitadas por el reciclaje suponen ahorros superiores al 85%. Los procesos de reciclaje son los responsables de la mayoría de las cargas, suponiendo para todos los indicadores entre un 1-14% de las cargas. Los procesos de acopio, transporte y clasificación son de poca relevancia en relación al resto, contribuyendo siempre menos del 1% (Fig. 4.44).

(3) Por cuestiones de escala, esta diferencia puede no apreciarse claramente en la gráfica.

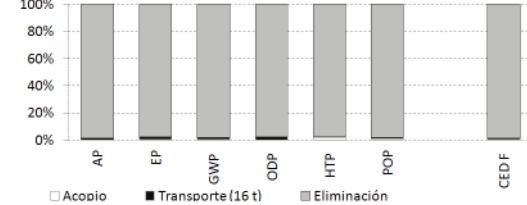
Escenarios R, E y C



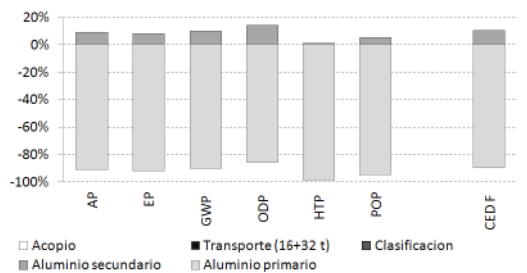
Escenario R



Escenario E



Escenario C



Figuras 4.41-4.44. Impactos de los escenarios E, R y C(R) de 1 tonelada de RCD de aluminio.

4.3.1.8. 17 04 05 Hierro y acero, según los escenarios E, R y C(R)

	Acopio	Transporte (16 t)	Transporte (32 t)	Clasificación	Acero secundario	Acero primario	Eliminación	Total
Escenario R	AP (kg SO2 eq)	8.15E-05	5.84E-04	7.59E-05	1.34E+00	-4.85E+00		-3.51E+00
	EP (kg PO4--- eq)	1.53E-05	1.32E-04	1.59E-05	2.10E-01	-1.12E+00		-9.09E-01
	GWP (kg CO2 eq)	2.04E-02	1.02E-01	2.03E-02	3.16E+02	-1.45E+03		-1.13E+03
	ODP (kg CFC-11 eq)	7.73E-10	1.55E-08	3.07E-09	2.39E-05	-2.79E-05		-4.02E-06
	HTP (kg 1,4-DB eq)	4.43E-02	6.59E-03	1.21E-03	5.57E+02	-4.03E+02		1.54E+02
	POP(kg C2H4)	1.03E-05	1.42E-05	1.58E-06	1.16E-01	-9.56E-01		-8.40E-01
	CED (MJ eq)	3.23E-01	1.47E+00	2.92E-01	6.89E+03	-2.03E+04		-1.34E+04
	CED F (MJ eq)	2.74E-01	1.46E+00	2.90E-01	4.75E+03	-1.90E+04		-1.42E+04
	CED N (MJ eq)	3.77E-02	1.09E-02	2.17E-03	1.83E+03	-1.07E+03		7.60E+02
	CED B (MJ eq)	9.44E-04	2.30E-04	4.57E-05	4.20E+01	-2.59E+01		1.61E+01
	CED WSG (MJ eq)	1.22E-03	5.57E-04	1.11E-04	5.86E+01	-3.68E+01		2.19E+01
	CED W (MJ eq)	8.91E-03	1.18E-03	2.34E-04	2.09E+02	-1.64E+02		4.52E+01
	Escenario E	AP (kg SO2 eq)	8.15E-05	1.17E-03				4.22E-02
EP (kg PO4--- eq)		1.53E-05	2.65E-04				7.95E-03	8.23E-03
GWP (kg CO2 eq)		2.04E-02	2.05E-01				6.01E+00	6.23E+00
ODP (kg CFC-11 eq)		7.73E-10	3.09E-08				6.69E-07	7.00E-07
HTP (kg 1,4-DB eq)		4.43E-02	1.32E-02				1.12E+01	1.12E+01
POP(kg C2H4)		1.03E-05	2.84E-05				1.16E-03	1.20E-03
CED (MJ eq)		3.23E-01	2.94E+00				9.67E+01	9.99E+01
CED F (MJ eq)		3.23E-01	2.91E+00				8.38E+01	8.70E+01
CED N (MJ eq)		3.23E-01	2.18E-02				9.57E+00	9.63E+00
CED B (MJ eq)		3.23E-01	4.60E-04				1.65E-02	1.79E-02
CED WSG (MJ eq)		3.23E-01	1.11E-03				2.27E+00	2.27E+00
CED W (MJ eq)		3.23E-01	2.36E-03				1.03E+00	1.05E+00
Escenario C		AP (kg SO2 eq)	8.15E-05	2.04E-03	7.59E-05	9.63E-03	1.34E+00	-4.85E+00
	EP (kg PO4--- eq)	1.53E-05	4.63E-04	1.59E-05	1.90E-03	2.10E-01	-1.12E+00	-9.07E-01
	GWP (kg CO2 eq)	2.04E-02	3.58E-01	2.03E-02	1.21E+00	3.16E+02	-1.45E+03	-1.13E+03
	ODP (kg CFC-11 eq)	7.73E-10	5.41E-08	3.07E-09	1.44E-07	2.39E-05	-2.79E-05	-3.84E-06
	HTP (kg 1,4-DB eq)	4.43E-02	2.31E-02	1.21E-03	6.60E-01	5.57E+02	-4.03E+02	1.55E+02
	POP(kg C2H4)	1.03E-05	4.97E-05	1.58E-06	2.42E-04	1.16E-01	-9.56E-01	-8.40E-01
	CED (MJ eq)	3.23E-01	5.15E+00	2.92E-01	1.96E+01	6.89E+03	-2.03E+04	-1.33E+04
	CED F (MJ eq)	2.74E-01	5.10E+00	2.90E-01	1.76E+01	4.75E+03	-1.90E+04	-1.42E+04
	CED N (MJ eq)	3.77E-02	3.81E-02	2.17E-03	1.49E+00	1.83E+03	-1.07E+03	7.62E+02
	CED B (MJ eq)	9.44E-04	8.05E-04	4.57E-05	3.29E-03	4.20E+01	-2.59E+01	1.61E+01
	CED WSG (MJ eq)	1.22E-03	1.95E-03	1.11E-04	3.46E-01	5.86E+01	-3.68E+01	2.22E+01
	CED W (MJ eq)	8.91E-03	4.12E-03	2.34E-04	1.59E-01	2.09E+02	-1.64E+02	4.54E+01

Tabla 4.24. Impactos de la gestión de 1 tonelada de RCD de acero: escenarios E, R y C(R).

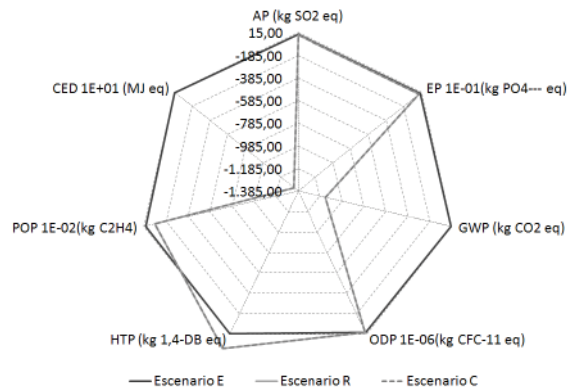
Excepto para el indicador HTP, el escenario R es el que menos impactos genera, evitando entre un 100-117% de los impactos con respecto al escenario E y un 1-5% de los impactos con respecto al C (Fig. 4.45).

- Escenario E: Para todos los indicadores, los procesos de eliminación son los que más contribuyen a los resultados totales, siempre superando el 95%. Acopio y transporte tienen poca relevancia, contribuyendo menos del 1% en el caso del acopio y del 5% en el caso del transporte (Fig. 4.46).

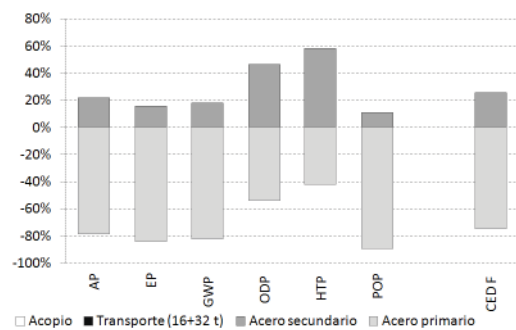
- Escenario R: Para todos los indicadores, las contribuciones de acopio y transporte son insignificantes. Las cargas se deben principalmente al tratamiento de reciclaje, que según el indicador, supone entre un 10-58%. Las cargas evitadas debidas al acero secundario suponen ahorros siempre superiores al 42%, superando los impactos del reciclaje y resultando por tanto un balance final negativo, excepto para el indicador HTP (Fig. 4.47).

- Escenario C(R): Tras la clasificación en planta, el residuo se destina al reciclaje, resultando todos los indicadores negativos, excepto HTP. Al igual que en el escenario R, las cargas evitadas por el reciclaje suponen ahorros siempre superiores al 42%. Los procesos de reciclaje son los responsables de la mayoría de las cargas, contribuyendo en todos los indicadores con un 10-58% de las cargas. Los procesos de acopio, transporte y clasificación, son poco relevantes en relación al resto, contribuyendo siempre menos del 1% (Fig. 4.48).

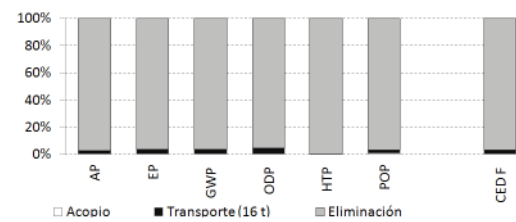
Escenarios R, E y C



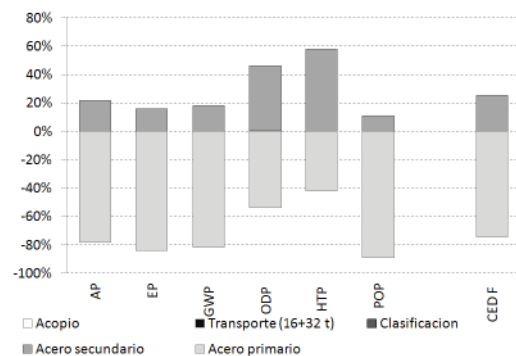
Escenario R



Escenario E



Escenario C



Figuras 4.45-4.48. Impactos de los escenarios E, R y C(R) de 1 tonelada de RCD de acero.

4.3.1.9. 17 08 02 Materiales de construcción a partir de yeso, según los escenarios E, R y C(E)

	Acopio	Transporte (16 t)	Clasificación	Reciclaje de yeso	Reciclaje de cartón	Eliminación	Total
Escenario R	AP (kg SO2 eq)	7.88E-04	3.88E-02	-3.55E-02	-1.80E-01	7.08E-04	-1.76E-01
	EP (kg PO4--- eq)	1.48E-04	8.81E-03	-7.89E-03	-4.57E-02	2.38E-04	-4.44E-02
	GWP (kg CO2 eq)	1.98E-01	6.81E+00	-2.02E+00	1.87E+02	9.41E-02	1.92E+02
	ODP (kg CFC-11 eq)	7.47E-09	1.03E-06	-2.24E-07	-1.50E-06	1.11E-08	-6.79E-07
	HTP (kg 1,4-DB eq)	4.28E-01	4.38E-01	-1.65E+00	-5.65E+00	1.53E+00	-4.91E+00
	POP(kg C2H4)	1.00E-04	9.44E-04	-5.64E-04	-6.93E-03	1.78E-05	-6.44E-03
	CED (MJ eq)	3.15E+00	9.78E+01	-3.24E+01	-2.66E+03	1.45E+00	-2.59E+03
	CED F (MJ eq)	2.68E+00	9.70E+01	-2.82E+01	-2.32E+02	1.33E+00	-1.59E+02
	CED N (MJ eq)	3.68E-01	7.25E-01	-3.03E+00	-8.56E+01	9.28E-02	-8.75E+01
	CED B (MJ eq)	9.20E-03	1.53E-02	-8.04E-02	-2.30E+03	2.51E-04	-2.30E+03
	CED WSG (MJ eq)	1.19E-02	3.71E-02	-6.76E-01	-2.57E+00	2.11E-02	-3.18E+00
	CED W (MJ eq)	8.69E-02	7.84E-02	-4.53E-01	-3.45E+01	9.88E-03	-3.48E+01
	Escenario E	AP (kg SO2 eq)	7.88E-04	3.11E-03			2.68E+01
EP (kg PO4--- eq)		1.48E-04	7.05E-04			2.12E-01	2.13E-01
GWP (kg CO2 eq)		1.98E-01	5.44E-01			9.35E+01	9.43E+01
ODP (kg CFC-11 eq)		7.47E-09	8.22E-08			6.66E-07	7.55E-07
HTP (kg 1,4-DB eq)		4.28E-01	3.51E-02			7.32E+01	7.37E+01
POP(kg C2H4)		1.00E-04	7.55E-05			1.09E+00	1.09E+00
CED (MJ eq)		3.15E+00	7.82E+00			1.01E+02	1.12E+02
CED F (MJ eq)		2.68E+00	7.76E+00			8.50E+01	9.54E+01
CED N (MJ eq)		3.68E-01	5.80E-02			1.19E+01	1.23E+01
CED B (MJ eq)		9.20E-03	1.22E-03			1.63E-02	2.67E-02
CED WSG (MJ eq)		1.19E-02	2.97E-03			2.85E+00	2.87E+00
CED W (MJ eq)		8.69E-02	6.27E-03			1.28E+00	1.37E+00
Escenario C		AP (kg SO2 eq)	7.88E-04	5.43E-03	9.63E-03		2.68E+01
	EP (kg PO4--- eq)	1.48E-04	1.23E-03	1.90E-03		2.12E-01	2.15E-01
	GWP (kg CO2 eq)	1.98E-01	9.53E-01	1.21E+00		9.35E+01	9.59E+01
	ODP (kg CFC-11 eq)	7.47E-09	1.44E-07	1.44E-07		6.66E-07	9.61E-07
	HTP (kg 1,4-DB eq)	4.28E-01	6.14E-02	6.60E-01		7.32E+01	7.44E+01
	POP(kg C2H4)	1.00E-04	1.32E-04	2.42E-04		1.09E+00	1.09E+00
	CED (MJ eq)	3.15E+00	1.37E+01	1.21E-03		1.01E+02	1.37E+02
	CED F (MJ eq)	2.68E+00	1.36E+01	2.42E-04		8.50E+01	1.19E+02
	CED N (MJ eq)	3.68E-01	1.01E-01	2.42E-04		1.19E+01	1.38E+01
	CED B (MJ eq)	9.20E-03	2.14E-03	2.42E-04		1.63E-02	3.10E-02
	CED WSG (MJ eq)	1.19E-02	5.19E-03	2.42E-04		2.85E+00	3.22E+00
	CED W (MJ eq)	8.69E-02	1.10E-02	2.42E-04		1.28E+00	1.54E+00

Tabla 4.25. Impactos de la gestión de 1 tonelada de RCD materiales a partir de yeso: escenarios E, R y C(E).

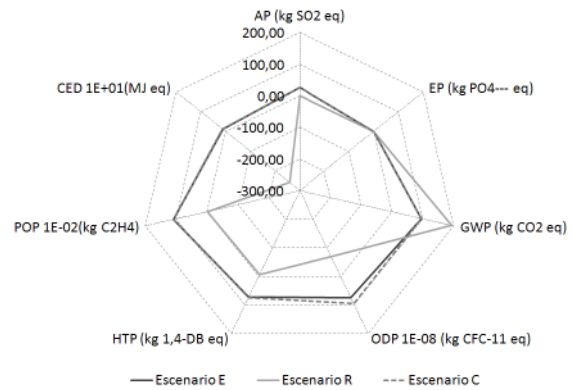
Excepto para el indicador GWP, en todos los indicadores, el escenario C es el que más impactos genera, pudiéndose evitar aplicando el escenario R entre un 100-175% de los impactos, y aplicando el escenario E, entre un 1-21%. En el caso del indicador GWP, el escenario R es el que más impactos genera, suponiendo un 50% más de impactos con respecto a los otros dos escenarios (Fig. 4.49).

- Escenario E: Los procesos de eliminación en vertedero son los más relevantes en este escenario, contribuyendo a los resultados totales más del 88% en todos los indicadores. El acopio contribuye menos del 1%, excepto para CED con el 3%. El transporte contribuye menos del 1% en general, excepto para ODP y CED, con un 11% y un 7% respectivamente (Fig. 4.50).

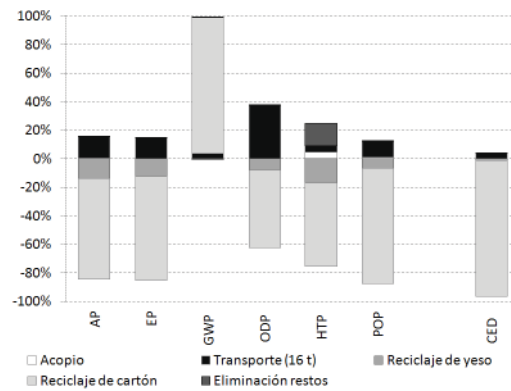
- Escenario R: Excepto GWP, todos los indicadores resultan negativos debido a las cargas evitadas por el reciclaje como yeso laminado. Los ahorros que se consiguen mediante el reciclaje de yeso son entre 1-17%. Los debidos al reciclaje del cartón superan el 54%, excepto para GWP, que supone cargas del 95%. El acopio contribuye en todo los casos menos del 1%, excepto para HTP con el 4%. En el caso del transporte, las cargas son mayores, superando el 10% en todos los casos excepto para GWP, HTP y CED (Fig. 4.51).

- Escenario C(E): Al igual que en el escenario E, para todos los indicadores, el tratamiento de eliminación es el que contribuye con mayor porcentaje de impactos a los resultados totales, aunque en este caso intervengan más cargas debido a los procesos de clasificación y al incremento de las distancias de transporte. El acopio contribuye en todo los casos menos del 1%, excepto para CED, en el que supone el 3%. En el caso del transporte, siempre contribuye menos del 1% excepto en los indicadores ODP y CED, en los que supone un 15% y un 7% respectivamente. La fase de clasificación suponen menos del 1% excepto para ODP, con un 15% (Fig. 4.52).

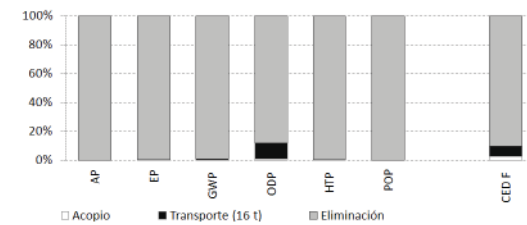
Escenarios R, E y C



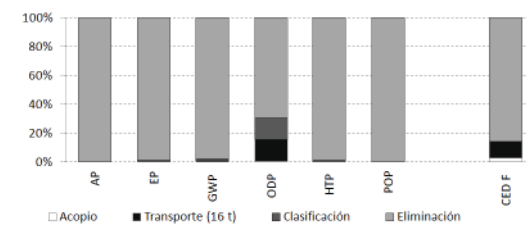
Escenario R



Escenario E



Escenario C



Figuras 4.49-4.52. Impactos de los escenarios E, R y C(E) de 1 tonelada de RCD materiales a partir de yeso.

4.3.1.10. 15 01 01 Envases de papel y cartón, según los escenarios E, R y C(R)

	Acopio	Transporte (16 t)	Transporte (32 t)	Clasificación	Recuperación de papel	Pulpa de sulfato	Eliminación	Total
Escenario R	AP (kg SO2 eq)	6.22E-03	5.61E-03	1.49E-02	4.99E-02	-2.98E+00		-2.90E+00
	EP (kg PO4--- eq)	1.17E-03	1.27E-03	3.11E-03	1.44E-02	-7.41E-01		-7.21E-01
	GWP (kg CO2 eq)	1.56E+00	9.83E-01	3.98E+00	5.59E+01	2.54E+03		1.11E+03
	ODP (kg CFC-11 eq)	5.90E-08	1.48E-07	6.02E-07	9.55E-07	-3.24E-05		3.15E-05
	HTP (kg 1,4-DB eq)	3.38E+00	6.33E-02	2.37E-01	1.38E+01	-1.03E+02		-7.58E+01
	POP(kg C2H4)	7.89E-04	1.36E-04	3.10E-04	3.79E-03	-1.14E-01		-1.09E-01
	CED (MJ eq)	2.47E+01	1.41E+01	5.73E+01	2.09E+02	-3.92E+04		-3.89E+04
	CED F (MJ eq)	2.09E+01	1.40E+01	5.68E+01	1.57E+02	-4.45E+03		-4.20E+03
	CED N (MJ eq)	2.88E+00	1.05E-01	4.24E-01	4.45E+01	-1.31E+03		-1.26E+03
	CED B (MJ eq)	7.21E-02	2.21E-03	8.96E-03	1.04E+00	-3.29E+04		-3.29E+04
	CED WSG (MJ eq)	9.32E-02	5.35E-03	2.17E-02	1.42E+00	-3.96E+01		-3.80E+01
	CED W (MJ eq)	6.80E-01	1.13E-02	4.59E-02	4.91E+00	-5.02E+02		-4.96E+02
	Escenario E	AP (kg SO2 eq)	6.22E-03	1.12E-02				1.70E-01
EP (kg PO4--- eq)		1.17E-03	2.54E-03				2.66E+00	2.67E+00
GWP (kg CO2 eq)		1.56E+00	1.97E+00				1.62E+03	1.62E+03
ODP (kg CFC-11 eq)		5.90E-08	2.97E-07				7.32E-07	1.09E-06
HTP (kg 1,4-DB eq)		3.38E+00	1.27E-01				1.13E+02	1.16E+02
POP(kg C2H4)		7.89E-04	2.73E-04				3.31E-01	3.32E-01
CED (MJ eq)		2.47E+01	2.83E+01				1.74E+02	2.27E+02
CED F (MJ eq)		2.09E+01	2.80E+01				1.15E+02	1.64E+02
CED N (MJ eq)		2.88E+00	2.09E-01				4.32E+01	4.63E+01
CED B (MJ eq)		7.21E-02	4.42E-03				2.24E-02	9.89E-02
CED WSG (MJ eq)		9.32E-02	1.07E-02				1.07E+01	1.08E+01
CED W (MJ eq)		6.80E-01	2.26E-02				4.59E+00	5.29E+00
Escenario C		AP (kg SO2 eq)	6.22E-03	1.96E-02	1.49E-02	9.63E-03	4.99E-02	-2.98E+00
	EP (kg PO4--- eq)	1.17E-03	4.45E-03	3.11E-03	1.90E-03	1.44E-02	-7.41E-01	-7.16E-01
	GWP (kg CO2 eq)	1.56E+00	3.44E+00	3.98E+00	1.21E+00	5.59E+01	2.54E+03	1.11E+03
	ODP (kg CFC-11 eq)	5.90E-08	5.20E-07	6.02E-07	1.44E-07	9.55E-07	-3.24E-05	3.21E-05
	HTP (kg 1,4-DB eq)	3.38E+00	2.22E-01	2.37E-01	6.60E-01	1.38E+01	-1.03E+02	-7.50E+01
	POP(kg C2H4)	7.89E-04	4.77E-04	3.10E-04	2.42E-04	3.79E-03	-1.14E-01	-1.08E-01
	CED (MJ eq)	2.47E+01	4.95E+01	5.73E+01	1.96E+01	2.09E+02	-3.92E+04	-3.88E+04
	CED F (MJ eq)	2.09E+01	4.90E+01	5.68E+01	1.76E+01	1.57E+02	-4.45E+03	-4.15E+03
	CED N (MJ eq)	2.88E+00	3.66E-01	4.24E-01	1.49E+00	4.45E+01	-1.31E+03	-1.26E+03
	CED B (MJ eq)	7.21E-02	7.73E-03	8.96E-03	3.29E-03	1.04E+00	-3.29E+04	-3.29E+04
	CED WSG (MJ eq)	9.32E-02	1.87E-02	2.17E-02	3.46E-01	1.42E+00	-3.96E+01	-3.77E+01
	CED W (MJ eq)	6.80E-01	3.96E-02	4.59E-02	1.59E-01	4.91E+00	-5.02E+02	-4.96E+02

Tabla 4.26. Impactos de la gestión de 1 tonelada de Envases de papel y cartón: escenarios E, R y C(R).

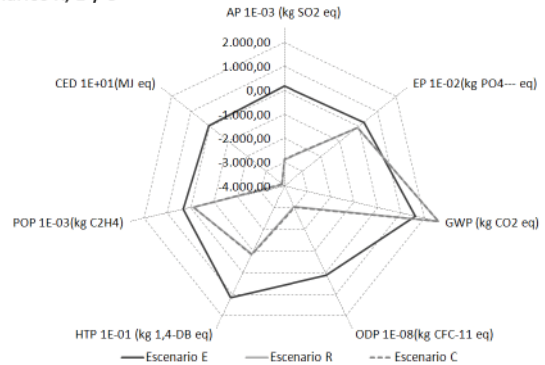
Excepto para el indicador ODP, en todos los indicadores, el escenario E es el que más impactos genera, pudiéndose evitar aplicando el escenario R o el escenario C entre un 32-165% de los impactos. En ambos casos, el mayor ahorro de impactos se produce para el indicador HTC, y el menor para el indicador GWP. En el caso del indicador ODP, el escenario C seguido del R son los que más impactos generan (Fig. 4.53).

- Escenario E: Los procesos de eliminación en vertedero son los más significativos en este escenario, con contribuciones a los resultados totales superiores al 90% en casi todos los indicadores, y en los que acopio y transporte tienen poca relevancia, excepto en los indicadores ODP y CED. En el caso de ODP, el transporte contribuye con un 27% de los impactos, y el acopio con un 5%. Para CED, el transporte contribuye con un 12% de los impactos, y el acopio con un 11% (Fig. 4.54).

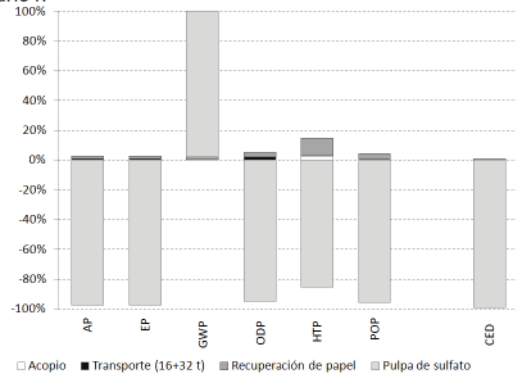
- Escenario R: Todos los indicadores son negativos excepto GWP y ODP. Esto es debido, en el caso de ODP a que las cargas evitadas debidas a la pulpa de sulfato no compensan los impactos del resto de los procesos, con una contribución del 38%; y en el caso de GWP a que este producto evitado supone impactos y no ahorros. En el resto de indicadores, las cargas evitadas son superiores al 60%. En cuanto a la contribución a los resultados totales de los procesos de reciclaje, para los indicadores AP, EP, HTP y POP supone entre 30-40%; para GWP y ODP el 61 y 78%; y para CED, el 0.5%. Acopio y transporte son de poca relevancia en relación al resto de procesos, contribuyendo siempre menos del 1% (Fig. 4.55).

- Escenario C(R): Este escenario se diferencia del escenario R en que se incluye una fase de clasificación y en que aumentan las cargas debidas al transporte. Aún así, estas cargas no suponen ninguna variación respecto a lo observado en el escenario R, contribuyendo acopio, transporte y clasificación menos del 1% en todos los indicadores (Fig. 4.56).

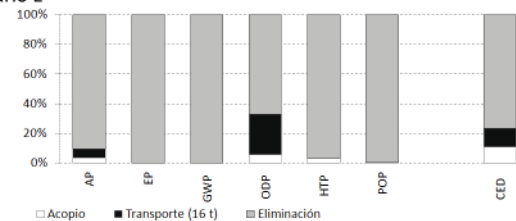
Escenarios R, E y C



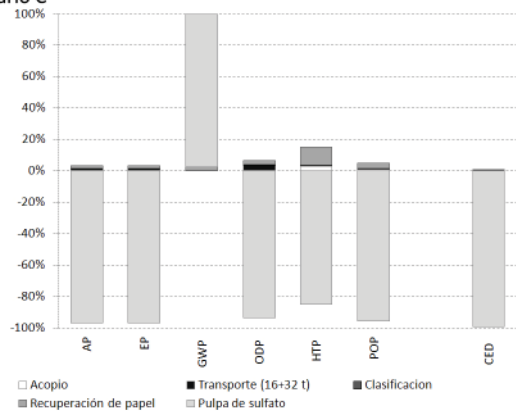
Escenario R



Escenario E



Escenario C



Figuras 4.53-4.56. Impactos de los escenarios E, R y C(R) de 1 tonelada de Envases de papel y cartón.

4.3.1.11. 15 01 02 Envases de plástico, según los escenarios E, R y C(E)

	Acopio	Transporte (16 t)	Clasificación	Film reciclado	Film primario	Eliminación	Total
Escenario R	AP (kg SO2 eq)	5.44E-03	5.30E-03	1.79E+00	-4.31E+00		-2.50E+00
	EP (kg PO4--- eq)	1.02E-03	1.20E-03	1.20E-01	-3.34E-01		-2.11E-01
	GWP (kg CO2 eq)	1.36E+00	9.30E-01	3.96E+02	-1.09E+03		-6.92E+02
	ODP (kg CFC-11 eq)	5.16E-08	1.40E-07	2.43E-05	-1.15E-05		1.30E-05
	HTP (kg 1,4-DB eq)	2.96E+00	5.99E-02	1.08E+02	-9.19E+01		1.89E+01
	POP(kg C2H4)	6.90E-04	1.29E-04	8.09E-02	-2.19E-01		-1.37E-01
	CED (MJ eq)	2.16E+01	1.34E+01	1.04E+04	-3.95E+04		-2.91E+04
	CED F (MJ eq)	1.83E+01	1.32E+01	5.89E+03	-3.37E+04		-2.77E+04
	CED N (MJ eq)	2.52E+00	9.90E-02	2.87E+03	-4.58E+03		-1.71E+03
	CED B (MJ eq)	6.30E-02	2.09E-03	1.26E+03	-7.24E+02		5.36E+02
CED WSG (MJ eq)	8.15E-02	5.06E-03	8.89E+01	-3.97E+01		4.94E+01	
CED W (MJ eq)	5.95E-01	1.07E-02	3.21E+02	-5.47E+02		-2.26E+02	
Escenario E	AP (kg SO2 eq)	5.44E-03	1.06E-02			3.70E-02	5.31E-02
	EP (kg PO4--- eq)	1.02E-03	2.41E-03			5.22E+00	5.22E+00
	GWP (kg CO2 eq)	1.36E+00	1.86E+00			9.88E+01	1.02E+02
	ODP (kg CFC-11 eq)	5.16E-08	2.81E-07			5.57E-07	8.89E-07
	HTP (kg 1,4-DB eq)	2.96E+00	1.20E-01			2.32E+03	2.32E+03
	POP(kg C2H4)	6.90E-04	2.58E-04			2.00E-02	2.09E-02
	CED (MJ eq)	2.16E+01	2.67E+01			7.52E+01	1.23E+02
	CED F (MJ eq)	1.83E+01	2.65E+01			6.77E+01	1.13E+02
	CED N (MJ eq)	2.52E+00	1.98E-01			5.58E+00	8.30E+00
	CED B (MJ eq)	6.30E-02	4.18E-03			1.28E-02	8.00E-02
CED WSG (MJ eq)	8.15E-02	1.01E-02			1.29E+00	1.38E+00	
CED W (MJ eq)	5.95E-01	2.14E-02			5.93E-01	1.21E+00	
Escenario C	AP (kg SO2 eq)	5.44E-03	1.86E-02	9.63E-03		3.70E-02	7.07E-02
	EP (kg PO4--- eq)	1.02E-03	4.21E-03	1.90E-03		5.22E+00	5.22E+00
	GWP (kg CO2 eq)	1.36E+00	3.25E+00	1.21E+00		9.88E+01	1.05E+02
	ODP (kg CFC-11 eq)	5.16E-08	4.91E-07	1.44E-07		5.57E-07	1.24E-06
	HTP (kg 1,4-DB eq)	2.96E+00	2.10E-01	6.60E-01		2.32E+03	2.32E+03
	POP(kg C2H4)	6.90E-04	4.51E-04	2.42E-04		2.00E-02	2.13E-02
	CED (MJ eq)	2.16E+01	4.68E+01	1.96E+01		7.52E+01	1.63E+02
	CED F (MJ eq)	1.83E+01	4.64E+01	1.76E+01		6.77E+01	1.50E+02
	CED N (MJ eq)	2.52E+00	3.46E-01	1.49E+00		5.58E+00	9.94E+00
	CED B (MJ eq)	6.30E-02	7.31E-03	3.29E-03		1.28E-02	8.64E-02
CED WSG (MJ eq)	8.15E-02	1.77E-02	3.46E-01		1.29E+00	1.74E+00	
CED W (MJ eq)	5.95E-01	3.75E-02	1.59E-01		5.93E-01	1.38E+00	

Tabla 4.27. Impactos de la gestión de 1 tonelada de Envases plásticos: escenarios E, R y C(E).

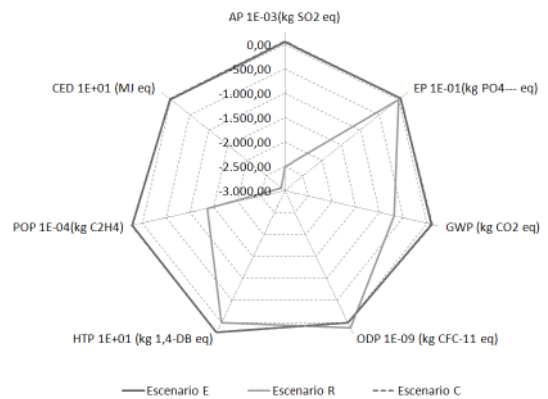
Excepto para el indicador HTP, en todos los indicadores, el escenario C es el que más impactos genera, pudiéndose evitar aplicando el escenario E entre un 0-1% de las cargas, y si se aplica el escenario R entre un 100 -115%. En el caso del indicador HTP, el escenario R es el que más impacto genera (Fig. 4.57).

- Escenario E: Los procesos de eliminación son los más significativos, contribuyendo a los resultados totales más del 90% en casi todos los indicadores. Acopio y transporte son poco relevantes, con las excepciones de los indicadores AP, ODP y CED: para AP y CED, el transporte alcanza el 20% y el acopio el 10-17%; y para ODP, el transporte supone un 32% y el acopio el 6% (Fig. 4.58).

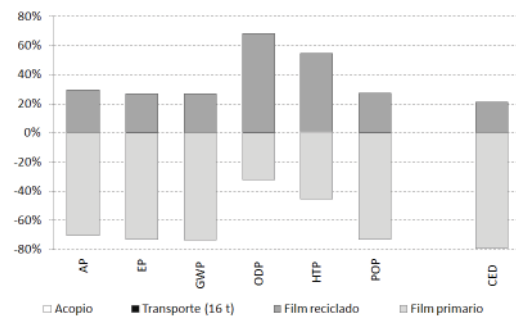
- Escenario R: Acopio y transporte son poco relevantes en relación al resto de procesos, contribuyendo siempre menos del 1.5%. En general, las cargas debidas al proceso de reciclaje no superan el 30% y además las cargas evitadas suponen más del 70%, resultando finalmente un balance negativo. Sin embargo en los indicadores ODP y HTP, el proceso de reciclaje contribuye más del 50%, y las cargas evitadas son menores del 45%, siendo el resultado final positivo (Fig. 4.59).

- Escenario C(E): En este escenario, al igual que en el E, para todos los indicadores, el tratamiento de eliminación es el que contribuye con mayor porcentaje de impactos a los resultados totales, aunque en este caso intervengan más cargas debido a los procesos de clasificación y al incremento de las distancias de transporte. Estas nuevas cargas solo influyen en los indicadores AP, ODP y CED, que son los indicadores donde menos relevancia tienen los procesos de eliminación. En estos casos, la clasificación supone un 12-13% de las cargas, el transporte un 25-40% y el acopio un 4-13% (Fig. 4.60).

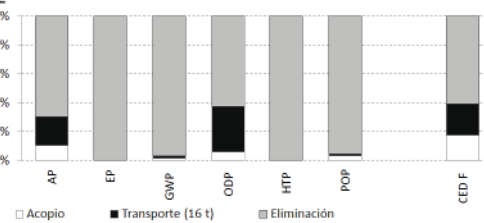
Escenarios R, E y C



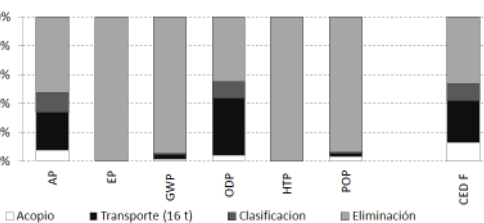
Escenario R



Escenario E



Escenario C



Figuras 4.54-4.57. Impactos de los escenarios E, R y C(E) de 1 tonelada de Envases plásticos.

4.3.1.12. 17 09 04 Residuos mezclados de construcción y demolición (RECHAZOS), según los escenarios E y C(E)

	Acopio	Transporte (16 t)	Clasificación	Eliminación	Total
Escenario E	AP (kg SO2 eq)	4.35E-04	1.93E-03	3.54E-02	3.78E-02
	EP (kg PO4--- eq)	8.16E-05	4.38E-04	1.19E-02	1.24E-02
	GWP (kg CO2 eq)	1.09E-01	3.39E-01	4.70E+00	5.15E+00
	ODP (kg CFC-11 eq)	4.12E-09	5.12E-08	5.53E-07	6.08E-07
	HTP (kg 1,4-DB eq)	2.36E-01	2.18E-02	7.66E+01	7.68E+01
	POP(kg C2H4)	5.52E-05	4.70E-05	8.89E-04	9.91E-04
	CED (MJ eq)	1.72E+00	4.87E+00	7.27E+01	7.93E+01
	<i>CED F (MJ eq)</i>	<i>1.46E+00</i>	<i>4.83E+00</i>	<i>6.65E+01</i>	<i>7.28E+01</i>
	<i>CED N (MJ eq)</i>	<i>2.01E-01</i>	<i>3.61E-02</i>	<i>4.64E+00</i>	<i>4.88E+00</i>
	<i>CED B (MJ eq)</i>	<i>5.03E-03</i>	<i>7.61E-04</i>	<i>1.26E-02</i>	<i>1.83E-02</i>
<i>CED WSG (MJ eq)</i>	<i>6.51E-03</i>	<i>1.85E-03</i>	<i>1.06E+00</i>	<i>1.06E+00</i>	
<i>CED W (MJ eq)</i>	<i>4.75E-02</i>	<i>3.90E-03</i>	<i>4.94E-01</i>	<i>5.45E-01</i>	
Escenario C	AP (kg SO2 eq)	4.35E-04	3.38E-03	9.63E-03	4.88E-02
	EP (kg PO4--- eq)	8.16E-05	7.67E-04	1.90E-03	1.47E-02
	GWP (kg CO2 eq)	1.09E-01	5.93E-01	1.21E+00	6.62E+00
	ODP (kg CFC-11 eq)	4.12E-09	8.95E-08	1.44E-07	7.90E-07
	HTP (kg 1,4-DB eq)	2.36E-01	3.82E-02	6.60E-01	7.75E+01
	POP(kg C2H4)	5.52E-05	8.22E-05	2.42E-04	1.27E-03
	CED (MJ eq)	1.72E+00	8.52E+00	1.96E+01	1.03E+02
	<i>CED F (MJ eq)</i>	<i>1.46E+00</i>	<i>8.44E+00</i>	<i>1.76E+01</i>	<i>9.40E+01</i>
	<i>CED N (MJ eq)</i>	<i>2.01E-01</i>	<i>6.31E-02</i>	<i>1.49E+00</i>	<i>6.40E+00</i>
	<i>CED B (MJ eq)</i>	<i>5.03E-03</i>	<i>1.33E-03</i>	<i>3.29E-03</i>	<i>2.22E-02</i>
<i>CED WSG (MJ eq)</i>	<i>6.51E-03</i>	<i>3.23E-03</i>	<i>3.46E-01</i>	<i>1.41E+00</i>	
<i>CED W (MJ eq)</i>	<i>4.75E-02</i>	<i>6.83E-03</i>	<i>1.59E-01</i>	<i>7.07E-01</i>	

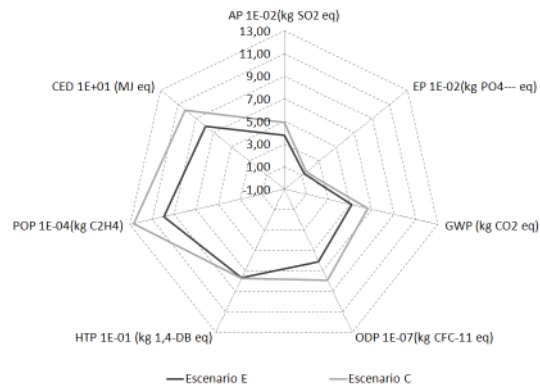
Tabla 4.28. Impactos de la gestión de 1 tonelada de RCD rechazos: escenario E y C(E).

No se contempla el escenario de reciclaje para los rechazos, evaluándose únicamente los escenarios de eliminación con clasificación en obra (E) o en planta (C). En todos los indicadores resulta el escenario C el de mayores cargas, entre un 1-23% más (Fig. 4.58).

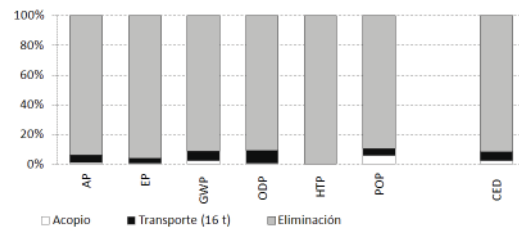
- Escenario E: Para todos los indicadores, los procesos de eliminación son los que más contribuyen a los resultados totales, superando el 90%. El acopio no supone más del 2% excepto para el indicador POP, en el que asciende al 5%. El transporte supone contribuciones algo mayores pero nunca superan el 9% (Fig. 4.59).

- Escenario C(E): Al igual que en el escenario E, para todos los indicadores, el tratamiento de eliminación es el que contribuye con mayor porcentaje de impactos a los resultados totales, aunque en este caso intervengan más cargas debido a los procesos de clasificación y al incremento de las distancias de transporte. Esto introduce algunas variaciones respecto al escenario E: la contribución del transporte aumenta para todos los indicadores, aunque no llega a superar el 11%; y la de la clasificación, excepto en el indicador HTP en el que es irrelevante, supone entre un 12-20% de los impactos (Fig. 4.60).

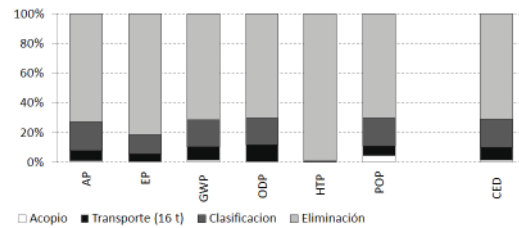
Escenarios R, E y C



Escenario E



Escenario C



Figuras 4.58-4.60. Impactos de los escenarios E y C(E) de 1 tonelada de RCD mezclados (rechazos).

4.3.1.13. 17 09 04 Residuos mezclados de construcción y demolición (RCD MIXTO), según el escenario C

Escenario C	Acopio	Transporte (16 t)	Transporte (32 t)	Clasificación	Reciclaje inertes	Reciclaje madera	Reciclaje metales	Reciclaje papel	Eliminación	Total
	AP (kg SO2 eq)	4.35E-04	1.79E-03	1.72E-04	9.63E-03	-5.98E-03	-3.42E-03	-1.12E-02	-1.82E-02	3.24E-01
EP (kg PO4--- eq)	8.16E-05	4.07E-04	3.59E-05	1.90E-03	-6.38E-04	-1.03E-03	-2.07E-03	-3.54E-03	6.24E-02	5.76E-02
GWP (kg CO2 eq)	1.09E-01	3.14E-01	4.60E-02	1.21E+00	-9.26E-01	4.49E+00	-2.23E+00	1.04E+01	1.17E+00	1.45E+01
ODP (kg CFC-11 eq)	4.12E-09	4.74E-08	6.95E-09	1.44E-07	-8.37E-08	-1.43E-09	-1.48E-08	2.89E-07	2.57E-08	4.17E-07
HTP (kg 1,4-DB eq)	2.36E-01	2.02E-02	2.74E-03	6.60E-01	-2.43E-01	-3.65E-01	-1.28E+00	-7.48E-01	8.74E+00	7.03E+00
POP(kg C2H4)	5.52E-05	4.36E-05	3.58E-06	2.42E-04	-2.18E-04	-4.69E-04	-1.78E-03	-1.23E-03	1.31E-02	9.76E-03
CED (MJ eq)	1.72E+00	4.52E+00	6.61E-01	1.96E+01	-1.89E+01	-8.96E+01	-2.69E+01	-3.67E+02	3.53E+00	-4.72E+02
CED F (MJ eq)	1.46E+00	4.48E+00	6.56E-01	1.76E+01	-1.26E+01	-5.23E-01	-2.81E+01	-4.04E+01	3.15E+00	-5.43E+01
CED N (MJ eq)	2.01E-01	3.35E-02	4.90E-03	1.49E+00	-4.66E+00	-3.89E+00	1.51E+00	-1.19E+01	2.88E-01	-1.69E+01
CED B (MJ eq)	5.03E-03	7.06E-04	1.03E-04	3.29E-03	-7.62E-03	-8.50E+01	2.26E-02	-3.09E+02	5.96E-04	-3.94E+02
CED WSG (MJ eq)	6.51E-03	1.71E-03	2.51E-04	3.46E-01	-1.14E+00	2.52E-01	4.32E-02	-3.59E-01	6.73E-02	-7.86E-01
CED W (MJ eq)	4.75E-02	3.62E-03	5.30E-04	1.59E-01	-5.00E-01	-4.24E-01	-3.09E-01	-4.68E+00	3.08E-02	-5.67E+00

Tabla 4.29. Impactos de la gestión de 1 tonelada de RCD mezclados (RCD mixto): escenario C.

Para poder realizar el reciclaje de esta fracción, es necesaria la previa clasificación en planta, por lo que solo se contempla el escenario de clasificación (C) en el que se reciclan aquellos tipos de residuos que así lo permitan. No se realiza una comparación entre escenarios, el objeto del análisis es la incidencia de cada fracción de RCD en los resultados.

- Escenario C: Para casi todos los indicadores, acopio y transporte contribuyen menos del 1%, excepto el acopio para HTP con el 2%, y el transporte para ODP con el 8%. El proceso más penalizado en general es la eliminación de los rechazos, pero para algunos indicadores, son otros los procesos que más contribuyen a los impactos, como el reciclaje de papel y cartón para GWP y ODP y el de madera para GWP. El proceso de clasificación para todos los indicadores es menor del 5%, excepto para ODP, donde supone un 23% (Fig. 4.61).

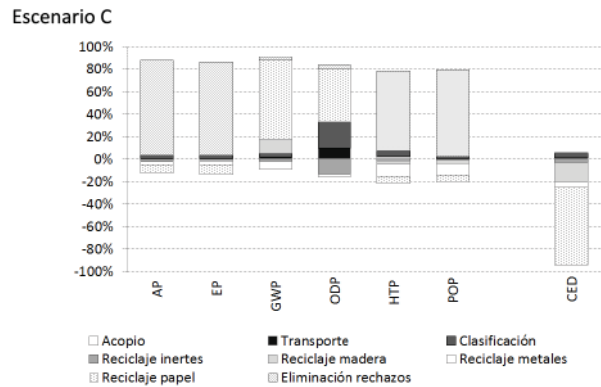


Figura 4.61. Impactos del escenario C de 1 tonelada de RCD mezclados (RCD mixto).

4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En general, para cada fracción de RCD el escenario más favorable es el R, salvo algunas excepciones en las que el escenario que menos cargas supone es el E: RCD de madera, yeso y envases de papel y cartón según el indicador GWP; RCD de acero según HTP; y envases plásticos según ODP. El escenario C nunca resulta el más favorable, siendo, en el mejor de los casos, similar en impactos al correspondiente escenario E o R.

4.4.1. Interpretación de los resultados obtenidos según etapas de la gestión

La causa de las mayores cargas son los procesos de gestión final (eliminación o reciclaje según el escenario), siendo menor la relevancia de los de acopio, transporte o clasificación. Así, para cada escenario, a mayor carga asociada a la gestión final, menor es la contribución de los procesos de acopio, transporte o clasificación a los resultados totales. Por otro lado, la etapa de productos evitados en los escenarios de reciclaje —R y C(R)— es la única que ahorra cargas, asociándose indicadores negativos a beneficios ambientales. A continuación se analizan por etapas tanto los resultados absolutos como los relativos a los resultados totales:

4.4.1.1. Acopio

Los procesos unitarios empleados en esta etapa están asociados al material utilizado en las cubas, que coincide en todas las fracciones. Sin embargo, la cantidad de procesos empleados varía según la fracción analizada, siendo inversamente proporcional a su densidad: para el acopio de las fracciones de menor densidad (envases y plásticos, seguidos de maderas y materiales de yeso) se computa una mayor cantidad de procesos. Por lo tanto, el acopio de 1 tonelada de las fracciones de menor densidad genera mayores cargas absolutas que el de las fracciones pesadas.

La contribución a los resultados totales varía según los casos, desde ser inferior al 1% en todos los indicadores (todos los escenarios de acero; y los escenarios R y C de madera, cobre, aluminio y envases de papel y cartón); hasta un máximo del 17%. La Tabla 4.30 recoge los casos en los que supera el 10%.

4.4.1.2. Transporte

Los procesos unitarios empleados en esta etapa están asociados al tipo de transporte, que es el mismo en todas las fracciones. Sin embargo, la cantidad de procesos empleados varía según la fracción, dependiendo de su densidad y de las distancias recorridas: habrá una mayor cantidad de procesos a menor densidad del RCD y a mayor distancia recorrida. En este estudio, las fracciones de menor densidad también son las que se gestionan en infraestructuras más alejadas, en concreto el reciclaje de maderas, materiales de yeso y envases de papel y cartón, por lo que estos son los escenarios en los que más cantidad de impactos absolutos asociados al transporte aparecen.

Respecto a la contribución a los resultados totales, la Tabla 4.31 muestra los casos en los que supera el 10%, superándose en ocasiones el 30% de las cargas, pero nunca es la mayor causa de los impactos. El indicador ODP es el más afectado por esta etapa, en particular en los escenarios de eliminación —E y C(E)— de plásticos, envases plásticos y envases de papel y cartón; y en el escenario de reciclaje de materiales de yeso. Este último escenario se plantea bajo la hipótesis de que el reciclaje es viable aun no existiendo infraestructuras suficientes, como plantas de recuperación para la optimización del transporte, por lo que esta etapa se ve penalizada. Otros indicadores en los que resulta significativa son AP y CED, para los RCD de menor densidad cuando son eliminados.

4.4.1.3. Clasificación (solo en escenarios C)

En los escenarios C las fracciones se clasifican en planta de tratamiento de RCD. El valor absoluto de los impactos asociados a la clasificación coincide para todas las fracciones, calculándose por tonelada de RCD independientemente de las características de cada fracción.

La contribución a los resultados totales depende de la magnitud del resto de procesos, principalmente los de gestión final. Cuando la gestión final aporta grandes cargas, la clasificación contribuye menos del 1%, como ocurre para todos los indicadores de los RCD de madera, metálicos y envases de papel y cartón. Lo contrario ocurre para los RCD inertes, donde esta etapa supone entre un 21-30%, según el indicador. En el resto de fracciones, la contribución varía según el indicador, recogiendo en la Tabla 4.32 los casos en los que supera el 10%.

4.4.1.4. Gestión final

Los procesos de gestión final son específicos para cada fracción y escenario, variando las cargas según cada caso. Es la etapa que más contribuye a los impactos totales: en los escenarios de eliminación —E y C(E)— supone el 48-100% de las cargas; y en los de reciclaje —R y C(R)—, un 1-100%, según el caso.

4.4.1.5. Productos evitados en los escenarios de reciclaje R o C(R)

En los escenarios de reciclaje —R y C(R)—, el producto reciclado evita generar un producto primario equivalente, que es el producto evitado, específico para cada fracción. La cantidad de productos evitados depende de las pérdidas de material durante el reciclaje y la equivalencia entre los productos primario y secundario.

En general los productos evitados ahorran cargas, que si compensan las del resto de etapas resulta un balance final negativo. Las contribuciones varían entre un 32-99% según el caso, y si superan el 50%, el indicador resulta negativo. Sin embargo, en algunos casos el indicador resulta positivo: si el producto evitado no compensa los impactos del tratamiento, como es el caso del acero y envases plásticos para HTP o los envases de papel y cartón y envases plásticos para ODP; o si el producto evitado compensa el tratamiento, pero el resultado total es positivo por el acopio, transporte o clasificación, como es el caso de inertes separados en planta de tratamiento. Un caso aparte es cuando el producto evitado añade cargas en lugar de evitarlas, como ocurre según GWP para maderas y envases de papel, debido al crédito de CO₂ que se otorga a la producción de madera natural por el almacenamiento de CO₂ que realiza [4, 24].

	Escenario E	Escenario R	Escenario C
AP	Envases plásticos		
HTP	Cerámicos, Madera	Mezcla, Cerámicos, Mezcla	
CED	Plásticos, Env. de papel y cartón, Env. plásticos		Plásticos, Env. de papel y cartón, Env. plásticos

Tabla 4.30. Casos en los que el acopio contribuye más del 10 % al total de los impactos.

	Escenario E	Escenario R	Escenario C
AP	Madera, Envases plásticos	Plásticos, Materiales de yeso	Plásticos, Envases plásticos
EP		Materiales de yeso	
ODP	Madera, Mat.de yeso, Env. de papel y cartón, Env. plásticos	Plásticos, Materiales de yeso	Plásticos, Materiales de yeso, Envases plásticos, Rechazos
POP		Materiales de yeso	
CED	Madera, Env. de papel y cartón, Envases plásticos		Plásticos, Materiales de yeso, Envases plásticos

Tabla 4.31. Casos en los que el transporte contribuye más del 10 % al total de los impactos.

	Escenario C
AP	Hormigón, Cerámicos, Mezcla, Plásticos, Envases plásticos, Rechazos
EP	Hormigón, Cerámicos, Mezcla, Rechazos
GWP	Hormigón, Cerámicos, Mezcla, Rechazos
ODP	Hormigón, Cerámicos, Mezcla, Plásticos, Mat. de yeso, Env.plásticos, Rechazos
HTP	Hormigón, Cerámicos, Mezcla
POP	Hormigón, Cerámicos, Mezcla, Rechazos
CED	Hormigón, Cerámicos, Mezcla, Plásticos, Envases plásticos, Rechazos

Tabla 4.32. Casos en los que la clasificación contribuye más del 10 % al total de los impactos.

4.4.2. Interpretación de los resultados obtenidos para cada fracción según los indicadores GWP y CED

La Figura 4.62 muestra las variaciones de los distintos escenarios respecto al escenario R de aluminio (que es el máximo cargas y se considera el 100%), para los indicadores GWP y CED, por considerarse los más representativos. A continuación se analizan los impactos obtenidos según cada fracción aislada y se extrae la importancia relativa de cada una de ellas, según los resultados de la fracción de RCD mixto.

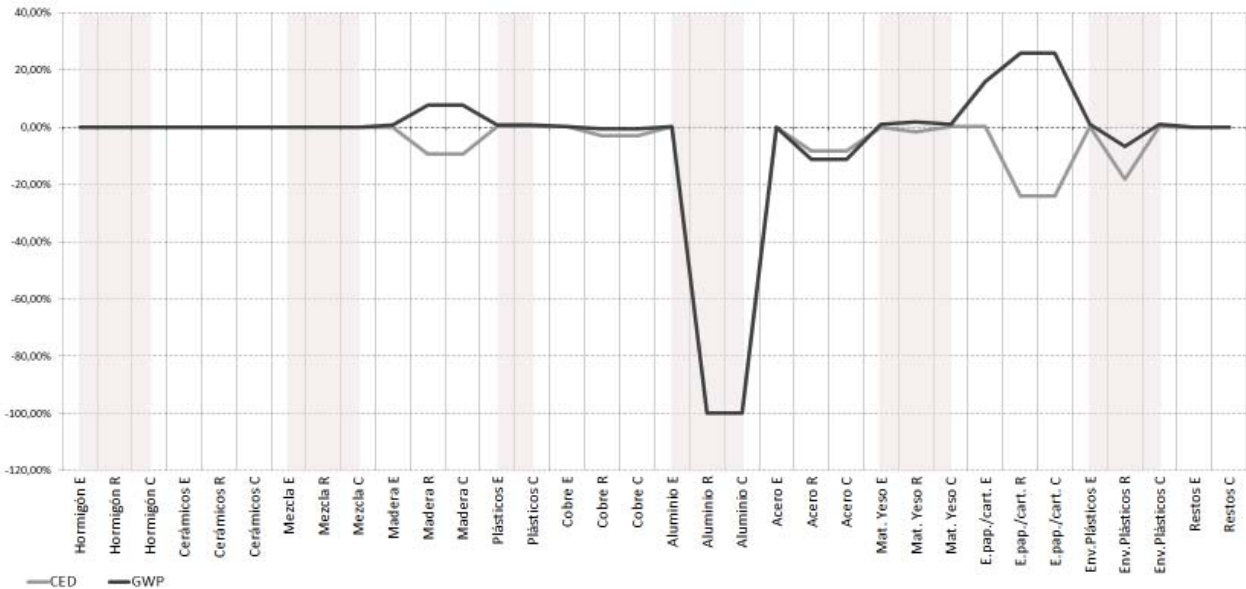


Figura 4.62. Porcentajes de impactos de los distintos escenarios según GWP y CED.

4.4.2.1. Indicador GWP

Según el indicador GWP, solo diez escenarios presentan impactos beneficiosos: escenarios R de fracciones inertes y envases plásticos, y escenarios R y C de metales. La gestión del resto de fracciones genera impactos según este indicador. Por otro lado, para cada fracción, el escenario R suele ser el más favorable, pero en ocasiones lo es el escenario E: envases de papel y cartón, madera y materiales de yeso.

Independientemente de que se separen en obra, el reciclaje de aluminio es la opción que más cargas evita (supera los 10000 kg CO₂ eq), seguido del reciclaje de acero (-1131 kg CO₂ eq) y envases plásticos (-691 kg CO₂ eq). El reciclaje de cobre y de fracciones inertes también ofrece valores negativos, aunque en menor cantidad (0-70 kg CO₂ eq). El reciclaje de las fracciones inertes solo ahorra cargas si se separan en obra.

Los escenarios que más impactos adversos generan son los de reciclaje de envases de papel y cartón (2060 kg CO₂ eq), seguidos del de eliminación de la misma fracción (1060 kg CO₂ eq), así como los de reciclaje de madera y materiales de yeso (190-800 kg CO₂ eq). El resto de fracciones también presenta valores positivos, aunque más bajos (menos de 105 kg CO₂ eq).

En cuanto a la importancia relativa de cada fracción, según los resultados de la fracción de RCD mixto, las mayores cargas son debidas al reciclaje de envases de papel y cartón y madera, con un 50% y un 21% de los impactos totales respectivamente; y los ahorros son por el reciclaje de metales e inertes que reducen un 15% las cargas. Las etapas de acopio, transporte y clasificación suponen menos del 5% del total.

4.4.2.2. Indicador CED

Según CED, dieciséis escenarios presentan impactos beneficiosos: escenarios R de fracciones inertes, materiales de yeso y envases plásticos; y escenarios R y C de madera, metales y envases de papel y cartón. Para este indicador, el escenario R siempre es más favorable que el E en todas las fracciones.

El reciclaje del aluminio es el que más cargas evita (supera los 160500 MJ_{eq}); seguido del de envases de papel y cartón (38800 MJ_{eq}), envases plásticos (29000 MJ_{eq}); y madera, acero, cobre y yeso (2500-15000 MJ_{eq}). El reciclaje de las fracciones inertes solo evita cargas si existe separación en obra (10-20 MJ_{eq}). Por tanto, el reciclaje siempre ahorra cargas desde el punto de vista energético, sea la separación en fracciones en obra o en planta, excepto para las fracciones inertes que deben ser separadas en obra.

Respecto a los escenarios más desfavorables, se encuentran todos los de eliminación, siendo el del aluminio el que más impactos adversos genera (245 MJ_{eq}) y los de los inertes los que menos (en torno a 40 MJ_{eq}).

En cuanto a la importancia relativa de cada fracción, según los resultados del RCD mixto, las mayores cargas se deben a la clasificación, un 3%; siendo los impactos evitados por el reciclaje de envases de papel y cartón y madera, del 70% y del 17% respectivamente, y el de inertes y metales ahorros menores al 5%.

4.4.2.3. Factores que influyen en los resultados

Según GWP y CED, los procesos de gestión final son los que determinan los impactos totales de cada escenario. En los escenarios de eliminación —E y C(E)—, todos los procesos que intervienen añaden cargas, dependiendo principalmente del resultado total de las cargas de la eliminación. Sin embargo, en los escenarios de reciclaje —R y C(R)—, los resultados dependen también del producto evitado, ya que si las cargas evitadas compensan las cargas generadas, el indicador resulta negativo. En todo caso, la contribución máxima a los resultados totales de las etapas de acopio, transporte y clasificación es del 23%.

Los procesos de gestión final dependen de cada fracción y del tratamiento seleccionado, determinado a su vez por las infraestructuras disponibles. Los productos evitados están vinculados al reciclaje, dependiendo del producto secundario que lo sustituye. Analizando los productos evitados y los procesos de reciclaje, se observan diversos casos: (a) a más impactos asociados a la producción primaria del producto evitado, más altas son las cargas evitadas, y por tanto, más se reducen los impactos finales; (b) a menores cargas del tratamiento de reciclaje, menos cargas evitadas se necesitan para compensar estos impactos.

Los RCD de metales y envases plásticos son un ejemplo del primer caso. Ambos se vuelven a reciclar como el mismo producto, sustituyendo al correspondiente producto primario. La producción primaria de metales y plásticos conlleva un alto consumo de energía y materias primas, y además, se producen a nivel internacional, lo que multiplica el impacto relacionado con el transporte. En el caso del aluminio esto es especialmente relevante, ya que su producción primaria necesita gran cantidad de energía eléctrica [24].

Las fracciones inertes son un ejemplo del segundo caso. Se reciclan como un producto distinto, áridos, cuya producción primaria no conlleva consumos tan elevados como el de metales y plásticos. En este caso, el balance final resulta negativo porque los impactos del proceso de reciclaje son relativamente bajos, compensándose con los ahorros debidos a los productos evitados. Sin embargo, en los escenarios C, un aumento de las cargas debido a los procesos de clasificación, supone que el reciclaje ya no sea beneficioso.

Una excepción para el indicador GWP son los escenarios de reciclaje de madera y papel, debido al crédito de CO₂ que se otorga a la producción de madera natural, por el almacenamiento de CO₂ que realiza la madera y que se prolonga durante la vida útil del producto de madera resultante [4, 24]. Así pues, en los escenarios de reciclaje de estos residuos, para GWP el producto evitado no supone cargas evitadas, sino impactos. Lo mismo sucede en el escenario de reciclaje de yeso laminado, que se ve muy penalizado para este indicador debido a la inclusión de procesos de reciclaje del cartón.

4.4.3. Limitaciones y carencias

4.4.3.1. Calidad de los datos

Los resultados están condicionados por el nivel de calidad de los datos empleados. Al realizar el ICV se valoraron las dificultades encontradas al recopilar los datos, la inversión de tiempo necesaria y el objetivo del estudio, optándose por emplear bases de datos e hipótesis simplificadoras.

La recopilación de datos de las empresas resultó infructuosa (apdo. 4.3), por lo que se empleó la base de datos *EcolInvent*, modificando los procesos cuando se disponían de datos de mayor calidad (p.ej. el mix eléctrico), o tomándola como base para desarrollar los procesos no disponibles en ella (p.ej. el reciclaje de inertes). Por otro lado, se realizan hipótesis simplificadoras sobre la composición de los RCD, las cubas utilizadas, las distancias transportadas, y los procesos de clasificación y gestión final (apdo. 4.1.8).

Por ello, la exactitud de los resultados obtenidos en este estudio podría mejorarse elaborando un ICV más específico. No obstante, la fiabilidad y representatividad de los datos utilizados, podría verificarse llevando a cabo un análisis de sensibilidad.

4.4.3.2. Evaluación de escenarios que contemplen actividades de prevención

Este estudio se limita a las opciones de reciclaje y eliminación, y no considera la prevención, que es la opción prioritaria según la jerarquía de gestión de residuos. Basado en la metodología de ACV tradicionalmente utilizada para evaluar la gestión de los RCD, aplica entre otros el supuesto de “carga cero”: los procesos y actividades previos a la generación del RCD se excluyen de los límites del sistema por ser comunes a todos los escenarios, considerándose solo los que tienen lugar una vez que el RCD se genera (GRCD) [2].

Sin embargo, si un escenario incluye actividades de prevención se evitan tanto procesos GRCD, como procesos anteriores a la generación de ese RCD (*pre*-RCD), siendo necesario ampliar los límites del sistema y considerar esos procesos *pre*-RCD. Por lo tanto, la metodología utilizada en este estudio no se puede utilizar para evaluar escenarios que contemplen actividades de prevención. Para ello es necesario el estudio y desarrollo de una metodología alternativa, que se procede a llevar a cabo en el capítulo 5.

4.4.4. Aplicación de los resultados

4.4.4.1. Índice de Reciclaje

Se propone un *Índice de Reciclaje*, I_R , que se define para cada fracción “i” como “la relación de los impactos del escenario R respecto a los del escenario E (relación R/E) según los resultados CED”. Se expresa en valor absoluto, siendo los impactos para CED en todos los escenarios R beneficiosos (negativos) y en los E, adversos (positivos); denominándose $I(\%)_R$ al porcentaje respecto al I_R máximo (en este caso, para la fracción de aluminio) (Ecs. 4.1 y 4.2).

$$I_{Ri} = \frac{R_i}{E_i} \quad (4.1)$$

$$I(\%)_{Ri} = \frac{I_{Ri}}{I_{R\max}} \cdot 100 \quad (4.2)$$

Estos índices reflejan la aptitud de cada fracción de RCD para el reciclaje frente a la eliminación, desde el punto de vista energético. Cuanto mayor sea el valor del índice, más favorable es la opción de reciclaje en relación a la de eliminación. Así, el valor I_R para aluminio es muy alto, lo que se traduce en que el reciclaje es mucho más ventajoso que la eliminación para este RCD. Madera, acero, envases de papel y cartón y envases plásticos también obtienen índices altos. En las fracciones inertes, sin embargo, los índices I_R son pequeños, ya que el reciclaje de estas fracciones no supone grandes ahorros desde el punto de la energía (Tabla 4.33).

		I_R	$I(\%)_R$
170101	Hormigón	0.42	0.06
170102,03	Cerámicos	0.35	0.05
170106	Mezcla horm. y cerám.	0.29	0.04
170201	Madera	167.03	25.48
170401	Cobre, bronce, latón	19.76	3.01
170402	Aluminio	655.52	100.00
170405	Hierro y acero	134.13	20.46
170802	Mat. a partir de yeso	23.13	3.53
150101	Env. papel y cartón	171.37	26.14
150102	Envases de plástico	236.59	36.09

Tabla 4.33. Índices de Reciclabilidad I_R e $I(\%)_R$

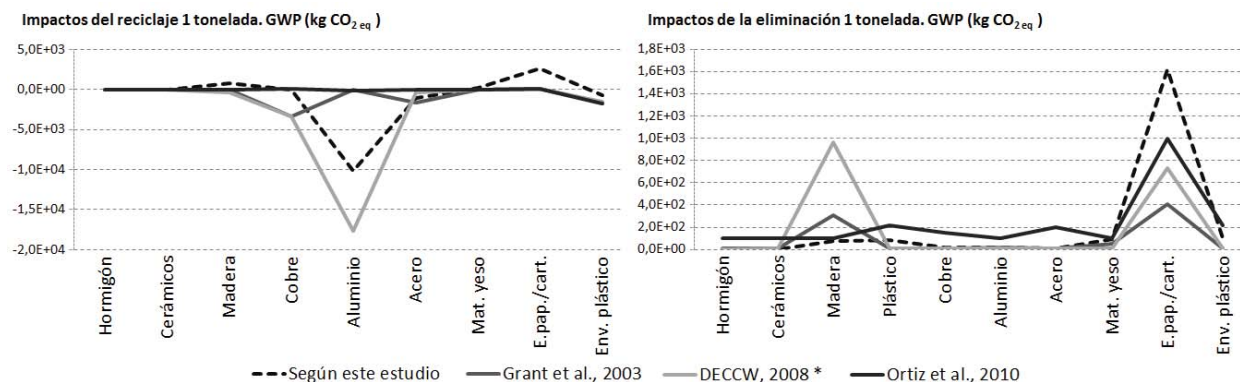
4.4.5. Comparación de los resultados obtenidos con los de otros estudios

Para verificar los resultados obtenidos, se comparan con los de otros estudios. Sin embargo, la comparación entre distintos estudios de ACV es una cuestión crítica, que debe hacerse sobre una base común, utilizando la misma unidad funcional y consideraciones metodológicas equivalentes [25].

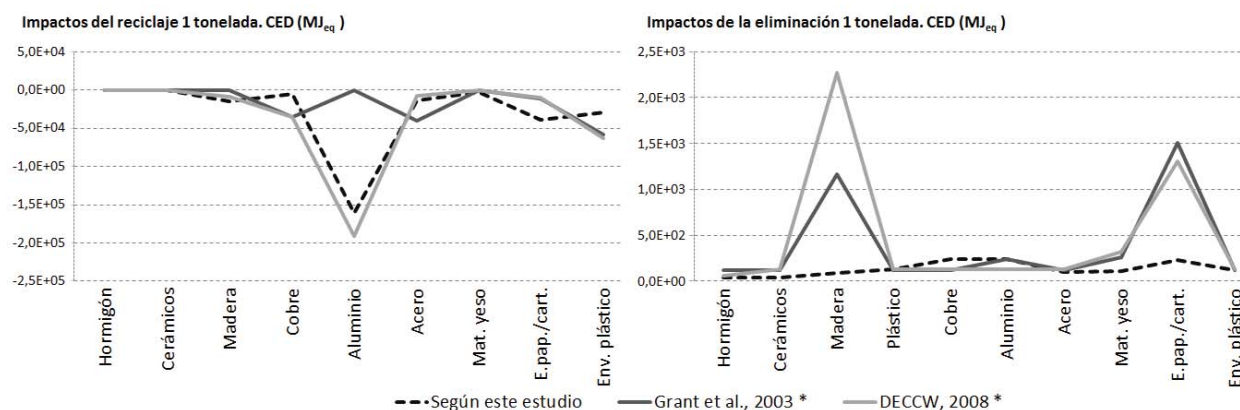
En esta investigación, la unidad funcional es la gestión de 1 tonelada de cada fracción generada en obra. Algunos estudios evalúan 1 tonelada de cada fracción (Ortiz et al., 2010, Grant & James, 2005 y DECCW, 2010); y otros, 1 tonelada de RCD mixto según una determinada composición (Levis, 2008; Blengini & Garbarino, 2010; y Mercante et al., 2012). Sin embargo, los diferentes aspectos metodológicos no permiten realizar una comparación justa. Por otro lado, algunos de estos estudios no comparan distintos escenarios de gestión, sino que calculan los beneficios del reciclaje, sustrayéndole los impactos de la eliminación a los del reciclaje (Blengini & Garbarino, 2010, Grant & James, 2005 y DECCW, 2010).

Salvando las cuestiones anteriores, las Figuras 4.63-4.66 muestran los resultados de los estudios que evalúan 1 tonelada de cada fracción. Los resultados utilizados para Grant & James, 2005 y DECCW, 2010 no son los resultados totales que obtienen, sino los parciales del reciclaje y la eliminación. Existe falta de consenso entre todos los estudios, siendo las mayores diferencias para el reciclaje de metales y envases, y para la eliminación de maderas y envases de papel y cartón. Estas diferencias, además de por las cuestiones metodológicas de cada estudio, se deben también a diferencias de datos empleados, tecnologías de reciclaje y eliminación, distancias transportadas, cantidades de productos evitados, etc. Por ejemplo, en este estudio la madera se recicla como tablero aglomerado y según GWP se obtienen impactos adversos debido al crédito de CO_2 otorgado a los productos de madera [4, 24]; sin embargo, en Grant & James, 2005 y DECCW, 2010 la gestión de dicho RCD es totalmente distinta, reciclándose como pallet y compostaje.

Los estudios que evalúan 1 tonelada de RCD mixto plantean además el problema de que difieren en la composición del RCD, y más aún, cuando no analizan los RCD de una obra de nueva planta, sino de plantas de tratamiento donde intervienen RCD de obras de nueva planta y de demolición. No obstante, en relación a los resultados obtenidos en Mercante et al., 2012, existe cierto paralelismo: para todas las categorías de impacto, acopio, transporte, clasificación y eliminación, contribuyen con cargas y el reciclaje de las fracciones evitan las cargas, excepto madera y cartón según GWP. En relación a la etapa de acopio, establecen que la contribución a los resultados totales es menor del 1% para todos los indicadores evaluados; sin embargo, en esta investigación, aunque en general es irrelevante, en algunos casos supera el 10% de las cargas totales, siendo los indicadores más afectados HTP y CED, que por otro lado no son analizados por Mercante et al., 2012.



Figuras 4.63 y 4.64. Comparación entre los resultados obtenidos en el escenario de reciclaje en este estudio y los de otros estudios, para el indicador GWP.



Figuras 4.65 y 4.66. Comparación entre los resultados obtenidos en el escenario de reciclaje en este estudio y los de otros estudios, para el indicador CED.

4.5. REFERENCIAS

- [1] Parlamento Europeo. Directiva 2008/98/CE de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. 2008;Diario Oficial de la Unión Europea L312, 0003-0030.
- [2] Ekvall T, Assefa G, Bjorklund A, Eriksson O, Finnveden G. What life-cycle assessment does and does not do in assessments of waste management. *Waste Manage* 2007;27(8):989-996.
- [3] Craighill A, Powell J. A Lifecycle Assessment and Evaluation of Construction and Demolition Waste. Centre for Social and Economic Research on the Global Environment, CSERGE Working Paper WM 99-03, University of East Anglia, UK 1999.
- [4] Mercante IT, Bovea MD, Ibanez-Fores V, Arena AP. Life cycle assessment of construction and demolition waste management systems: a Spanish case study. *International Journal of Life Cycle Assessment* 2012 FEB;17(2):232-241.
- [5] Finnveden G, Hauschild MZ, Ekvall T, Guinee J, Heijungs R, Hellweg S, et al. Recent developments in Life Cycle Assessment. *J Environ Manage* 2009 OCT;91(1):1-21.
- [6] Guinée J, Gorrée M, Heijungs R, Huppes G, Kleijn R, de Koning A, et al. Life cycle assessment-an operational guide to the ISO standards - Parts 1, 2 and 3. 2001; Available at: <<http://media.leidenuniv.nl>>
- [7] Aguado A, Josa A, Ormazabal G, Estévez B., y Cardim A. Los requerimientos ambientales en la toma de decisiones sobre estructuras de hormigón. *Hormigón y Acero* 2004;4º trimestre,(234):63-73.
- [8] Rigamonti L, Grosso M, Sunseri M. Influence of assumptions about selection and recycling efficiencies on the LCA of integrated waste management systems. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 2009 07/01;14(5):411-419.
- [9] Gómez Méndez, MG. Aplicación de técnicas de ciclo de vida al diseño de una sistema de gestión de residuos urbanos para la ciudad de Chihuahua. Tesis doctoral. Universitat Rovira I Virgili, Departamento de Ingeniería Química; 2009.
- [10] European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. Supporting Environmentally Sound Decisions for Waste Management – A technical guide to Life Cycle Thinking (LCT) and Life Cycle Assessment (LCA) for waste experts and LCA practitioners. <<http://lct.jrc.ec.europa.eu/>> 2011;2012.
- [11] Gobierno de España, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. 2013; Available at: <<http://prtr-es.es>>, 2013.
- [12] REE. El sistema eléctrico español 2012. 2013; Available at: <<http://ree.es>> .
- [13] Mercante, IT., Bovea Edo, MD., Ibañez-Forés, V., Arena, A. Perfil ambiental de la gestión de los residuos de construcción y demolición. Elaboración de Inventarios de Ciclo de Vida. 3º Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos; del 08/09/2010 al 10/09/2010; Brasil; 2010.
- [14] Blengini GA, Garbarino E. Resources and waste management in Turin (Italy): the role of recycled aggregates in the sustainable supply mix. *J Clean Prod* 2010 JUL 2010;18(10-11):1021-1030.
- [15] Marinkovic S, Radonjanin V, Malesev M, Ignjatovic I. Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete. *Waste Manage* 2010 NOV 2010;30(11):2255-2264.
- [16] Álvarez Alves L. Análisis medio ambiental de la gestión de los residuos de la construcción y demolición (RCD's). Enfoque en la perspectiva del análisis de ciclo de vida (ACV). 2010. Trabajo de investigación. Universtitat Politècnica de Catalunya; 2010.
- [17] Grant T, James KL. Life Cycle Impact Data for resource recovery from C&I and C&D waste in Victoria final report. Melbourne, Victoria, Centre for Design at RMIT University 2005.

- [18] Rigamonti L, Grosso M, Giugliano M. Life cycle assessment for optimising the level of separated collection in integrated MSW management systems. *Waste Manag* 2009 Feb;29(2):934-944.
- [19] DECCW (Department of Environment, Climate Change and Water NSW). Environmental benefits of recycling. 2010.
- [20] Eurogypsum. Waste Policy Paper: Building Value For Society. 2007
- [21] McGraw Hill Financial. Platts. 2013; Available at: <<http://platts.com/>> .
- [22] Llatas Oliver C. Residuos generados en la construcción de viviendas: propuestas y evaluación de procedimientos y prescripciones para su minimización. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla, Departamento de Construcciones Arquitectónicas I; 2000.
- [23] Fernández Casado, S. Reciclaje interno de los residuos en las fábricas. Reutilización del yeso reciclado para la fabricación de placas de yeso laminado. CONAMA10 - Congreso Nacional del Medio Ambiente; 22-26 de noviembre 2010; España.
- [24] Zabalza Bribián I, Valero Capilla A, Aranda Usón A. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Build Environ* 2011 5;46(5):1133-1140.
- [25] ISO (International Organization for Standardization). International Standard ISO 14044: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines. Geneva, Switzerland.; 2006.
- [26] SCLCI (Swiss Centre for Life Cycle Inventories). 2005. Centre, Ecoinvent database v1.2; Available at: <<http://ecoinvent.org>>

CAPÍTULO 5. Evaluación de escenarios de prevención de RCD mediante ACV: propuesta y aplicación de metodología

En este capítulo se estudia la aplicación del ACV para evaluar escenarios de gestión de RCD que consideran actividades de prevención. En primer lugar, se analiza la limitación al respecto de la metodología de ACV tradicionalmente utilizada para evaluar la gestión de los RCD. A continuación, se propone una metodología que permita incluir actividades de prevención en los escenarios de gestión a evaluar. Por último, se aplica la metodología propuesta a los casos de estudio.

- **Limitación de la metodología tradicional.** Se debe a dos aspectos: (1) la unidad funcional suele basarse en una determinada cantidad y composición de residuos constante para todos los escenarios a comparar; (2) los límites del sistema se reducen en base al supuesto de “carga cero” excluyéndose los procesos *pre*-residuo por ser comunes a todos los escenarios. Ambas cuestiones son incompatibles con las variaciones entre escenarios ocasionadas al considerar actividades de prevención.

- **Metodología propuesta.** A partir del estudio de Nessi et al., 2013, se propone una metodología para evaluar escenarios de gestión de los RCD donde se contemplan actividades de prevención que, entre otros, supone redefinir los límites del sistema y la unidad funcional respecto a los utilizados en la metodología tradicional. De la metodología propuesta se derivan dos opciones metodológicas: la *Opción 1* (se computan las cargas en el escenario real donde suceden) y la *Opción 2* (se aplica el supuesto de “carga cero” y solo se computan las cargas *pre*-RCD en los escenarios de prevención, siendo el cálculo de los escenarios sin prevención análogo a los de la metodología tradicional). Para cada opción se definen la unidad funcional y los límites del sistema correspondientes, y se desarrolla la formulación de un caso general, aplicable a obras o elementos constructivos en los que intervienen medidas de prevención de tipo reducción y sustitución. También se plantea la formulación de un caso simplificado, aplicable

al análisis de 1 tonelada de RCD, considerando solo medidas de reducción, es decir, cuando solo se altera la cantidad generada de RCD y no la composición.

- **Aplicación de la metodología propuesta a los casos de estudio.** Se aplica la metodología simplificada a la gestión de cada una de las trece fracciones generadas en las obras, según las *Opciones 1 y 2*, realizándose por tanto veintiséis evaluaciones que se desarrollan en paralelo. Se sigue las ISO 14040:2006 y 14044:2006, según las cuatro fases del ACV.

- *Definición de objetivo y alcance.* Las trece fracciones de RCD se evalúan según los escenarios E, R y C (sin prevención, análogos a los del Capítulo 4) y el escenario P (se previene la totalidad del RCD). Se definen la unidad funcional y los límites del sistema para las *Opciones 1 y 2*. Algunas cuestiones coinciden con lo expuesto en el Capítulo 4, como los métodos EICV, los procedimientos de asignación o el inventario de los procesos de GRCD.

- *Inventario de Ciclo de Vida.* Se recopilan datos sobre los procesos *pre*-RCD (fases de producción de materiales de construcción, transporte de materiales y ejecución del edificio) y GRCD (fase de gestión de RCD, coincidentes con los recopilados en el Capítulo 4).

- *Evaluación de Ciclo de Vida.* Se utilizan el método CML 2001 y el método de Demanda de Energía Acumulada. Se realiza según los elementos obligatorios establecidos en las ISO 14040:2006 y 14044:2006. El programa de cálculo utilizado es *SimaPro 7.1*.

- *Análisis de resultados.* Según las *Opciones 1 y 2*, para cada fracción, el escenario P es el más favorable y el E el más desfavorable, salvo excepciones, como el aluminio según todos los indicadores o la madera según GWP. Los resultados netos varían según la opción aplicada. A partir de los resultados, se propone un *Índice de Prevención, I_p* , que refleja las ventajas de la prevención frente a las del reciclaje.

Capítulo 5. Evaluación de escenarios de prevención mediante ACV: propuesta y aplicación de metodología

5.1. Las actividades de prevención de los RCD y la metodología ACV	109
5.1.1. Consideraciones previas	109
5.1.1.1. Metodología propuesta por Nessi et al.,2013	109
5.1.1.2. Medidas de prevención de RCD	110
5.1.2. Metodología propuesta	111
5.1.2.1. Metodología simplificada	113
5.2. Definición de objetivos y alcance del estudio	115
5.2.1. Opción 1	114
5.2.2. Opción 2	114
5.2.3. Procedimiento de asignación de cargas	115
5.2.4. Categorías de impacto y metodología de evaluación de impacto	115
5.2.5. Requerimientos de datos	115
5.2.6. Hipótesis	115
5.3. Elaboración del Inventario de Ciclo de Vida	115
5.3.1. Procesos que intervienen en cada fase	115
5.3.2 Inventario de Ciclo de Vida por tipo de RCD y escenario analizado	116
5.3.3 Calidad de los datos empleados	116
5.4. Evaluación de impactos del ciclo de vida y resultados	117
5.4.1. Impactos de la gestión de 1 tonelada de cada fracción	117
5.4.1.1. 17 01 01 Hormigón, según los escenarios E, R, C y P	118
5.4.1.2. 17 01 02 Ladrillos y 17 01 03 Tejas y materiales cerámicos, según los escenarios E, R, C y P	119
5.4.1.3. 17 01 07 Mez. de horm., ladrillos, tejas y materiales cerám., según los esc. E, R, C y P	120
5.4.1.4. 17 02 01 Madera, según los escenarios E, R, C y P	121
5.4.1.5. 17 02 03 Plástico, según los escenarios E, C y P	122
5.4.1.6. 17 04 01 Cobre, bronce, latón, según los escenarios E, R, C y P	123
5.4.1.7. 17 04 02 Aluminio, según los escenarios E, R, C y P	124
5.4.1.8. 17 04 05 Hierro y acero, según los escenarios E, R, C y P	125
5.4.1.9. 17 08 02 Mat. de construcción a partir de yeso, según los esc. E, R, C y P	126
5.4.1.10. 15 01 01 Envases de papel y cartón, según los escenarios E, R, C y P	127
5.4.1.11. 15 01 02 Envases de plástico, según los escenarios E, R, C y P	128
5.4.1.12. 17 09 04 R. mezclados de construcción y demolición (RECHAZOS), según los esc.E, C y P	129
5.4.1.13. 17 09 04 R. mezclados de construcción y demolición (RCD mixto), según los esc. E, C y P	130
5.5. Discusión de resultados	131
5.5.1. Interpretación de los resultados obtenidos según las dos opciones metodológicas	131
5.5.1.1. Resultados según opción metodológica 1	131
5.5.1.2. Resultados según opción metodológica 2	132
5.5.2. Interpretación de los resultados obtenidos según cada fase del ciclo de vida	132
5.5.2.1. Fases pre-RCD	132
5.5.3. Interpretación de los resultados obtenidos para cada fracción según los indicadores GWP y CED	133
5.5.3.1. Resultados según Opción 1	133
5.5.3.2. Resultados según Opción 2	133
5.5.3.3. Factores que influyen en los resultados	135
5.5.3.4. Consideraciones particulares de cada opción metodológica	136
5.5.4. Limitaciones y carencias de este estudio	137
5.5.4.1. Calidad de los datos	137
5.5.5. Aplicación de los resultados	137
5.5.5.1.Índice de Prevención	137
5.5.5.2. Procedimiento de cálculo simplificado para la evaluación de la GRCD en obras	138
5.5.6. Comparación de los resultados obtenidos con los de otros estudios	138
5.6. Referencias	139

5.1. LAS ACTIVIDADES DE PREVENCIÓN DE LOS RCD Y LA METODOLOGÍA ACV

5.1.1. Consideraciones previas

La jerarquía comunitaria de gestión de residuos establece que la prevención es la opción prioritaria. Además, la prevención no debe limitarse a disminuir la cantidad de RCD generados, sino también los impactos ambientales [1].

En la bibliografía revisada, existen varios estudios enfocados a la reducción de las cantidades de RCD, tanto en la fase de obra, mediante buenas prácticas (p.ej. [2]); como en la fase de diseño, mediante sistemas constructivos alternativos (p.ej. [3]). También aparecen estudios enfocados a la prevención que consideran los impactos ambientales, como la herramienta simplificada online *Designing out waste tool* [4].

Sin embargo, no se ha hallado ningún estudio que aplique el ACV a la gestión de los RCD considerando escenarios de prevención. Por otro lado, respecto a la gestión de los RSU, que ha sido mucho más estudiada mediante el ACV que la de los RCD, son escasos y recientes los estudios que abordan este problema [5-7].

Lo anterior es debido a que la metodología tradicional de ACV utilizada para evaluar la gestión de los residuos no permite considerar escenarios de prevención. Como indica Nessi et al.,2013, dos son los aspectos metodológicos involucrados: la unidad funcional y los límites del sistema [5].

- Unidad funcional: para comparar distintos escenarios de gestión, se suele basar en la gestión de una determinada cantidad y composición de residuos. Si esta cantidad no es constante para todos los escenarios a comparar, no es posible la comparación entre escenarios. Esto es lo que ocurre al introducir actividades de prevención, ya que variarán la cantidades entre escenarios [6,9].

- Límites del sistema: para comparar distintos escenarios de gestión, se suelen simplificar aplicando el supuesto de "carga cero", según el cual, los procesos y actividades previos a la generación del residuo (*pre-residuo*) se excluyen de los límites del sistema por ser comunes a todos los escenarios [5,8]. Sin embargo, si existe un escenario de prevención, estos procesos y actividades *pre-residuo* difieren entre los escenarios, por lo que es necesario ampliar los límites del sistema e incorporar estos procesos [5].

No considerar estas cuestiones conlleva una sobrestimación de cargas del escenario que menos residuos genere [5,9], ya que se ha aplicado el supuesto de "carga cero" suponiéndole a este escenario unas cargas *pre-residuo* que no le corresponden. Además, si se aplica el método de "cargas evitadas", en los escenarios en los que interviene el reciclaje pueden obtenerse indicadores con valores negativos, lo que se traduce en un beneficio ambiental. Una reducción de los residuos generados conlleva una reducción de estos beneficios, lo que resulta paradójico [5].

5.1.1.1. Metodología propuesta por Nessi et al.,2013

En el marco del ACV de la gestión de los RSU, Nessi et al.,2013 proponen dos métodos para la comparación de escenarios que consideran actividades de prevención con escenarios que no las consideran. Ambos métodos se diferencian en una serie de cuestiones, entre las que se encuentran la unidad funcional y los límites del sistema.

Método 1: considera que la cantidad de residuos que se gestionan en todos los escenarios es la misma, siendo en los escenarios de prevención igual a la suma de los residuos generados más los residuos prevenidos. La unidad funcional se basa en los residuos potencialmente generables; pero permite como unidad funcional alternativa “la gestión de una determinada cantidad de residuos”, al considerar la prevención como una opción de gestión más. En cuanto a los límites del sistema, aplica el supuesto de “carga cero”, por lo que en los escenarios que no son de prevención, los límites del sistema coinciden con los de los ACV tradicionales de gestión de residuos. Sin embargo, en el escenario de prevención hay una serie de procesos *pre-residuo* que son evitados, por lo que es necesario expandir los límites del sistema e incluir estos procesos *pre-residuos* como cargas evitadas. Además, en el caso de que las actividades de prevención supongan la utilización de productos alternativos, las cargas *pre-residuo* de estos productos también deben ser incluidas en este escenario.

Método 2: considera la cantidad real de residuos en cada escenario, estando basada la unidad funcional en esa cantidad real de residuos. En relación a los límites del sistema, al ser distintas las cantidades de residuos de cada escenario, no es aplicable el supuesto de “carga cero”. Por lo tanto, en todos los escenarios se expanden los límites del sistema para incluir aquellos procesos *pre-residuo* que difieren de un escenario a otro.

En resumen, desde el punto de vista práctico, la principal diferencia entre los dos métodos es esencialmente la siguiente: según el *Método 1*, los procesos *pre-residuo* de los residuos prevenidos se incluyen como procesos evitados en el escenario de prevención, mientras que en el *Método 2*, estos procesos se incluyen en el escenario en el que tienen lugar. En cuanto a resultados, ambos métodos coinciden en términos de diferencia de impactos entre escenarios, pero difieren en cuanto a los impactos individuales de cada escenario, por lo que, según la situación y el propósito del análisis, será más indicado un método u otro.

5.1.1.2. Medidas de prevención de RCD

Diversas investigaciones estudian medidas de prevención de los RCD enfocadas tanto a la fase de obra como a la fase de diseño. La Tabla 5.1 muestra un conjunto de medidas de prevención a considerar en la fase de diseño que Llatas,2000 propone para la reducción de los RCD generados durante la construcción de un edificio [3].

Los RCD asociados a la construcción de un elemento constructivo se pueden reducir mediante actuaciones sobre el propio elemento sin alterar sus características materiales originales (medidas de reducción) o sustituyendo el elemento por otro equivalente que genere menos residuos (medidas de sustitución).

Las medidas de reducción reducen la cantidad de RCD generados sin alterar su composición, como por ejemplo ocurre si se aplica la coordinación dimensional a los elementos. Estas medidas evitan impactos asociados al ciclo de vida completo de los productos implicados, es decir, se evitan tanto procesos de gestión de RCD (GRCD) como procesos previos a la generación de RCD (*pre-RCD*).

Las medidas de sustitución suponen una variación tanto de la cantidad como de la composición de los RCD que se generan, como por ejemplo ocurre si se sustituyen las particiones de fábrica de ladrillo ejecutadas *in situ* por particiones de elementos prefabricados, como por ejemplo de yeso laminado. Al aplicar este tipo de medidas es necesario considerar los impactos adicionales asociados al ciclo de vida completo de los productos alternativos [6]. Es decir, se evitan determinados procesos GRCD y *pre-RCD*, pero hay que considerar los procesos GRCD y *pre-RCD* de los nuevos productos implicados.

ELEMENTO CONSTRUCTIVO	EDIFICIO DE REFERENCIA	EDIFICIO ALTERNATIVO	REDUCCIÓN
	Procedimiento original	Procedimiento alternativo	%
Cimentación	Pozos de hormigón	Pilotes de hinca	75
Arquetas	F.L. ejecutadas in situ	Prefabricadas	45
Forjados	Viguetas y bovedillas	Placas alveolares	80
Jácnas y pilares	Hormigón armado	Metálicos	98
Fachadas revestidas	Citaras L.H.D.	Bloques mortero	14
Trasdosados	Tabiques L.H.S.	Paneles cartón-yeso+aislamiento	36
Emparchados	Piezas a cortar	Piezas especiales	82
Cubiertas	A la andaluza transitable, baldosas cerámicas	Invertida transitable y pavimento sobre tanganellos	50
Instalaciones	Regolas en paramentos	En paneles cartón-yeso, registrables	45
Alicatados	Tomados con mortero de agarre	Tomados con pastas adhesiva y paramentos modulados	30
Revestimientos int.	Guarnecidos de yeso	Desaparecen	100
Techos	Suspendidos de escayola	Suspendidos de cartón-yeso	45
Pavimentos	Solería interrumpida por particiones	Solería pasante y modulación	49
Carpintería	Regolas para patillas de anclaje	Anclajes mecánicos	72
Revestimientos ext.	Enfoscados de mortero de cemento	Morteros monocapas con pigmentos, se eliminan pinturas	
TOTAL RESIDUOS	1450.81 m3	432.78 m3	
	0.5034 m3/ m2	0,1501 m3/ m2	

Tabla 5.1. Principales procedimientos alternativos aplicados, así como el porcentaje de volumen de residuos minimizado con respecto al volumen de residuos generado por el procedimiento original. Fuente: [3]

5.1.2. Metodología propuesta

La metodología propuesta se basa en Nessi et al.,2013. Estos autores proponen dos métodos aplicables a diferentes situaciones de gestión de los RSU, a partir de los cuales se desarrollan dos opciones metodológicas para los RCD, cuyas aplicaciones se estudiarán en el marco de la construcción de edificios.

La Figura 5.1 resume el planteamiento en el que se basan ambas opciones. Se parte de varios escenarios de gestión en los que no intervienen actividades de prevención y un escenario en el que sí intervienen. En los escenarios que no aplican medidas de prevención se genera una cantidad de RCD (Q), distinta de la que se genera en los que los aplican (Q').

	Tipo de escenario de gestión				
	sin prevención			con prevención	
	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P	
Cantidad real RCD	Q	Q	Q	Q'	CANTIDADES Q O Q' SEGÚN EL ESCENARIO
Impactos Pre-RCD	A	A	A	A'	
Impactos GRCD	$\Omega(E)$	$\Omega(R)$	$\Omega(C)$	$\Omega'(R)$	
Impactos totales Opción 1	$A + \Omega(E)$	$A + \Omega(R)$	$A + \Omega(C)$	$A' + \Omega'(R)$	
Impactos Pre-RCD (de Q)	-A	-A	-A	-A	APLICACIÓN DEL SUPUESTO DE "CARGA CERO"
Impactos totales Opción 2	$\Omega(E)$	$\Omega(R)$	$\Omega(C)$	$\Omega'(R) + A' - A$	CANTIDAD Q EN TODOS LOS ESCENARIOS
	escenarios según metodología tradicional				

Figura 5.1 Esquema de metodología propuesta. Fuente: Elaboración propia

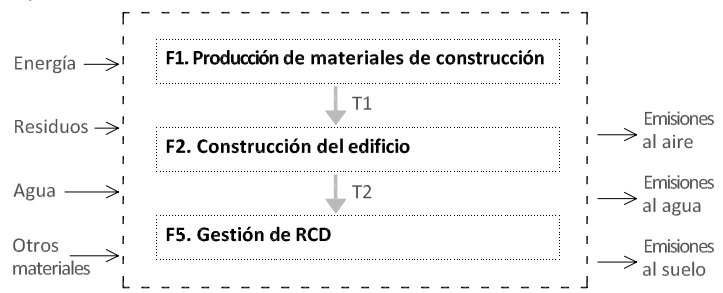
Para el cómputo de los impactos de los RCD generados en cada escenario, es necesario considerar las cargas debidas a las fases *pre*-RCD —A y A'— y GRCD — $\Omega(E)$, $\Omega(R)$, $\Omega(C)$ y $\Omega'(R)$ —. Este primer procedimiento, en el que se computan las cargas en el escenario real donde suceden, se denomina *Opción 1*.

Según el supuesto de “carga cero”, las cargas *pre*-RCD comunes a todos los escenarios se pueden eliminar. Las cargas *pre*-RCD de los escenarios sin prevención coinciden —A—, por lo que si se eliminan, en cada escenario sin prevención solo se computan las cargas GRCD correspondientes — $\Omega(E)$, $\Omega(R)$ o $\Omega(C)$ —, resultando escenarios similares a los de la metodología tradicional. Sin embargo, estas cargas también hay que eliminarlas del escenario de prevención, cuyas cargas *pre*-RCD son distintas —A'—, computándose finalmente: las cargas GRCD y *pre*-RCD reales del escenario de prevención —A' y $\Omega'(R)$ — menos las cargas *pre*-RCD de los escenarios sin prevención —A—. Este segundo procedimiento, se denomina *Opción 2*.

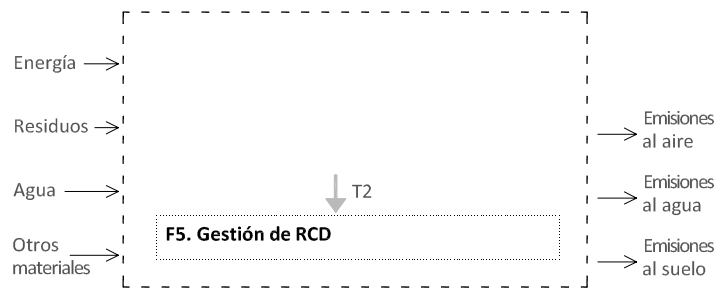
La cantidad de RCD que se gestiona en cada escenario puede variar según la *Opción 1*; pero debe coincidir según la *Opción 2*, siendo en este caso la máxima cantidad generable. Esto afecta a la unidad funcional: para la *Opción 1*, es “la gestión de la cantidad real de RCD generados en cada escenario de estudio, contemplan o no actividades de prevención”; para la *Opción 2*, “la gestión de la cantidad de RCD generada en un escenario donde no se han aplicado actividades de prevención”.

Los límites del sistema también varían según la opción: en la *Opción 1* se incluyen para cada escenario los procesos GRCD y los procesos *pre*-RCD correspondientes (Fig. 5.2); en la *Opción 2* se incluyen los procesos GRCD en todos los escenarios (Fig. 5.3) y los procesos *pre*-RCD solo en los que consideran actividades de prevención (Fig. 5.4). Los procesos *pre*-RCD considerados son los correspondientes a las fases de producción de materiales y ejecución del edificio (Fig. 2.13). Esto es debido a que en obras de construcción, los RCD se generan antes de la fase de uso del edificio, por lo que, del ciclo de vida completo del edificio, no intervienen ni la fase de uso ni la de demolición. Por otro lado, no se consideran en este estudio las actividades de reutilización que, como se indicó en el capítulo 2, son más propias en obras demolición y rehabilitación que en obras de nueva planta.

Opción 1. Todos los escenarios



Opción 2. Escenarios sin actividades de prevención



Opción 2. Escenarios con actividades de prevención

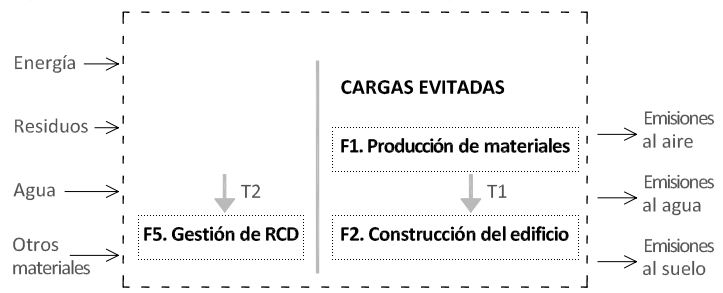


Figura 5.2-5.4. Límites del sistema según escenarios y opción metodológica.

La Tabla 5.2 muestra la formulación a aplicar para el cálculo de los impactos asociados a escenarios con y sin prevención, por cada indicador de impacto analizado, según las dos opciones metodológicas propuestas. Esta formulación recoge un caso general, considerando actividades de prevención tanto de tipo reducción como de sustitución, es decir, se consideran variaciones tanto de las cantidades de RCD generadas como de la composición. Estas variaciones quedan recogidas en las distintas cantidades que se generan de cada fracción en los distintos escenarios.

	<i>Opción 1</i>	<i>Opción 2</i>
Escenarios sin prevención	$X_1^j = \sum_i^n \alpha_i^j \cdot q_i + \sum_i^n \omega_i^j \cdot q_i \quad (5.1)$	$X_2^j = \sum_i^n \omega_i^j \cdot q_i \quad (5.3)$
Escenarios con prevención	$X_{p1}^j = \sum_i^n \alpha_i^j \cdot q'_i + \sum_i^n \omega_i^j \cdot q'_i \quad (5.2)$	$X_{p2}^j = \sum_i^n \alpha_i^j \cdot (q'_i - q_i) + \sum_i^n \omega_i^j \cdot q'_i \quad (5.4)$

Tabla 5.2. Ecuaciones del procedimiento general para las Opciones 1 y 2.

En estas ecuaciones, para el indicador “j”, X^j son los impactos de un escenario que no aplica actividades de prevención e X_p^j , los de un escenario que sí las aplica, según cada opción metodológica 1 o 2; ω_i^j son los impactos asociados a la fase GRCD de 1 tonelada de RCD tipo “i” y α_i^j , los asociados a la fase pre-RCD; q_i es la cantidad en toneladas de cada tipo “i” de RCD que se genera en obra sin aplicar medidas de prevención y q'_i , la que se genera si se aplican.

5.1.2.1. Metodología simplificada

La metodología anterior es aplicable a escenarios de gestión donde se generan diversas fracciones de RCD, como los asociados a una obra o a un elemento constructivo. Sin embargo, en ocasiones, puede ser de interés el análisis de 1 tonelada de cada fracción de RCD. Este análisis permite por otro lado realizar una serie de simplificaciones a partir de las ecuaciones 5.1-5.4, considerando que la prevención se consigue solo mediante actividades de reducción.

Así pues, para la *Opción 1*, que en cada escenario considera la cantidad real generada de RCD, la cantidad de RCD se impone como 1 tonelada en los escenarios donde no se aplican actividades de prevención, y cero toneladas en el escenario de prevención, es decir, se supone que no se genera ninguna cantidad de RCD. Sin embargo, según la *Opción 2*, tanto en los escenarios sin prevención como en los de prevención, la cantidad a gestionar es 1 tonelada.

Por lo tanto, en el análisis solo interviene un tipo “i” de RCD; y el valor de la cantidad q_i es la unidad (1 tonelada) y el valor de la cantidad q'_i es cero, al no generarse ningún residuo en el escenario P. Las expresiones simplificadas para el caso de estudio de una tonelada de RCD tipo “i” son las siguientes:

	<i>Opción 1</i>	<i>Opción 2</i>
Escenarios sin prevención	$(\chi_1)_i^j = \alpha_i^j + \omega_i^j \quad (5.5)$	$(\chi_2)_i^j = \omega_i^j \quad (5.7)$
Escenarios con prevención	$(\chi_{p1})_i^j = 0 \quad (5.6)$	$(\chi_{p2})_i^j = -\alpha_i^j \quad (5.8)$

Tabla 5.3. Ecuaciones de la metodología simplificada para el análisis de 1 tonelada, Opciones 1 y 2.

En estas ecuaciones, para el indicador “j” y cada tipo de RCD “i”, χ_i^j son los impactos de una tonelada generada y $\chi_{p,i}^j$, los de una tonelada prevenida, según cada opción metodológica 1 o 2; ω_i^j son la cantidad de impactos asociados a la fase GRCD de 1 tonelada de RCD tipo “i” y α_i^j los asociados a la fase pre-RCD.

5.2. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO

La metodología propuesta se aplica para evaluar la gestión de 1 tonelada de cada una de las trece fracciones generadas en las obras, considerando actividades de prevención de tipo reducción. En particular, se aplica la metodología simplificada descrita en el apartado 5.1.2.1, según las *Opciones 1 y 2*. Ambas opciones metodológicas difieren en aspectos como la unidad funcional o los límites del sistema, que se especifican a continuación.

Los escenarios a evaluar son: escenarios sin actividades de prevención E, R y C, (según lo explicado en el capítulo 4); y escenario con actividades de prevención P, en el que se previene la totalidad del RCD (Tablas 5.4 y 5.5).

Por otro lado, algunas cuestiones coinciden con lo expuesto en el capítulo 4, como los métodos EICV aplicados, los procedimientos de asignación de cargas o el inventario de los procesos de GRCD. En estos casos se remite al correspondiente apartado donde ya han sido previamente definidos.

	Generación RCD	Separación	Gestión Final
Escenario E	Sí (1 tonelada)	En obra	Eliminación
Escenario R	Sí (1 tonelada)	En obra	Reciclaje
Escenario C	Sí (1 tonelada)	En planta de clasificación	Eliminación o Reciclaje según fracción
Escenario P	No	No procede	No procede

Tabla 5.4. Características de los escenarios. Fuente: elaboración propia

	Escenario			
	E	R	C	P
170101 Hormigón			R	
170102,03 Cerámicos			R	
170106 Mezcla hor. y cerám.			R	
170201 Madera			R	
170203 Plástico			E	
170401 Cobre, bronce, latón			R	
170402 Aluminio			R	
170405 Hierro y acero			R	
170802 Mat. a partir de yeso			E	
170904 RCD mezclados (Rechazos)			E	
150101 Env. papel y cartón			R	
150102 Envases de plástico			E	
170904 RCD mezclados (RCD mixto)			R	

Tabla 5.5. Escenarios analizados por fracción de RCD. Fuente: elaboración propia

5.2.1. Opción 1

- *Unidad funcional*: se define como “la gestión de la cantidades de RCD generados en los escenarios E, R, C y P”. Estas cantidades son: 1 tonelada de cada fracción de RCD en los escenarios E, R y C y ninguna cantidad (0 toneladas) en el escenario P. Las fracciones analizadas son las que se generan en las obras de estudio, exceptuando las tierras y los residuos peligrosos.

- *Límites del sistema*: incluyen para cada escenario los procesos GRCD y los procesos *pre*-RCD correspondientes (Figura 5.2).

Los procesos GRCD se han descrito en el capítulo 4. Los procesos *pre*-RCD son los correspondientes a las fases de producción de materiales de construcción y a la fase de ejecución del edificio, procesos de transporte incluidos.

5.2.2. Opción 2

- *Unidad funcional*: se define como “la gestión de 1 tonelada de cada fracción de RCD” según los escenarios E, R, C y P. Las fracciones analizadas son las que se generan en las obras de estudio, exceptuando las tierras y los residuos peligrosos.

- *Límites del sistema*: incluyen además de los procesos GRCD, los procesos *pre*-RCD. Sin embargo, debido a la aplicación del supuesto de “carga cero”, los procesos *pre*-RCD se excluyen de los límites del sistema de los escenarios E, R y C, apareciendo como cargas evitadas en el escenario P (Figuras 5.3 y 5.4).

Los procesos GRCD han sido descritos en el capítulo 4. Los procesos *pre*-RCD son los correspondientes a las fases de producción de materiales de construcción y a la fase de ejecución del edificio, procesos de transporte incluidos.

5.2.3. Procedimiento de asignación de cargas

Se remite a lo expuesto en el apartado 4.1.5.

5.2.4. Categorías de impacto y metodología de evaluación de impacto

Se remite a lo expuesto en el apartado 4.1.6

5.2.5. Requerimientos de datos

Se remite a lo expuesto en el apartado 4.1.7

5.2.6. Hipótesis

Además de lo expuesto en el apartado 4.1.8 se tienen en cuenta las siguientes hipótesis:

HP7. Hipótesis relativas a la composición de los productos utilizados en la fase de producción de materiales de construcción. Se ha considerado que cada fracción procede de los siguientes materiales de construcción: la fracción de hormigón, de hormigón en masa; la fracción cerámica, de ladrillos; la fracción de maderas, de tableros contrachapados; la fracción de plásticos, de mezcla de plásticos; las fracciones metálicas, de mezcla de metales de producción primaria y secundaria; la fracción de materiales de yeso, de yeso laminado; los envases de papel y cartón, de productos de cartón corrugado; los envases plásticos, de film plásticos de polietileno.

HP8. Hipótesis relativas al transporte de materiales. Se considera que los materiales de construcción que intervienen son procedencia local.

5.3. ELABORACIÓN DEL INVENTARIO DE CICLO DE VIDA

Tanto para la *Opción 1* como para la *Opción 2* es necesario realizar el ICV de los procesos implicados en la GRCD (fase 5) como de los procesos *pre*-RCD (fases 1 y 2). El ICV de los procesos de GRCD, coincide con el realizado en el apartado 4.2. El ICV de los procesos *pre*-RCD se elabora en los siguientes apartados.

5.3.1. Procesos que intervienen en cada fase

5.3.1.1. Fase 1: producción de materiales de construcción

Para establecer los procesos asociados a esta fase, se recurre a la base de datos *EcoInvent*, seleccionando el material primario correspondiente a cada tipo de RCD, según las hipótesis indicadas en el apartado 5.2.6. Para los RCD plásticos, se utiliza la composición siguiente: 47% PVC, 18% polietileno, 6% polipropileno, 9% poliestireno expandido, 4% otros poliestirenos, 8% poliuretano, 8% otros [10].

5.3.1.2. Transporte de materiales T1

Es necesario determinar las distancias desde el punto de producción a la obra, para lo que hay que considerar las distancias desde el punto de fabricación al lugar de suministro y las distancias desde el punto de suministro a la obra [11]. Para determinar las distancias desde el punto de fabricación al lugar de suministro se aplican los datos de la Tabla 5.6. Las distancias desde el punto de suministro a la obra se estiman en 5 kilómetros en camión de 16 toneladas, según los datos de García,2010 para un solar ubicado dentro de la zona metropolitana de una ciudad de más de 10000 habitantes [11].

En función de estas distancias se modela el transporte según el método descrito en el Anexo I. Los datos ambientales asociados se obtienen de *EcolInvent*.

Lugar de fabricación	Local	Provincial	Regional	Nacional	Internacional
Distancia de fabricación	5 km, camión 16 t	20 km, camión 28 t	150 km, camión 28 t	800 km, camión 40 t	5000 km, barco

Tabla 5.6: Distancias desde el punto de fabricación al lugar de suministro. Fuente: [11]

5.3.1.3. Fase 2: ejecución del edificio

En esta fase se computa el consumo energético en obra debido a la ejecución del edificio. La Tabla 5.7 muestra el consumo energético por volumen de edificio, según Kellenberger et al.,2007 [12].

	Diesel MJ / m ³ de edificio	Electricidad kWh / m ³ de edificio	Cantidades de material t de material / m ³ de edificio
Construcción	5		0.500
Mantenimiento	-	0.300 en total	0.095
Demolición	10		0.600

Tabla 5.7. Consumo energético en obras y cantidades de materiales que intervienen. Fuente: [12]

A partir de estos datos se adoptan los siguientes consumos por tonelada de material: 10 MJ en consumo de diesel y 0.2 kWh en consumo eléctrico (a falta de un posterior estudio, se asume como hipótesis que del consumo eléctrico total de 0.3 kWh/m³ de edificio, a la fase de construcción le corresponden 0.1 kWh/m³ de edificio). Para los residuos de envases no se tienen en cuenta estos consumos, ya que no llevan asociados un consumo de puesta en obra. Los datos ambientales asociados se obtienen de *EcolInvent*.

5.3.1.4. Fase 5: GRCD

Se remite a lo expuesto en el apartado 4.2, incluyendo acopio, transporte y gestión final.

5.3.2 Inventario de Ciclo de Vida por tipo de RCD y escenario analizado

La Tabla 5.8 muestra el inventario resultante de los procesos *pre*-RCD para cada fracción. Para los procesos GRCD se remite a las Tablas 4.12-4.14. A todas estas cantidades se le asocian los datos ambientales obtenidos de la base de datos *EcolInvent*.

5.3.3 Calidad de los datos empleados

Para los procesos GRCD es de aplicación lo expuesto en el apartado 4.2.5, completándose con lo referente a los datos *pre*-RCD. Las cantidades computadas para cada proceso en la fase de producción de materiales son 1 tonelada; en la fase de ejecución del edificio se obtienen de Kellenberger et al.,2007; y las asociadas al transporte de García,2010. Todos los datos ambientales asociados a los procesos que intervienen se obtienen de la base de datos *EcolInvent* [13] (Tabla 5.9).

Proceso	Unidad	P Hormig.	P Cerámic.	P Mezcla	P Madera	P Plásticos	P Cobre	P Aluminio	P Acero	P Yeso	P Env.P y C	P Env. Plást.	P Restos	P Mixto
HORMIGÓN	m3	4.34E-01		2.94E-01									2.82E01	2.82E01
LADRILLOS	kg		1.00E+03	3.22E+02									3.08E+02	3.08E+02
TABLEROS DE MADERA	m3				1.21E+00								7.22E03	7.22E03
PVC	kg					4.70E+02							1.53E+00	1.53E+00
POLIESTIRENO EXPANDIDO	kg					2.10E+02							6.83E01	6.83E01
POLIPROPILENO	kg					6.00E+01							1.95E01	1.95E01
ESPUMA DE POLIURETANO	kg					8.00E+01							2.60E01	2.60E01
POLIETILENO	kg					1.80E+02							5.85E01	5.85E01
COBRE (MIX PRIM./SECUN.)	kg						1.00E+03						1.40E01	1.40E01
ALUMINIO (MIX PRIM./SECUN.)	kg							1.00E+03						
ACERO ESTRUCTURAL	kg								1.00E+03				2.00E+00	2.00E+00
YESO LAMINADO	kg									1.00E+03			1.11E+01	1.11E+01
CARTÓN CORRUGADO	kg										1.00E+03			
FILM DE POLIETILENO	kg											1.00E+03		
DIESEL	MJ	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01
ELECTRICIDAD	kWh	2.00E-01	2.00E-01	2.00E-01	2.00E-01	2.00E-01	2.00E-01	2.00E-01	2.00E-01	2.00E-01	2.00E-01	2.00E-01	2.00E01	2.00E01
TRANSPORTE > 16 T	tkm	1.04E+00	1.13E+00	1.07E+00	2.59E+00	1.49E+00	1.04E+00	1.04E+00	1.04E+00	1.04E+00	7.45E+00	1.49E+00	1.14E+00	1.14E+00

Tabla 5.8: Inventarios de la fase pre-RCD para cada fracción de RCD. Fuente: Elaboración propia

	Fuente de datos	Geografía	Antigüedad (años)	Tecnología
Producción de materiales de construcción	Cantidades de procesos unitarios	- Datos propios - Literatura: [11]	Europa	< 3 Media
	Procesos unitarios	- Base de datos: EcolInvent	Europa	< 10 Media
Transporte	Cantidades de procesos unitarios	- Literatura: [11]	España	< 3 Media
	Procesos unitarios	- Base de datos: EcolInvent	Europa	< 10 Media
Ejecución del edificio	Cantidades de procesos unitarios	- Literatura: [12]	Europa	< 10 Media
	Procesos unitarios	- Base de datos: EcolInvent	Europa	< 10 Media

Tabla 5.9: Calidad de los datos empleados en los ICV de los procesos pre-RCD. Fuente: Elaboración propia

5.4. EVALUACIÓN DE IMPACTOS DEL CICLO DE VIDA Y RESULTADOS

5.4.1. Impactos de la gestión de 1 tonelada de cada fracción

Para cada una de las trece fracciones consideradas, los impactos se calculan para las categorías de impacto descritas en el apartado 4.1.6, aplicando las metodologías CML y CED. La evaluación se lleva a cabo según los elementos obligatorios establecidos en las ISO 14040:2006 y 14044:2006. El programa de cálculo utilizado es *SimaPro v. 7.1*, de *PRé Consultants*.

A continuación se exponen los resultados obtenidos para cada fracción según los escenarios E, R, C y P para cada una de las opciones metodológicas e indicadores.

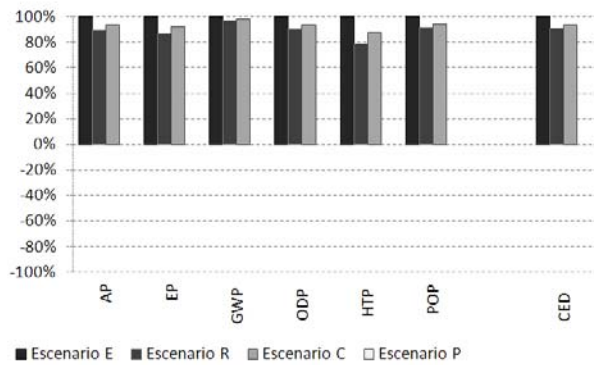
5.4.1.1. 17 01 01 Hormigón, según los escenarios E, R, C(R) y P

	Opción metodológica 1				Opción metodológica 2			
	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P*	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P
AP (kg SO2 eq)	2.34E-01	2.09E-01	2.18E-01	0.00E+00	2.00E-02	-5.25E-03	4.38E-03	-2.14E-01
EP (kg PO4--- eq)	3.51E-02	3.04E-02	3.23E-02	0.00E+00	4.28E-03	-4.10E-04	1.49E-03	-3.08E-02
GWP (kg CO2 eq)	1.19E+02	1.15E+02	1.16E+02	0.00E+00	2.70E+00	-7.62E-01	4.49E-01	-1.16E+02
ODP (kg CFC-11 eq)	4.03E-06	3.62E-06	3.76E-06	0.00E+00	3.46E-07	-6.16E-08	8.22E-08	-3.68E-06
HTP (kg 1,4-DB eq)	7.88E+00	6.22E+00	6.88E+00	0.00E+00	1.56E+00	-9.73E-02	5.63E-01	-6.32E+00
POP(kg C2H4)	7.85E-03	7.16E-03	7.40E-03	0.00E+00	5.12E-04	-1.78E-04	6.42E-05	-7.34E-03
CED (MJ eq)	6.03E+02	5.46E+02	5.66E+02	0.00E+00	4.03E+01	-1.70E+01	2.60E+00	-5.63E+02

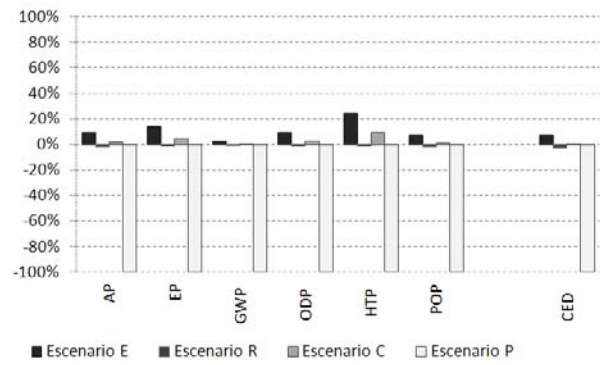
*la cantidad gestionada es 0 t.

Tabla 5.10. Impactos de la gestión de 1 t de RCD de hormigón según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2.

Opción 1



Opción 2



Figuras 5.5 y 5.6. Impactos de la gestión de 1 t de RCD de hormigón según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2.

- Resultados según la Opción 1

Ningún indicador resulta negativo en ningún escenario, siendo el escenario E el que más impactos genera para todos los indicadores. Este escenario supone entre un 2-13% más de cargas que el escenario C(R), un 1-21% más que el R, y un 100% más que el escenario P, donde no se generan cargas (Fig. 5.5).

- Resultados según la Opción 2

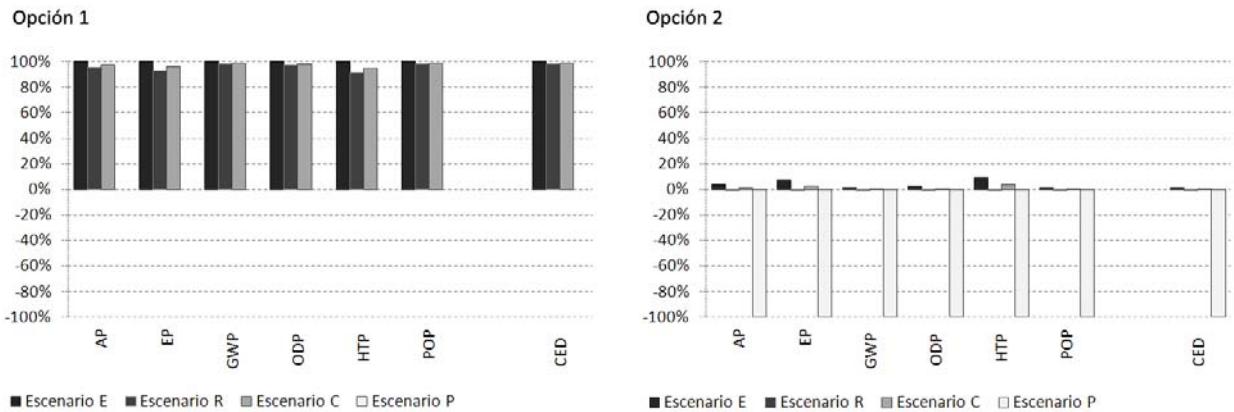
Para todos los indicadores, los escenarios P y R resultan negativos, siendo el escenario P el más favorable. Por otro lado, el escenario E es el que más impactos genera, suponiendo entre un 64-94% más de cargas que el escenario C(R), un 106-142% más que el R, y un 505-4396% más que el escenario P (Fig. 5.6).

5.4.1.2. 17 01 02 Ladrillos y 17 01 03 Tejas y materiales cerámicos, según los escenarios E, R, C(R) y P

	Opción metodológica 1				Opción metodológica 2			
	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P*	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P
AP (kg SO2 eq)	5.28E-01	5.04E-01	5.13E-01	0.00E+00	2.03E-02	-4.32E-03	5.31E-03	-5.08E-01
EP (kg PO4--- eq)	6.67E-02	6.21E-02	6.40E-02	0.00E+00	4.34E-03	-2.81E-04	1.62E-03	-6.24E-02
GWP (kg CO2 eq)	2.16E+02	2.12E+02	2.14E+02	0.00E+00	2.75E+00	-6.08E-01	6.03E-01	-2.13E+02
ODP (kg CFC-11 eq)	1.58E-05	1.54E-05	1.55E-05	0.00E+00	3.52E-07	-4.64E-08	9.75E-08	-1.54E-05
HTP (kg 1,4-DB eq)	1.90E+01	1.74E+01	1.80E+01	0.00E+00	1.60E+00	-3.13E-02	6.29E-01	-1.74E+01
POP(kg C2H4)	3.76E-02	3.70E-02	3.72E-02	0.00E+00	5.26E-04	-1.40E-04	1.02E-04	-3.71E-02
CED (MJ eq)	2.76E+03	2.71E+03	2.73E+03	0.00E+00	4.11E+01	-1.42E+01	5.46E+00	-2.72E+03

*la cantidad gestionada es 0 t.

Tabla 5.11. Impactos de la gestión de 1 t de RCD cerámicos según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2.



Figuras 5.7 y 5.8. Impactos de la gestión de 1 t de RCD cerámicos según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2.

- Resultados según la *Opción 1*

Ningún indicador resulta negativo en ningún escenario, siendo el escenario E el que más impactos genera para todos los indicadores. Este escenario supone entre un 1-5% más de cargas que el escenario C(R), un 2-7% más que el R, y un 100% más que el escenario P, donde no se generan cargas (Fig. 5.7).

- Resultados según la *Opción 2*

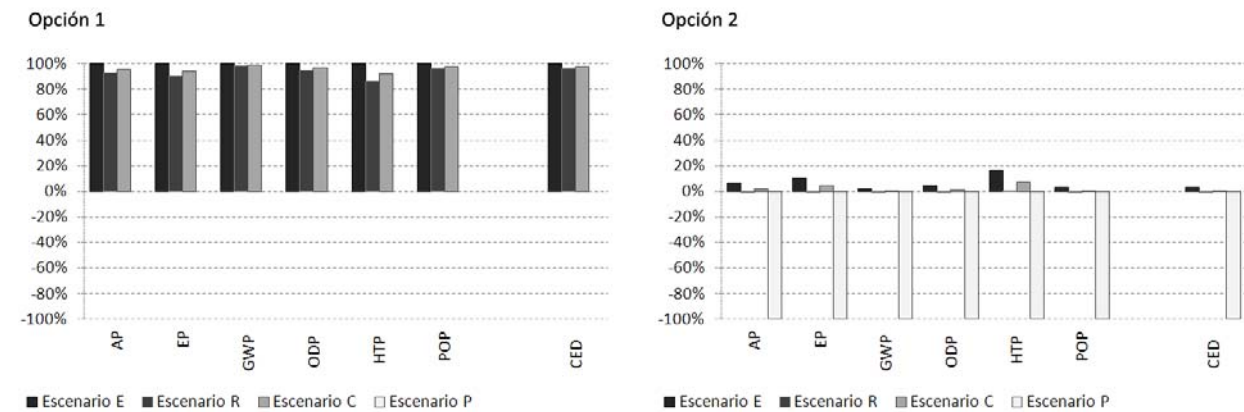
Para todos los indicadores, los escenarios P y R resultan negativos, siendo el escenario P el más favorable. Por otro lado, el escenario E es el que más impactos genera, suponiendo entre un 60-87% más de cargas que el escenario C(R), un 101-134% más que el R, y un 1187-7845% más que el escenario P (Fig. 5.8).

5.4.1.3. 17 01 07 Mezclas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos, según los escenarios E, R, C(R) y P

	Opción metodológica 1				Opción metodológica 2			
	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P*	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P
AP (kg SO2 eq)	3.29E-01	3.06E-01	3.15E-01	0.00E+00	2.03E-02	-3.24E-03	6.39E-03	-3.09E-01
EP (kg PO4--- eq)	4.53E-02	4.09E-02	4.28E-02	0.00E+00	4.34E-03	-8.40E-05	1.82E-03	-4.10E-02
GWP (kg CO2 eq)	1.51E+02	1.48E+02	1.49E+02	0.00E+00	2.75E+00	-4.72E-01	7.39E-01	-1.48E+02
ODP (kg CFC-11 eq)	7.79E-06	7.41E-06	7.55E-06	0.00E+00	3.52E-07	-3.13E-08	1.13E-07	-7.44E-06
HTP (kg 1,4-DB eq)	1.15E+01	9.94E+00	1.06E+01	0.00E+00	1.60E+00	3.73E-02	6.98E-01	-9.90E+00
POP(kg C2H4)	1.74E-02	1.68E-02	1.70E-02	0.00E+00	5.26E-04	-1.12E-04	1.30E-04	-1.69E-02
CED (MJ eq)	1.30E+03	1.25E+03	1.27E+03	0.00E+00	4.11E+01	-1.18E+01	7.80E+00	-1.26E+03

*la cantidad gestionada es 0 t.

Tabla 5.12. Impactos de la gestión de 1 t de RCD mezclados de hormigón y cerámicos según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2.



Figuras 5.9 y 5.10. Impactos de la gestión de 1 t de RCD mezclados de hormigón y cerámicos según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2.

- Resultados según la *Opción 1*

Ningún indicador resulta negativo en ningún escenario, siendo el escenario E el que más impactos genera para todos los indicadores. Este escenario supone entre un 2-7% más de cargas que el escenario C(R), un 2-14% más que el R, y un 100% más que el escenario P, donde no se generan cargas (Fig. 5.9).

- Resultados según la *Opción 2*

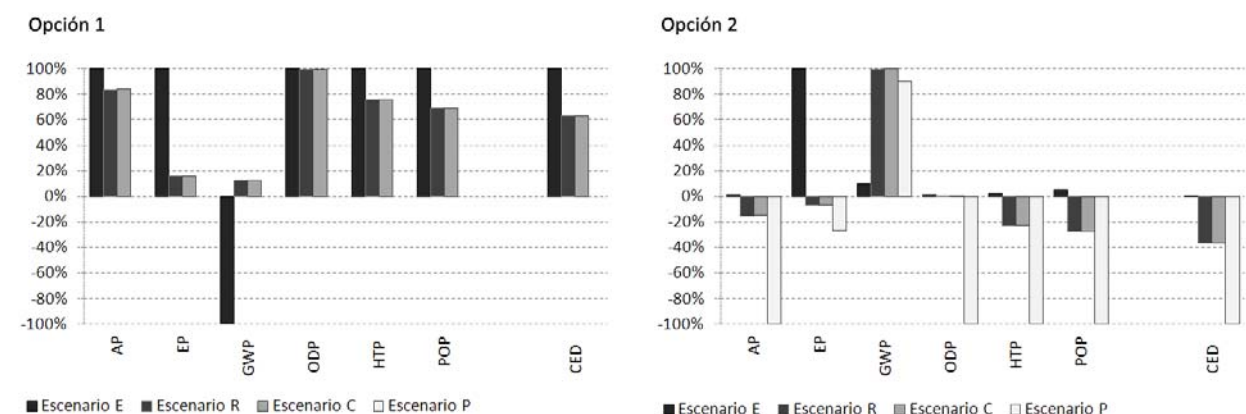
Para todos los indicadores, el escenario P resulta negativo y es el escenario más favorable. Por otro lado, el escenario E es el que más impactos genera, suponiendo entre un 56-81% más de cargas que el escenario C(R), un 97-128% más que el R, y un 718-5481% más que el escenario P (Fig. 5.10).

5.4.1.4. 17 02 01 Madera, según los escenarios E, R, C(R) y P

	Opción metodológica 1				Opción metodológica 2			
	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P*	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P
AP (kg SO2 eq)	3.79E+00	3.18E+00	3.19E+00	0.00E+00	4.23E-02	-5.74E-01	-5.59E-01	-3.75E+00
EP (kg PO4--- eq)	3.29E+00	5.19E-01	5.22E-01	0.00E+00	2.60E+00	-1.73E-01	-1.70E-01	-6.92E-01
GWP (kg CO2 eq)	-6.16E+02	7.50E+01	7.80E+01	0.00E+00	7.47E+01	7.66E+02	7.69E+02	6.91E+02
ODP (kg CFC-11 eq)	7.49E-05	7.42E-05	7.45E-05	0.00E+00	6.85E-07	4.49E-08	3.34E-07	-7.42E-05
HTP (kg 1,4-DB eq)	2.75E+02	2.08E+02	2.08E+02	0.00E+00	6.48E+00	-6.13E+01	-6.06E+01	-2.69E+02
POP(kg C2H4)	3.05E-01	2.11E-01	2.11E-01	0.00E+00	1.51E-02	-7.95E-02	-7.92E-02	-2.90E-01
CED (MJ eq)	4.12E+04	2.59E+04	2.59E+04	0.00E+00	9.10E+01	-1.52E+04	-1.52E+04	-4.11E+04

*la cantidad gestionada es 0 t.

Tabla 5.13. Impactos de la gestión de 1 t de RCD de madera según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2.



Figuras 5.11 y 5.12. Impactos de la gestión de 1 t de RCD de madera según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2.

- Resultados según la Opción 1

El escenario E es el que más impactos genera para todos los indicadores, excepto para GWP en el que resulta negativo, siendo en este caso, el escenario más favorable. Este escenario supone entre un 1-85% más de cargas que los escenarios C(R) y R, y un 100% más que el escenario P, donde no se generan cargas. En el caso de GWP el escenario E supone unos ahorros del 112% en relación a los escenarios C(R) y R y del 100% en relación al P (Fig. 5.11).

- Resultados según la Opción 2

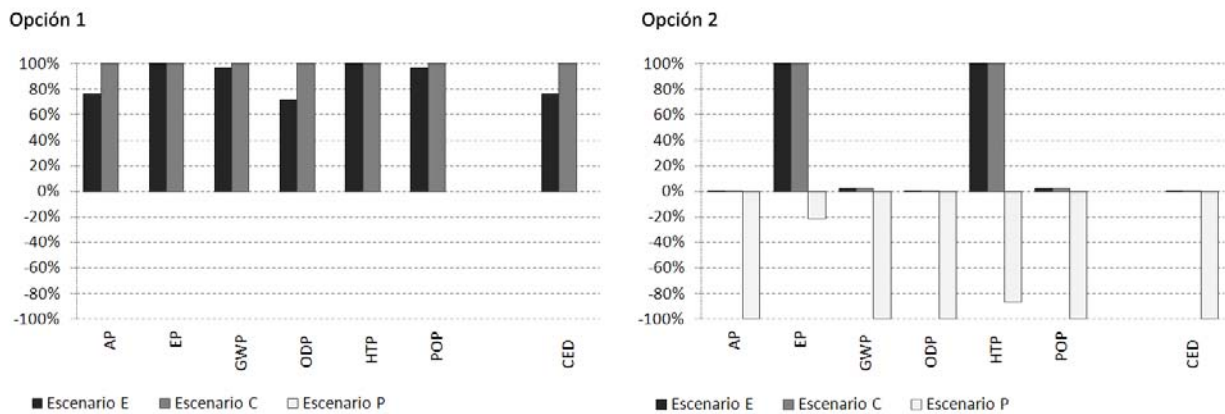
Excepto para el indicador GWP, para todos los indicadores, el escenario P es el escenario más favorable y el escenario E el que más impactos adversos genera. Los impactos que supone el escenario E en relación a los otros son un 49-16803% más de cargas que el escenario C(R), un 94-16803% más que el R, y un 126-45264% más que el escenario P. Según el indicador GWP, el escenario C(R) es el más desfavorable, suponiendo un 0.5% más de cargas que el R, un 10% más que el P y un 90% más que el E (Fig. 5.12).

5.4.1.5. 17 02 03 Plástico, según los escenarios E, C(E) y P

	Opción metodológica 1			Opción metodológica 2		
	Escenario E	Escenario C	Escenario P*	Escenario E	Escenario C	Escenario P
	AP (kg SO2 eq)	9.33E+00	9.34E+00	0.00E+00	5.67E-02	7.43E-02
EP (kg PO4--- eq)	5.79E+00	5.79E+00	0.00E+00	4.78E+00	4.78E+00	-1.01E+00
GWP (kg CO2 eq)	3.00E+03	3.00E+03	0.00E+00	8.07E+01	8.33E+01	-2.92E+03
ODP (kg CFC-11 eq)	6.60E-03	6.60E-03	0.00E+00	8.97E-07	1.25E-06	-6.60E-03
HTP (kg 1,4-DB eq)	9.79E+02	9.80E+02	0.00E+00	5.25E+02	5.26E+02	-4.54E+02
POP(kg C2H4)	6.18E-01	6.18E-01	0.00E+00	1.66E-02	1.71E-02	-6.01E-01
CED (MJ eq)	8.00E+04	8.01E+04	0.00E+00	1.28E+02	1.68E+02	-7.99E+04

*la cantidad gestionada es 0 t.

Tabla 5.14. Impactos de la gestión de 1 t de RCD plásticos según escenarios E, C(E) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2.



Para este residuo no se considera el escenario R de acuerdo con lo indicado en el apartado 4.1.2.

- Resultados según la *Opción 1*

Ningún indicador resulta negativo en ningún escenario, siendo el escenario C(E) el que más impactos genera para todos los indicadores. Este escenario supone entre un 0-1% más de cargas que el escenario E, y un 100% más que el escenario P, donde no se generan cargas (Fig. 5.13).

- Resultados según la *Opción 2*

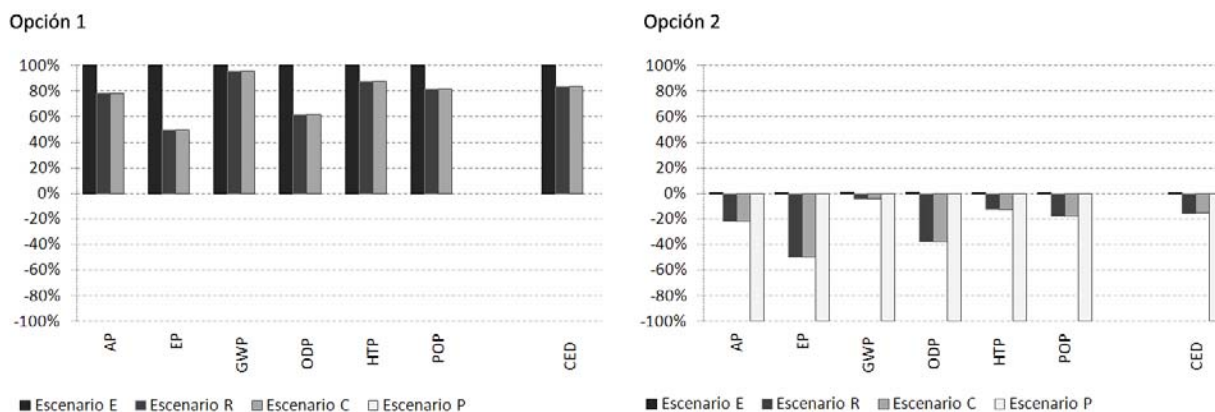
Para todos los indicadores, el escenario C(E) es el que más impactos genera, suponiendo entre un 0-28% más de cargas que el escenario E, y un 121- 528100% más que el escenario P (Fig. 5.14).

5.4.1.6. 17 04 01 Cobre, bronce, latón, según los escenarios E, R, C(R) y P

	Opción metodológica 1				Opción metodológica 2			
	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P*	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P
AP (kg SO2 eq)	1.38E+02	1.08E+02	1.08E+02	0.00E+00	8.50E-02	-3.01E+01	-3.01E+01	-1.38E+02
EP (kg PO4--- eq)	3.98E+00	1.98E+00	1.98E+00	0.00E+00	1.40E-02	-1.99E+00	-1.99E+00	-3.97E+00
GWP (kg CO2 eq)	1.71E+03	1.63E+03	1.63E+03	0.00E+00	1.49E+01	-6.79E+01	-6.65E+01	-1.70E+03
ODP (kg CFC-11 eq)	1.27E-04	7.82E-05	7.84E-05	0.00E+00	1.40E-06	-4.78E-05	-4.76E-05	-1.26E-04
HTP (kg 1,4-DB eq)	8.77E+04	7.67E+04	7.67E+04	0.00E+00	5.99E+00	-1.10E+04	-1.10E+04	-8.77E+04
POP(kg C2H4)	5.14E+00	4.21E+00	4.21E+00	0.00E+00	2.87E-03	-9.31E-01	-9.31E-01	-5.14E+00
CED (MJ eq)	3.09E+04	2.59E+04	2.59E+04	0.00E+00	2.45E+02	-4.84E+03	-4.82E+03	-3.07E+04

*la cantidad gestionada es 0 t.

Tabla 5.15. Impactos de la gestión de 1 t de RCD de cobre según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2.



Figuras 5.15 y 5.16. Impactos de la gestión de 1 t de RCD de cobre según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2.

- Resultados según la *Opción 1*

Ningún indicador resulta negativo en ningún escenario, siendo el escenario E el que más impactos genera para todos los indicadores. Este escenario supone entre un 5-50% más de cargas que los escenarios C(R) y R, y un 100% más que el escenario P, donde no se generan cargas (Fig. 5.15).

- Resultados según la *Opción 2*

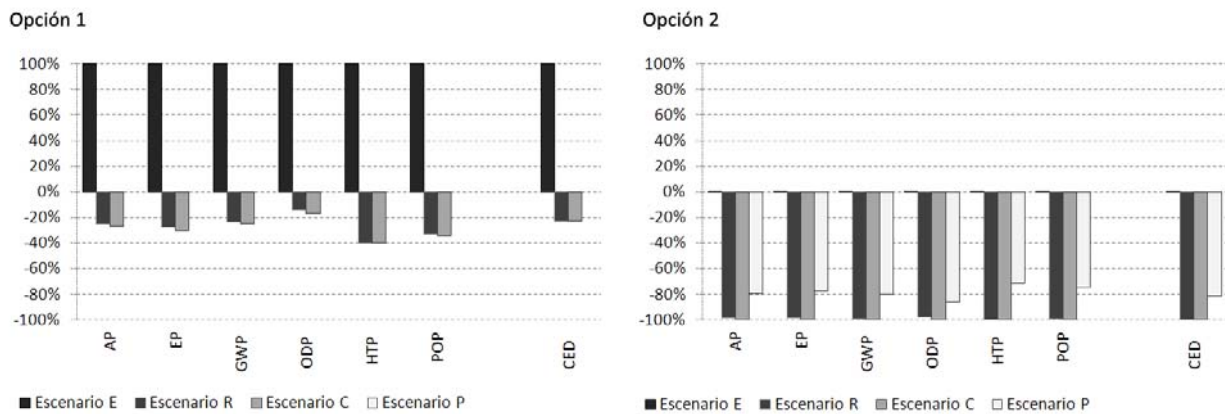
Para todos los indicadores, los escenarios P y R resultan negativos, siendo el escenario P el más favorable. Por otro lado, el escenario E es el que más impactos genera, suponiendo entre un 550-183740% más de cargas que los escenarios C(R) y R, y un 9100-1464203% más que el escenario P (Fig. 5.16).

5.4.1.7. 17 04 02 Aluminio, según los escenarios E, R, C(R) y P

	Opción metodológica 1				Opción metodológica 2			
	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P*	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P
AP (kg SO2 eq)	3.74E+01	-9.86E+00	-9.85E+00	0.00E+00	8.51E-02	-4.72E+01	-4.72E+01	-3.73E+01
EP (kg PO4--- eq)	3.26E+00	-9.75E-01	-9.72E-01	0.00E+00	1.40E-02	-4.22E+00	-4.22E+00	-3.25E+00
GWP (kg CO2 eq)	8.09E+03	-2.06E+03	-2.06E+03	0.00E+00	1.49E+01	-1.01E+04	-1.01E+04	-8.08E+03
ODP (kg CFC-11 eq)	4.88E-04	-8.08E-05	-8.06E-05	0.00E+00	1.40E-06	-5.68E-04	-5.68E-04	-4.87E-04
HTP (kg 1,4-DB eq)	3.69E+04	-1.48E+04	-1.48E+04	0.00E+00	6.04E+00	-5.17E+04	-5.17E+04	-3.69E+04
POP(kg C2H4)	3.19E+00	-1.08E+00	-1.08E+00	0.00E+00	2.88E-03	-4.27E+00	-4.27E+00	-3.19E+00
CED (MJ eq)	1.31E+05	-2.96E+04	-2.96E+04	0.00E+00	2.45E+02	-1.61E+05	-1.61E+05	-1.31E+05

*la cantidad gestionada es 0 t.

Tabla 5.16. Impactos de la gestión de 1 t de RCD de aluminio según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2.



Figuras 5.17 y 5.18. Impactos de la gestión de 1 t de RCD de aluminio según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2.

- Resultados según Opción 2

Para todos los indicadores, los escenarios R y C(R) resultan negativos y el escenario E, el que más impactos genera. Este escenario supone entre un 116-140% más de cargas que los escenarios C(R) y R, y un 100% más que el escenario P, donde no se generan cargas (Fig. 5.17).

- Resultados según la Opción 1

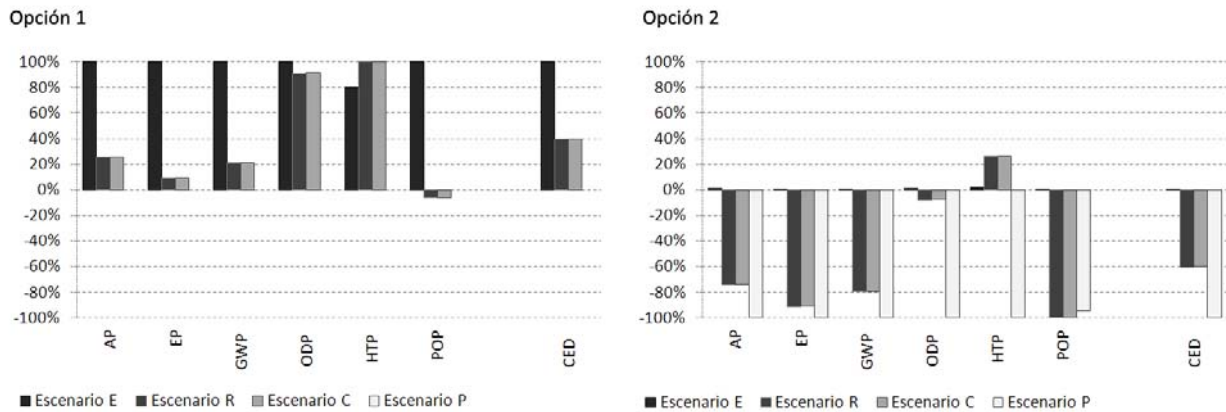
Para todos los indicadores, los escenarios P, R y C(R) resultan negativos, siendo los escenarios R y C(R) los más favorables. Por otro lado, el escenario E es el que más impactos genera, suponiendo entre un 30260-855723% más de cargas que los escenarios C(R) y R, y un 23314-611027% más que el escenario P (Fig. 5.18).

5.4.1.8. 17 04 05 Hierro y acero, según los escenarios E, R, C(R) y P

	Opción metodológica 1				Opción metodológica 2			
	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P*	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P
AP (kg SO2 eq)	4.78E+00	1.23E+00	1.24E+00	0.00E+00	4.34E-02	-3.51E+00	-3.50E+00	-4.74E+00
EP (kg PO4--- eq)	1.01E+00	9.10E-02	9.30E-02	0.00E+00	8.23E-03	-9.09E-01	-9.07E-01	-1.00E+00
GWP (kg CO2 eq)	1.44E+03	3.00E+02	3.00E+02	0.00E+00	6.23E+00	-1.13E+03	-1.13E+03	-1.43E+03
ODP (kg CFC-11 eq)	5.24E-05	4.77E-05	4.79E-05	0.00E+00	7.00E-07	-4.02E-06	-3.84E-06	-5.17E-05
HTP (kg 1,4-DB eq)	5.92E+02	7.35E+02	7.36E+02	0.00E+00	1.12E+01	1.54E+02	1.55E+02	-5.81E+02
POP(kg C2H4)	7.95E-01	-4.60E-02	-4.60E-02	0.00E+00	1.20E-03	-8.40E-01	-8.40E-01	-7.94E-01
CED (MJ eq)	2.23E+04	8.80E+03	8.90E+03	0.00E+00	9.99E+01	-1.34E+04	-1.33E+04	-2.22E+04

*la cantidad gestionada es 0 t.

Tabla 5.17. Impactos de la gestión de 1 t de RCD de acero según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2.



Figuras 5.19 y 5.20. Impactos de la gestión de 1 t de RCD de acero según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2.

- Resultados según la Opción 1

En los escenarios R y C(R), solo el indicador POP resulta negativo. El escenario E es el que más impactos adversos genera, excepto para el indicador HTP. Este escenario supone entre un 10-106% más de cargas que los escenarios C(R) y R, y un 100% más que el escenario P, donde no se generan cargas. Para el indicador HTP, el escenario de mayores cargas es el C(R), que supone un 1% más de cargas que el R, un 20% más que el E, y un 100% más que el P (Fig. 5.19).

- Resultados según la Opción 2

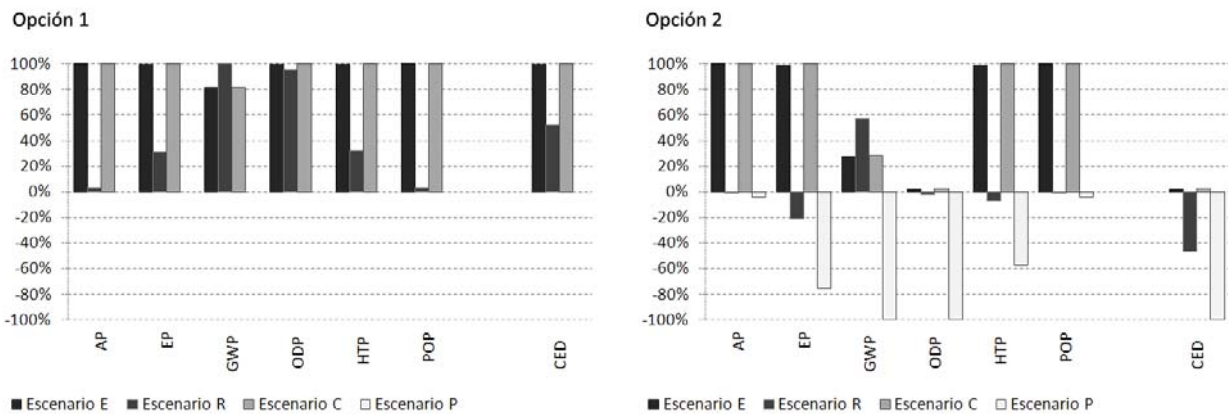
Los escenarios P, R y C(R) resultan negativos para todos los indicadores, excepto el indicador HTP para los escenarios C(R) y R. El escenario P siempre es el más favorable, excepto para el indicador POP, en el que los son los escenarios C(R) y R. Por otro lado, excepto para el indicador HTP, el escenario E es el que más impactos genera, suponiendo entre un 650-70100% más de cargas que los escenarios C(R) y R, y un 7500-66266% más que el escenario P. En el caso de HTP, las mayores cargas son para el escenario C(R), que supone un 1% más de cargas que el escenario R, un 93% más que el E, y un 474% más que el P (Fig. 5.20).

5.4.1.9. 17 08 02 Materiales de construcción a partir de yeso, según los escenarios E, R, C(E) y P

	Opción metodológica 1				Opción metodológica 2			
	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P*	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P
AP (kg SO2 eq)	2.78E+01	8.64E-01	2.78E+01	0.00E+00	2.68E+01	-1.76E-01	2.68E+01	-1.04E+00
EP (kg PO4--- eq)	3.74E-01	1.17E-01	3.76E-01	0.00E+00	2.13E-01	-4.44E-02	2.15E-01	-1.61E-01
GWP (kg CO2 eq)	4.30E+02	5.28E+02	4.32E+02	0.00E+00	9.43E+01	1.92E+02	9.59E+01	-3.36E+02
ODP (kg CFC-11 eq)	3.68E-05	3.53E-05	3.70E-05	0.00E+00	7.55E-07	-6.79E-07	9.61E-07	-3.60E-05
HTP (kg 1,4-DB eq)	1.16E+02	3.75E+01	1.17E+02	0.00E+00	7.37E+01	-4.91E+00	7.44E+01	-4.24E+01
POP(kg C2H4)	1.13E+00	3.57E-02	1.13E+00	0.00E+00	1.09E+00	-6.44E-03	1.09E+00	-4.21E-02
CED (MJ eq)	5.67E+03	2.97E+03	5.70E+03	0.00E+00	1.12E+02	-2.59E+03	1.37E+02	-5.56E+03

*la cantidad gestionada es 0 t.

Tabla 5.18. Impactos de la gestión de 1 t de RCD de yeso según escenarios E, R, C(E) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2.



Figuras 5.21 y 5.22. Impactos de la gestión de 1 t de RCD de yeso según escenarios E, R, C(E) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2.

- Resultados según la *Opción 1*

Excepto para el indicador GWP, para el resto de indicadores, el escenario C(E) es el que más impactos genera. Este escenario supone entre un 0-19% más de cargas que el escenario E, un 5-97% más que el R, y un 100% más que el escenario P, donde no se generan cargas. En el caso del indicador GWP, las mayores cargas son para el escenario R, que supone un 19% más de cargas que los escenarios C(E) y E, y un 100% más que el P (Fig. 5.21).

- Resultados según la *Opción 2*

Para todos los indicadores, los escenarios P y R resultan negativos, excepto el indicador GWP en el caso del escenario R. El escenario P siempre es el más favorable. Por otro lado, el escenario C(E) es el que más impactos genera, suponiendo entre un 0-20% más de cargas que el escenario E, un 100-190% más que el escenario R, y un 103-4150% más que el P. En el caso de GWP, las mayores cargas son para el escenario R, que supone un 50% más de cargas que los escenarios E y C(E), un 275% más que el P (Fig. 5.22).

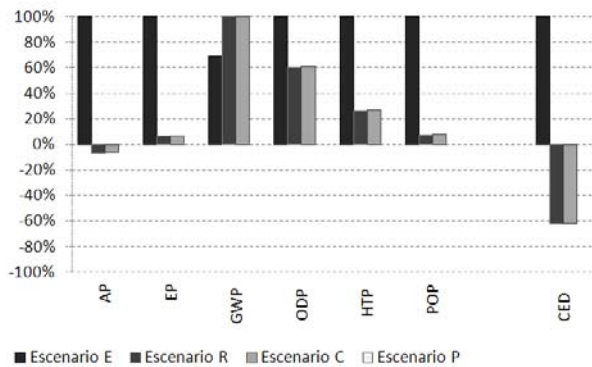
5.4.1.10. 15 01 01 Envases de papel y cartón, según los escenarios E, R, C(R) y P

	Opción metodológica 1				Opción metodológica 2			
	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P*	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P
AP (kg SO2 eq)	2.89E+00	-2.00E-01	-1.80E-01	0.00E+00	1.87E-01	-2.90E+00	-2.88E+00	-2.70E+00
EP (kg PO4--- eq)	3.62E+00	2.30E-01	2.35E-01	0.00E+00	2.67E+00	-7.21E-01	-7.16E-01	-9.51E-01
GWP (kg CO2 eq)	2.21E+03	3.20E+03	3.20E+03	0.00E+00	1.62E+03	2.61E+03	2.61E+03	-5.92E+02
ODP (kg CFC-11 eq)	8.07E-05	4.89E-05	4.94E-05	0.00E+00	1.09E-06	-3.07E-05	-3.02E-05	-7.96E-05
HTP (kg 1,4-DB eq)	2.74E+02	7.28E+01	7.36E+01	0.00E+00	1.16E+02	-8.52E+01	-8.44E+01	-1.58E+02
POP(kg C2H4)	4.76E-01	3.50E-02	3.60E-02	0.00E+00	3.32E-01	-1.09E-01	-1.08E-01	-1.44E-01
CED (MJ eq)	2.41E+04	-1.50E+04	-1.49E+04	0.00E+00	2.27E+02	-3.89E+04	-3.88E+04	-2.39E+04

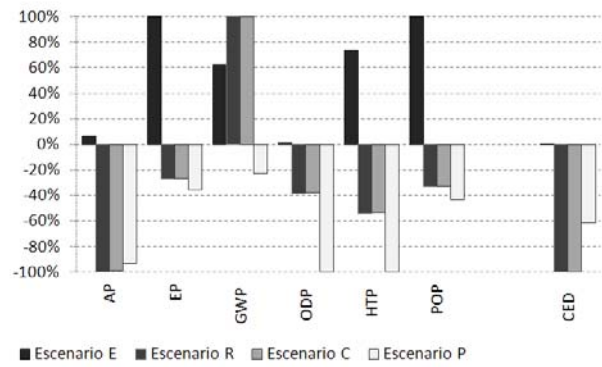
*la cantidad gestionada es 0 t.

Tabla 5.19. Impactos de la gestión de 1 t de Envases de papel y cartón según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas

Opción 1



Opción 2



Figuras 5.23 y 5.24. Impactos de la gestión de 1 t de Envases de papel y cartón según escenarios E, R, C(R) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2.

- Resultados según la Opción 1

El escenario E es el que más impactos genera para todos los indicadores, excepto para GWP. Por otro lado, el escenario P es el más favorable excepto para los indicadores AP y CED, en los que los escenarios R y C(R) resultan negativos. El escenario E supone entre un 40-162% más de cargas que los escenarios C(R) y R, y un 100% más que el escenario P, donde no se generan cargas. En el caso de GWP los escenarios R y C(R) son los más desfavorables, suponiendo 30% más de cargas que el escenario E y un 100% más que el P (Fig. 5.23).

- Resultados según la Opción 2

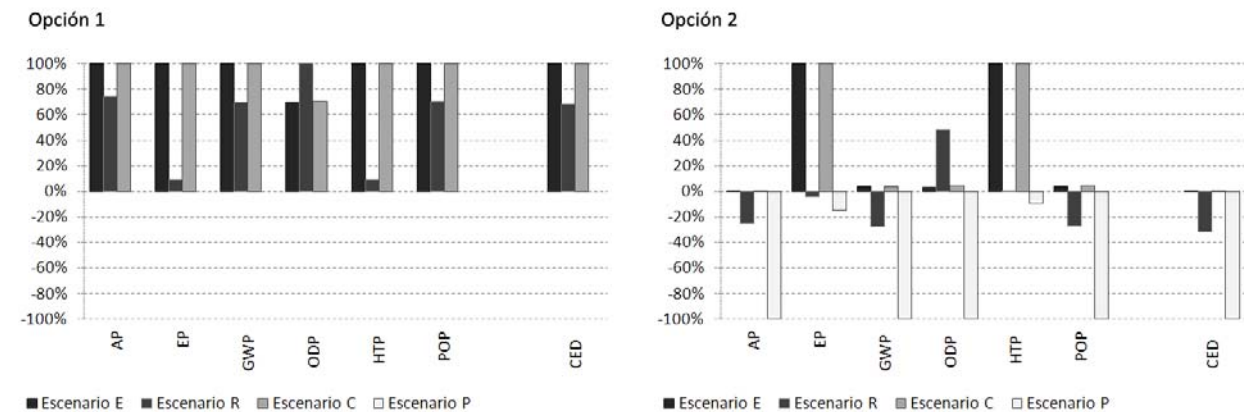
Excepto para el indicador GWP, el escenario E el que más impactos genera. Por otro lado, el escenario P es el más favorable excepto para los indicadores AP y CED, en los que los lo son los escenarios R y C(R). Los impactos que supone el escenario E en relación a los otros son un 127-17200% más de cargas que los escenarios C(R) y R, y un 135-10628% más que el escenario P. Según el indicador GWP, los escenarios C(R) y R son los más desfavorables, suponiendo un 38% más de cargas que el E, y un 122% más que el P (Fig. 5.24).

5.4.1.11. 15 01 02 Envases de plástico, según los escenarios E, R, C(E) y P

	Opción metodológica 1				Opción metodológica 2			
	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P*	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P
AP (kg SO2 eq)	1.01E+01	7.50E+00	1.01E+01	0.00E+00	5.31E-02	-2.50E+00	7.07E-02	-1.00E+01
EP (kg PO4--- eq)	6.00E+00	5.65E-01	6.00E+00	0.00E+00	5.22E+00	-2.11E-01	5.22E+00	-7.76E-01
GWP (kg CO2 eq)	2.63E+03	1.84E+03	2.64E+03	0.00E+00	1.02E+02	-6.92E+02	1.05E+02	-2.53E+03
ODP (kg CFC-11 eq)	2.78E-05	3.99E-05	2.81E-05	0.00E+00	8.89E-07	1.30E-05	1.24E-06	-2.69E-05
HTP (kg 1,4-DB eq)	2.53E+03	2.33E+02	2.53E+03	0.00E+00	2.32E+03	1.89E+01	2.32E+03	-2.14E+02
POP(kg C2H4)	5.30E-01	3.72E-01	5.30E-01	0.00E+00	2.09E-02	-1.37E-01	2.13E-02	-5.09E-01
CED (MJ eq)	9.21E+04	6.29E+04	9.22E+04	0.00E+00	1.23E+02	-2.91E+04	1.63E+02	-9.20E+04

*la cantidad gestionada es 0 t.

Tabla 5.20. Impactos de la gestión de 1 t de Envases de plástico según escenarios E, R, C(E) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2.



Figuras 5.25 y 5.26. Impactos de la gestión de 1 t de Envases de plástico según escenarios E, R, C(E) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2.

- Resultados según la Opción 1

El escenario C(E) es el que más impactos genera para todos los indicadores, excepto para ODP. Este escenario supone entre un 0-30% más de cargas que el escenario E, un 35-90% más que el R, y un 100% más que el escenario P, donde no se generan cargas. En el caso de ODP el escenario R es el más desfavorable, suponiendo un 30% más de cargas que los escenarios E y C(E), y un 100% más que el P (Fig. 5.25).

- Resultados según la Opción 2

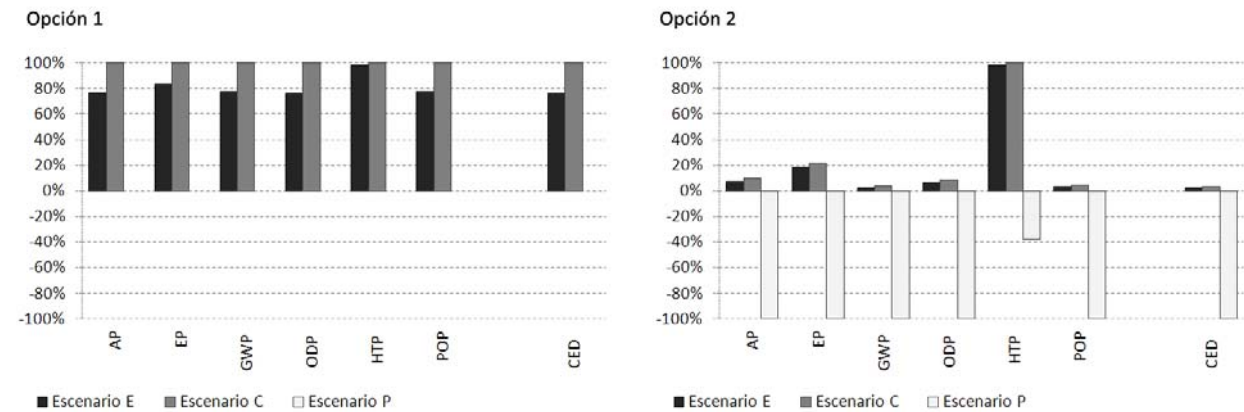
Excepto para el indicador ODP, el escenario E es el que más impactos genera, y el escenario P el más favorable. El escenario P resulta negativo para todos los indicadores y el R también excepto para los indicadores ODP y HTP. Los impactos que supone el escenario C(E) en relación a los otros son un 100-17952% más de cargas que el escenario R, un 0-25% más que el E, y un 109-56541% más que el escenario P. Según el indicador ODP, el escenario R es el más desfavorable, suponiendo un 90% más de cargas que el C(E), un 93% más que el E, y un 307% más que el P (Fig. 5.26).

5.4.1.12. 17 09 04 Residuos mezclados de construcción y demolición (RECHAZOS), según los escenarios E, C(E) y P

	Opción metodológica 1			Opción metodológica 2		
	Escenario E	Escenario C	Escenario P*	Escenario E	Escenario C	Escenario P
	AP (kg SO2 eq)	5.52E-01	5.63E-01	0.00E+00	3.75E-02	4.88E-02
EP (kg PO4--- eq)	7.92E-02	8.16E-02	0.00E+00	1.23E-02	1.47E-02	-6.69E-02
GWP (kg CO2 eq)	1.88E+02	1.90E+02	0.00E+00	5.12E+00	6.62E+00	-1.83E+02
ODP (kg CFC-11 eq)	9.80E-06	9.99E-06	0.00E+00	6.04E-07	7.90E-07	-9.20E-06
HTP (kg 1,4-DB eq)	1.06E+02	1.07E+02	0.00E+00	7.63E+01	7.75E+01	-2.93E+01
POP(kg C2H4)	2.97E-02	3.00E-02	0.00E+00	9.84E-04	1.27E-03	-2.87E-02
CED (MJ eq)	3.06E+03	3.08E+03	0.00E+00	7.87E+01	1.03E+02	-2.98E+03

*la cantidad gestionada es 0 t.

Tabla 5.21. Impactos de la gestión de 1 t de RCD mezclados (rechazos) según los escenarios E, C(E) y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2.



metodológicas 1 y 2.

Para este residuo no se considera el escenario R de acuerdo con lo indicado en el apartado 4.1.2.

- Resultados según la *Opción 1*

Ningún indicador resulta negativo en ningún escenario, siendo el escenario C(E) el que más impactos genera para todos los indicadores. Este escenario supone entre un 1-3% más de cargas que el escenario E, y un 100% más que el escenario P, donde no se generan cargas (Fig. 5.27).

- Resultados según la *Opción 2*

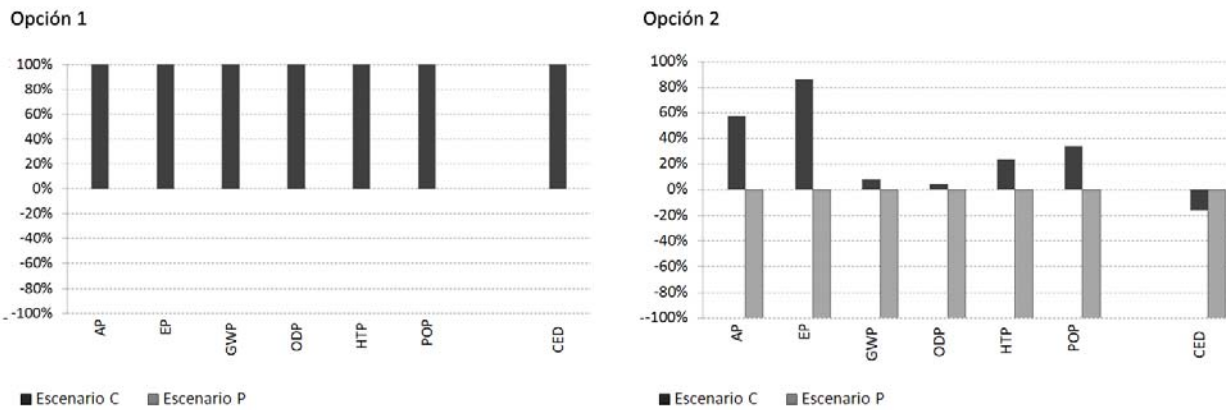
Para todos los indicadores, el escenario C(E) es el que más impactos genera, suponiendo entre un 1-23% más de cargas que el escenario E, y un 137- 2993% más que el escenario P (Fig. 5.28).

5.4.1.13. 17 09 04 Residuos mezclados de construcción y demolición (RCD mixto), según los escenarios C y P

	Opción metodológica 1		Opción metodológica 2	
	Escenario C	Escenario P*	Escenario C	Escenario P
	AP (kg SO2 eq)	8.11E-01	0.00E+00	2.97E-01
EP (kg PO4--- eq)	1.24E-01	0.00E+00	5.76E-02	-6.69E-02
GWP (kg CO2 eq)	1.97E+02	0.00E+00	1.45E+01	-1.83E+02
ODP (kg CFC-11 eq)	9.62E-06	0.00E+00	4.17E-07	-9.20E-06
HTP (kg 1,4-DB eq)	3.63E+01	0.00E+00	7.03E+00	-2.93E+01
POP(kg C2H4)	3.85E-02	0.00E+00	9.76E-03	-2.87E-02
CED (MJ eq)	2.51E+03	0.00E+00	-4.72E+02	-2.98E+03

*la cantidad gestionada es 0 t.

Tabla 5.22. Impactos de la gestión de 1 t de RCD mixto según escenarios C y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2.



Figuras 5.29 y 5.30. Impactos de la gestión de 1 t de RCD mixto según escenarios C y P. Resultados según opciones metodológicas 1 y 2.

Para este residuo no se consideran los escenarios E y R de acuerdo con lo indicado en el apartado 4.1.2.

- Resultados según la *Opción 1*

Ningún indicador resulta negativo en ningún escenario, siendo el escenario E el que más impactos genera para todos los indicadores, excepto para GWP. Este escenario supone entre un 8-74% más de cargas que el escenario C, y un 100% más que el escenario P, donde no se generan cargas. En el caso de GWP, el escenario C es el más desfavorable, con un 4% más de cargas que el E y un 100% más que el P (Fig. 5.29).

- Resultados según la *Opción 2*

Excepto para GWP, para todos los indicadores, el escenario E es el que más impactos genera, suponiendo entre un 42-685% más de cargas que el escenario C, y un 123-3801% más que el escenario P. En el caso de GWP, el escenario C es el más desfavorable, con un 24% más de cargas que el E y un 738% más que el P (Fig. 5.30).

5.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el capítulo 4 se analizó la gestión de 1 tonelada de cada fracción generada en las obras según los escenarios E, R y C que no consideran actividades de prevención. Para dicho análisis se aplicaron las cuestiones metodológicas de ACV tradicionalmente utilizadas para evaluar la gestión de los RCD, obteniéndose en general el escenario R como el más favorable. En el presente análisis se incorpora un escenario que considera actividades de prevención de tipo reducción (escenario P), mediante las dos opciones metodológicas descritas en el apartado 5.1 y según la metodología propuesta en este capítulo.

5.5.1. Interpretación de los resultados obtenidos según las dos opciones metodológicas

Las diferencias de impactos entre los distintos escenarios coinciden para ambas opciones, lo que conlleva conclusiones similares en cuanto a la idoneidad de cada escenario, independientemente de la opción metodológica aplicada. Así pues, para cada fracción, el escenario P suele ser el escenario que menos impactos genera, con algunas excepciones: el escenario E según GWP para madera; y los escenarios de reciclaje —R o C(R)—según todos indicadores para aluminio, según POP para acero, y según AP y CED para envases de papel y cartón. En cuanto al escenario más desfavorable, para casi todas las fracciones es el escenario E, excepto: los escenarios de reciclaje —R o C(R)— según GWP para madera, envases de papel y cartón, y materiales de yeso; según HTP para acero; y según ODP para envases de plástico.

Sin embargo, los resultados netos varían según la opción metodológica aplicada, interpretándose resultados negativos como beneficios ambientales y resultados positivos como impactos adversos, según los límites del sistema considerados. Estos resultados dependen de cómo se considere cada fase y proceso: como cargas evitadas o como cargas generadas.

Opción 1: los impactos en todos los escenarios son debidos a las cargas *pre*-RCD y GRCD, computadas en el escenario real donde se producen. En los escenarios P no se generan RCD y por tanto no hay cargas; en los escenarios de eliminación —E o C(E)— todas las cargas (GRCD y *pre*-RCD) son positivas, por lo que también lo son los indicadores; en los escenarios de reciclaje —R o C(R)— los productos evitados reducen cargas, resultando el indicador negativo si compensan el resto de cargas GRCD y *pre*-RCD.

Opción 2: se aplica el supuesto de “carga cero”, eliminándose de todos los escenarios las cargas *pre*-RCD asociadas a los escenarios sin prevención. Por tanto, en los escenarios P, se computan las cargas *pre*-RCD evitadas, resultando los indicadores negativos; en los escenarios de eliminación —E o C(E)—, solo se computan cargas GRCD, que son positivas; y ocurre igual en los escenarios de reciclaje —R o C(R)—, resultando el indicador negativo en los casos en que los productos evitados reduzcan cargas y que además las cargas reducidas superen en valor al resto de cargas (GRCD).

Lo anterior se cumple para todas las fracciones, excepto para madera según el indicador GWP, cuya producción conlleva un crédito de CO₂, es decir, su prevención es desfavorable; este crédito también afecta a los productos evitados por el reciclaje de madera y papel y cartón, que añaden cargas al sistema.

5.5.2.1. Resultados según la Opción 1

Todos los escenarios P suponen cero impactos porque no se genera ninguna cantidad de RCD, y los escenarios E, R y C resultan positivos en general, suponiendo impactos adversos. Entre los escenarios que resultan negativos se encuentran: el escenario E para madera según GWP; y los escenarios de reciclaje —R o C(R)— para aluminio según todos los indicadores, acero según POP, y envases de papel y cartón según AP y CED.

En cuanto a la contribución de cada fase a los resultados totales del indicador se observa lo siguiente:

Escenarios E: Los resultados totales obtenidos son en su mayor parte debidos a las cargas *pre*-RCD, cuya contribución es superior según todos los indicadores al 90% en metales y cerámicos y al 80% para hormigón, mezcla y restos. Sin embargo, para los RCD de madera, plásticos, materiales de yeso, envases de papel y cartón y envases plásticos, las cargas *pre*-RCD varían según el indicador, con contribuciones desde el 3% al 99%.

Escenarios R: la contribución de las cargas *pre*-RCD es superior al 97% para las fracciones inertes. Para los metales supone entre el 40-97% según el indicador, no superando en ningún caso el 50% en el caso del aluminio. Para el resto de residuos, las contribuciones varían según el indicador, excepto en el caso de materiales de yeso y envases plásticos, que siempre superan el 60%.

Escenarios C: la contribución de las cargas *pre*-RCD es análoga al correspondiente escenario E o R según el RCD haya sido eliminado o reciclado en dicho escenario.

Escenarios P: no se generan impactos.

5.5.2.2. Resultados según Opción 2

Los escenarios E, R y C coinciden con los desarrollados en el capítulo 4 según la metodología de ACV tradicionalmente aplicada a la gestión de RCD, computando solo las cargas GRCD correspondientes (véase discusión en los apartados 4.4.1 y 4.4.2). Los escenarios P computan solo las cargas *pre*-RCD evitadas y resultan negativos, suponiendo mayores ahorros cuanto mayores sean las cargas *pre*-RCD correspondientes, excepto en el caso del indicador GWP para madera, que supone un impacto adverso.

5.5.2. Interpretación de los resultados obtenidos según cada fase del ciclo de vida

Las fases que intervienen son las previas a la generación del RCD (*pre*-RCD) y la de gestión una vez generado (GRCD). Para la fase GRCD es de aplicación lo expuesto en el apartado 4.4.1, procediéndose a continuación al análisis de las *pre*-RCD.

5.5.1.1. Fases *pre*-RCD

Las fases *pre*-RCD incluyen la producción de materiales de construcción, el transporte de estos materiales a la obra y la ejecución del edificio. El 90-100% de las cargas se deben a la producción de los materiales; pero en general suponen el 99%, siendo irrelevantes las fases de transporte y ejecución.

Producción de materiales: se aplican las hipótesis formuladas sobre las características del material que origina cada fracción de RCD. La importancia de las cargas asociadas a esta fase depende de los impactos que suponga la producción de cada uno de estos materiales.

Transporte de materiales: se consideran condiciones similares para todas las fracciones, por lo que las cantidades de procesos dependen de la densidad del RCD analizado, resultando más cantidad de procesos a menor densidad.

Ejecución del edificio: las cantidades de procesos se realizan en función de la cantidad de material utilizada, que es 1 tonelada en todos los casos. Estos procesos no se consideran en el análisis de los envases.

5.5.3. Interpretación de los resultados obtenidos para cada fracción según los indicadores GWP y CED

Las Figuras 5.31 y 5.32 muestran los resultados según GWP y CED para las *Opciones 1 y 2*, observándose que: (a) las cargas según la *Opción 1* superan a las de la *Opción 2*, excepto para madera según GWP; (b) la diferencia entre las curvas de las dos opciones coincide con el valor de las cargas *pre-RCD*, que varía según las fracciones (obsérvese p. ej., que las cargas *pre-RCD* de las fracciones inertes son mucho menores que las del aluminio); (c) la relación entre escenarios de distintas fracciones varía de una opción a otra (obsérvese p. ej., que el aluminio reduce su ventaja sobre el resto de escenarios si se aplica la *Opción 1*, por sus altas cargas *pre-RCD*; y que las fracciones inertes, de cargas *pre-RCD* pequeñas, mejoran su posición).

A continuación, según cada opción metodológica, se analizan los resultados obtenidos para cada fracción aislada y la importancia relativa de cada una en obra, según los resultados de la fracción RCD mixto.

5.5.3.1. Resultados según la Opción 1

Los casos en los que se ahorran cargas son: escenario E para madera según GWP, y escenarios de reciclaje —R o C(R)— de aluminio según GWP y CED, y envases de papel y cartón según CED. En los escenarios P no se generan cargas, y en el resto de casos se generan impactos adversos, siendo los más desfavorables:

GWP: el escenario E del aluminio, seguido de los escenarios E, R y C de envases de papel y cartón, de plásticos y de envases plásticos, así como los escenarios E, R y C de cobre y el escenario E de acero. Todos estos escenarios suponen unas cargas entre 1400-3500 kg CO_{2,eq}, alcanzando el escenario E de aluminio 8000 kg CO_{2,eq}. El resto de escenarios se encuentra por debajo de los 550 kg CO_{2,eq}.

CED: el escenario E del aluminio el que más impactos genera, seguido de los escenarios E, R y C de plásticos y envases plásticos, con valores superiores a 60000 MJ_{eq}. A continuación, los escenarios E, R y C de madera y cobre y los escenarios E de acero y envases de papel y cartón, con cargas superiores a los 20000 MJ_{eq}.

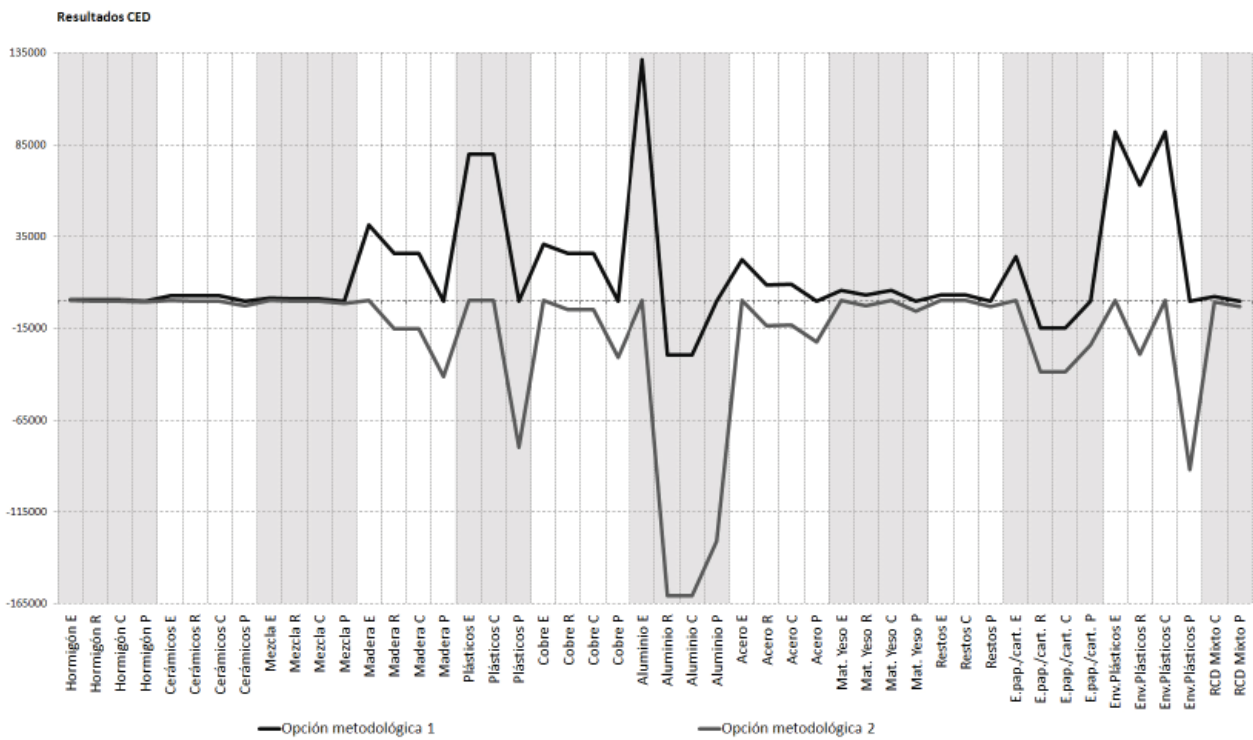
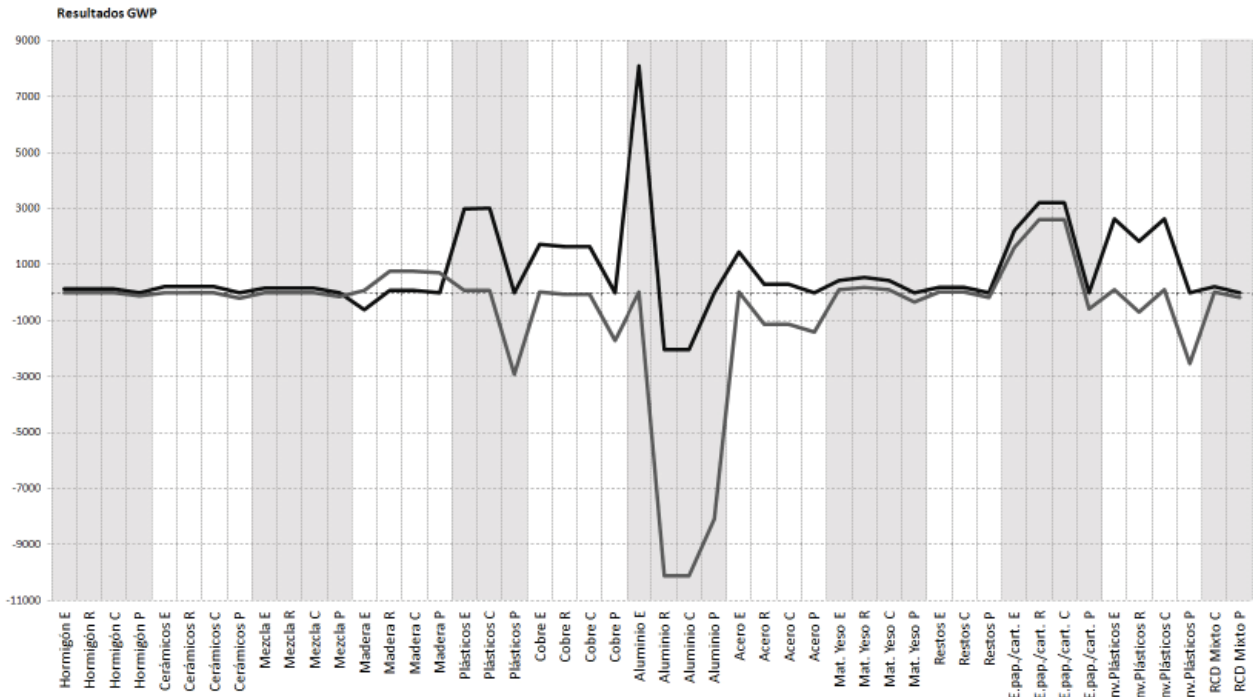
En cuanto a la importancia relativa de cada fracción en obra, la Tabla 5.23 muestra las contribuciones a los resultados del RCD mixto según los escenarios C y P. En el escenario C, según GWP, las fracciones inertes originan más de la mitad de las cargas, no suponiendo ahorros ninguna fracción; y según CED, los inertes generan casi el 50% de las cargas, pero los mayores impactos son debidos a otros RCD, ahorrándose cargas por el reciclaje de envases de papel y cartón. En el escenario P no se generan cargas.

	Contribución de cada fracción en % a los resultados totales							
	Escenario C				Escenario P			
	GWP		CED		GWP		CED	
	opción 1	opción 2	opción 1	opción 2	opción 1	opción 2	opción 1	opción 2
Fracciones inertes	66	-3	47	-4	-	-77	-	-40
Madera	< 1	16	6	-18	-	2	-	-8
Metales	< 1	-8	< 1	-5	-	-2	-	-1
Envases de papel y cartón	14	90	-5	-73	-	-3	-	-8
Otros RCD	18	4	51	1	-	-20	-	-42

Tabla 5.23. Contribuciones de cada fracción a los resultados totales de los escenarios C y P del RCD mixto, según las dos opciones metodológicas.

5.5.3.2. Resultados según la Opción 2

Los escenarios que suponen impactos adversos son: según GWP, escenarios E, escenarios C excepto metales, escenarios R de madera, materiales de yeso y envases de papel y cartón, y escenario P de madera; según CED, escenarios E y escenarios C de inertes, plásticos, materiales de yeso, y restos. En el resto de casos se ahorran cargas, siendo los escenarios más favorables:



Figuras 5.31 y 5.32. Comparación entre los resultados obtenidos para todos los tipos de RCD según las opciones metodológicas 1 y 2, para los indicadores GWP y CED.

GWP: entre los escenarios P que más cargas evitan se encuentran el de aluminio (evita más de 8000 kg CO₂_{eq}); seguido de plásticos, envases plásticos, cobre, acero (evitan entre 1400-3000 kg CO₂_{eq}); y el resto de fracciones (evitan entre 600-100 kg CO₂_{eq}), excepto el de los RCD de madera, que resulta positivo debido al crédito de CO₂. Sin embargo, algunos escenarios de reciclaje evitan más cargas que los de prevención, como los de aluminio, acero y envases plásticos.

CED: entre los escenarios P que más cargas evitan se encuentran el de aluminio (evita más de 131000 MJ_{eq}); seguido de plásticos, envases plásticos y madera, (evitan entre 40000-92000 MJ_{eq}); residuos de cobre, envases de papel y cartón y acero (evitan entre 22000-31000 MJ_{eq}); y el resto de fracciones (evitan menos de 5000 MJ_{eq}), no resultando ningún caso positivo. Sin embargo, algunos escenarios de reciclaje evitan más cargas que los de prevención, como los de aluminio, envases de papel y cartón y envases plásticos; y, además, los escenarios de reciclaje de madera, acero, cobre y materiales de yeso son más favorables que los escenarios de prevención de las fracciones inertes.

En cuanto a la importancia relativa de cada fracción en obra, la Tabla 5.23 muestra las contribuciones a los resultados del RCD mixto según los escenarios C y P. En el escenario C, según *GWP*, el 90% de las cargas se deben a los envases de papel y cartón, siendo los ahorros por las fracciones inertes y metales; y según *CED* los envases de papel y cartón suponen un 74% de cargas evitadas. En el escenario P, según *GWP*, los inertes son los que mayor cantidad de cargas evitan si se previenen; y según *CED*, las cargas evitadas de los inertes son equiparables a las de otras fracciones.

5.5.3.4. Factores que influyen en los resultados

Las cargas GRCD se analizaron en el capítulo 4, observándose que los procesos que más influyen en los resultados de esta fase eran: los procesos de tratamiento (eliminación o reciclaje) y los productos evitados en los escenarios de reciclaje. Acopio, transporte y clasificación contribuían en mayor o menor grado a los impactos pero en ningún caso son la principal causa.

Del análisis de las cargas *pre*-RCD, se observa que más del 90% son debidas a los procesos de producción de los materiales de construcción. Los materiales utilizados en obra se basan en una serie de hipótesis de partida que influyen en los resultados:

La fracción de hormigón procede de hormigón en masa, que conlleva menos impactos que si se hubieran considerado cementos o morteros, debido a que el hormigón lleva incorporados materiales de bajo impacto como grava o arena, y también menos impactos que el hormigón armado por la ausencia de acero [14]. La fracción cerámica procede de ladrillos, cuya producción genera menores impactos que la de otros productos cerámicos, como los azulejos; aunque mayores que la producción de otros inertes, como el hormigón [14]. Las fracciones metálicas proceden de mezcla de metales de producción primaria y secundaria, lo que reduce la magnitud de las cargas *pre*-RCD, que son menores para los metales reciclados que para los de producción primaria. Todo lo anterior es extensible al resto de materiales (madera, yeso, plásticos, envases de papel y cartón y envases plásticos), cuyas hipótesis de composición, tanto en relación al tipo de producto como a su naturaleza secundaria o primaria, afectan a las cargas *pre*-RCD.

En resumen, los tres factores que influyen principalmente en los resultados son: (a) los procesos de tratamiento, (b) los procesos evitados en los escenarios de reciclaje y (c) los procesos de producción de los materiales de construcción.

En general, el escenario P es el que menos impactos genera, pero hay algunas excepciones: escenario E

para madera según GWP; y escenarios de reciclaje —R o C(R)— para aluminio según GWP y CED, y para envases de papel y cartón según CED. Las causas de estas excepciones son:

- *Escenario E según GWP para madera*: el crédito de CO₂ con el que se penaliza la prevención de los productos de madera.

- *Resto de casos*: las cargas *pre*-RCD no superan en magnitud a las cargas GRCD debido a los materiales de construcción empleados y a los productos evitados por el reciclaje. En el caso del aluminio, el producto evitado es en su totalidad aluminio primario, pero el material de construcción es mezcla de primario y secundario: al ser las cargas del aluminio primario mayores a las del secundario, las cargas finales GRCD evitadas resultan mayores que las *pre*-RCD. Para cobre y acero se ha seguido el mismo criterio, pero los resultados no se ven tan afectados debido a que no es tan importante la diferencia de cargas entre la producción primaria y secundaria como para el aluminio. En el caso de los envases de papel y cartón según CED, el producto evitado es la pulpa primaria, y el material de construcción, el cartón corrugado, por lo que los resultados obtenidos son debidos a la diferencia de cargas entre ellos.

5.5.3.5. Consideraciones particulares de cada opción metodológica

Las dos opciones metodológicas propuestas se basan en la metodología desarrollada por Nessi et al., 2013 para la aplicación de ACV a estudios de RSU en los que intervienen actividades de prevención. En el presente análisis se ha evaluado 1 tonelada de cada fracción de RCD y solo se han aplicado medidas de prevención de tipo reducción, y no de sustitución (apartado 5.1). Un análisis sobre el procedimiento general, que incluya otras cantidades y medidas de sustitución se realiza en el capítulo 6.

- *Cálculo de escenarios*: en la *Opción 1* cada escenario incluye tanto los procesos *pre*-RCD como GRCD, resultando cero el impacto del escenario de prevención porque no se genera ningún RCD; sin embargo, en la *Opción 2* la prevención se considera una opción de gestión más que se aplica a los RCD generados, incluyéndose los procesos *pre*-RCD sólo en el escenario de prevención.

- *Resultados de cada escenario*: la *Opción 1* determina los impactos reales que se producen en cada escenario, pero no ocurre así en la *Opción 2*, siendo necesario considerar los límites del sistema aplicados. Por ejemplo, en el escenario R de acero el indicador GWP resulta positivo según la *Opción 1* y negativo según la *Opción 2*: el impacto real es el obtenido según la *Opción 1*, que es un impacto adverso; para interpretar el resultado de la *Opción 2* como beneficio ambiental debe quedar reflejado que no se están teniendo en cuenta las cargas *pre*-RCD en ese escenario.

- *Diferencias de impacto absolutas y relativas entre escenarios*: Según la opción metodológica aplicada, para un mismo escenario se obtienen distintos impactos netos, cuya diferencia es igual a las cargas *pre*-RCD. Así, la diferencia en impactos absolutos entre los distintos escenarios según ambas opciones es la misma, obteniéndose idénticas conclusiones en cuanto a la idoneidad de un escenario sobre otro. Sin embargo, la diferencia en impactos relativos entre los distintos escenarios varía según la opción aplicada, siendo necesario interpretar los resultados según las características de cada opción.

Por ejemplo, para la fracción de hormigón según GWP, al analizar los resultados de los escenarios E en relación a los escenarios R y C, se observa que según ambas opciones, la diferencia absoluta entre el escenario E y el escenario R es de 3.46 kg CO₂ eq; y entre el escenario E y el C es de 2.25 kg CO₂ eq. Sin embargo en términos relativos, según la *Opción 1*, los escenarios R y C son un 3% y un 2% más favorables que el escenario E; y según la *Opción 2*, estos porcentajes ascienden al 128% y al 83% respectivamente.

- *Comparaciones entre escenarios y opciones metodológicas:* los resultados de los escenarios sin prevención según la *Opción 2* pueden ser asimilables a los que se obtienen aplicando ACV tradicional de RCD, permitiendo la comparación con este tipo de estudios, mucho más habituales en la literatura. Sin embargo, la *Opción 1* permite comparar distintas fracciones; pero la *Opción 2* puede llevar a error, ya que, al aplicar el supuesto de “carga cero”, penaliza o bonifica cada fracción en función de la magnitud de las cargas *pre*-RCD.

- *Idoneidad de aplicación de cada opción metodológica:* la *Opción 1* es más indicada para aquellos ACV cuyo objetivo sea la toma de decisiones sobre medidas de prevención durante la fase de diseño, ya que permite controlar el impacto total que genera un determinado RCD. La *Opción 2*, sin embargo, puede ser de más utilidad en ACV cuyo objetivo sea la toma de decisiones sobre la opción de gestión óptima una vez el RCD ha sido generado, en la línea de los ACV que aplican la metodología tradicional pero con la posibilidad de comparar escenarios de prevención.

5.5.4. Limitaciones y carencias de este estudio

5.5.4.1. Calidad de los datos

Los resultados están condicionados por el nivel de calidad de los datos empleados. Este estudio parte de los datos e hipótesis utilizados en el análisis llevado a cabo en el capítulo 4, por lo que la discusión realizada en el apartado 4.4.4.1 es aplicable al presente análisis. En este caso, además, hay que considerar la calidad de los datos relativos a los procesos *pre*-RCD, para los que igualmente se han empleado bases de datos públicas e hipótesis simplificadoras.

5.5.5. Aplicación de los resultados

5.5.5.1. Índice de Prevención

Se propone un *Índice de Prevención*, I_p que se define para cada fracción como “la relación de los impactos del escenario P respecto a los del escenario R (relación P/R) según los resultados CED de la opción metodológica 2”. Se expresa en valor absoluto, siendo los impactos beneficiosos (negativos) según CED en todos los escenarios R y P; denominándose $I(\%)_p$ al porcentaje respecto al máximo I_p obtenido (en este caso es para la fracción de cerámicos) (Ecs. 5.9 y 5.10).

$$I_{Pi} = \frac{P_i}{R_i} \quad (5.9)$$

$$I(\%)_{Pi} = \frac{I_{Pi}}{I_{Pmax}} \cdot 100 \quad (5.10)$$

Estos índices reflejan la aptitud de cada fracción de RCD para la prevención frente al reciclaje, desde el punto de vista energético. Cuanto mayor sea el valor del índice, más ventajosa es la prevención en relación al reciclaje, siendo el valor más alto para los RCD cerámicos. Valores de I_p menores a 1, indican que el reciclaje es más favorable que la prevención, como ocurre con el aluminio y los envases de papel y cartón (Tabla 5.24).

		I_p	$I(\%)_p$
170101	Hormigón	33.12	17.29
170102,03	Cerámicos	191.55	100.00
170106	Mezcla horm. y cerám.	106.78	55.75
170201	Madera	2.70	1.41
170401	Cobre, bronce, latón	6.34	3.31
170402	Aluminio	0.82	0.43
170405	Hierro y acero	1.66	0.86
170802	Mat. a partir de yeso	2.15	1.12
150101	Env. papel y cartón	0.61	0.32
150102	Envases de plástico	3.16	1.65

Tabla 5.24. Índices de Prevención I_p e $I(\%)_p$

5.5.5.2. Procedimiento de cálculo simplificado para la evaluación de la GRCD en obras

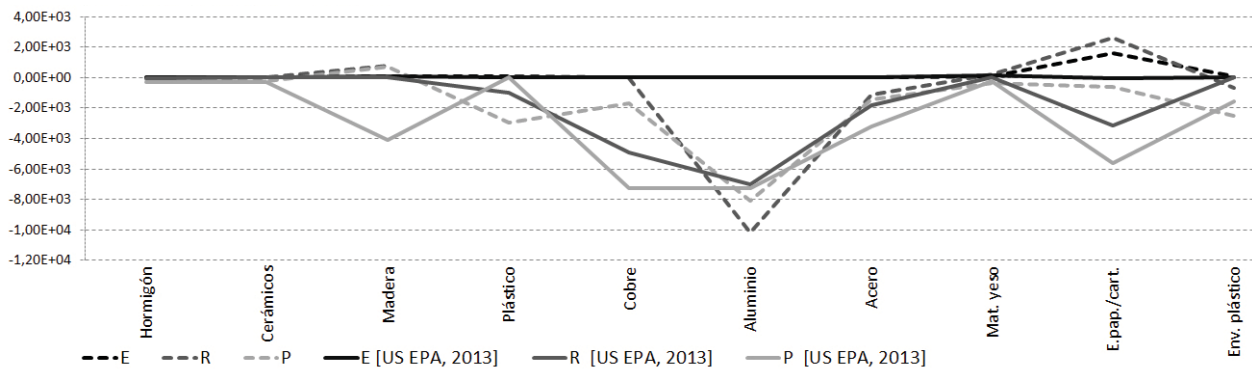
Calcular los impactos de los RCD que se generan en obras mediante el ACV implica recopilar datos específicos de cada una de las obras a analizar. Esto supone una inversión de tiempo considerable, que se ve aumentada si se incluyen escenarios de prevención, ya que además de los procesos GRCD es necesario recopilar los procesos *pre*-RCD.

Para facilitar esta labor, se plantea un procedimiento de cálculo simplificado a partir de la metodología propuesta en este capítulo, de los impactos obtenidos por tonelada de RCD y de la cuantificación de los RCD que se generen en una determinada obra. Dicho procedimiento se basa en la herramienta *WARM* [15], que permite calcular los impactos aproximados generados por los RSU según diversos escenarios, uno de los cuales es de prevención. El procedimiento de cálculo simplificado se desarrolla en el capítulo 6 y se aplica a las obras de estudio.

5.5.6. Comparación de los resultados obtenidos con los de otros estudios

En la revisión bibliográfica no se ha encontrado ningún estudio de ACV aplicado a la gestión de RCD que considere actividades de prevención. Sin embargo, en el campo de los RSU sí aparecen algunos estudios que las consideran, recurriéndose a ellos para comparar resultados, en particular a la herramienta *WARM* [15] que calcula los impactos para 1 tonelada de cada fracción.

En dicha herramienta, algunas de las fracciones que analiza son asimilables a las evaluadas en el presente estudio, comparándose según los valores de la *Opción 2* para los escenarios E, R o P y el indicador GWP (Figura 5.33). Teniendo en cuenta las diferencias de partida de ambos estudios, se observa que existen coincidencias entre los resultados para los escenarios E de la mayoría de las fracciones. En los escenarios R y P se observan mayores diferencias aunque algunos resultados se aproximan, especialmente para las fracciones inertes, materiales de yeso y envases de plástico.



Figuras 5.33. Comparación entre los resultados de este estudio según la opción 2 y los resultados de la herramienta *WARM* para GWP.

5.6. REFERENCIAS

- [1] Parlamento Europeo. Directiva 2008/98/CE de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. 2008;Diario Oficial de la Unión Europea L312, 0003-0030.
- [2] Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya - ITeC. Situación actual y perspectivas de futuro de los residuos de construcción. 2000.
- [3] Llatas Oliver C. Residuos generados en la construcción de viviendas: propuestas y evaluación de procedimientos y prescripciones para su minimización. Tesis doctoral; Universidad de Sevilla, Departamento de Construcciones Arquitectónicas I; 2000.
- [4] WRAP. Designing out Waste Tool for Buildings. 2013; Available at: <<http://dowtb.wrap.org.uk>>. Accessed 09/10, 2013.
- [5] Nessi S, Rigamonti L, Grosso M. Discussion on methods to include prevention activities in waste management LCA. The International Journal of Life Cycle Assessment 2013 08/01;18(7):1358-1373.
- [6] Gentil EC, Gallo D, Christensen TH. Environmental evaluation of municipal waste prevention. Waste Manage 2011 12;31(12):2371-2379.
- [7] Cleary J. The incorporation of waste prevention activities into life cycle assessments of municipal solid waste management systems: methodological issues. International Journal of Life Cycle Assessment 2010 JUL 2010;15(6):579-589.
- [8] Ekvall T, Assefa G, Bjorklund A, Eriksson O, Finnveden G. What life-cycle assessment does and does not do in assessments of waste management. Waste Manage 2007;27(8):989-996.
- [9] Finnveden G. Methodological aspects of life cycle assessment of integrated solid waste management systems. Resour Conserv Recycling 1999 6;26(3-4):173-187.
- [10] ACR+. Guide: "Towards Sustainable Plastic Construction and Demolition Waste Management in Europe". Life Project APPRICOD. 2006; Available at: <<http://acrplus.org/>>.
- [11] García Martínez A. Life Cycle Assessment of Buildings. Methodological proposal for the development of Environmental Declarations of Dwellings in Andalusia. 2010.
- [12] Kellenberger D, Althaus H-, Jungbluth, N. and Künniger, T. Life Cycle Inventories of Building Products. EcoInvent Report nº 7. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. 2007.
- [13] SCLCI (Swiss Centre for Life Cycle Inventories). 2005. Centre, Ecoinvent database v1.2; Available at: <<http://ecoinvent.org>>
- [14] Zabalza Bribián I, Valero Capilla A, Aranda Usón A. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. Build Environ 2011 5;46(5):1133-1140.
- [15] U.S. Environmental Protection Agency. Office of Resource Conservation and Recovery. Waste Reduction Model (WARM). 2013; Available at: <<http://epa.gov/epawaste/>>. Accessed 09/10, 2013.

CAPÍTULO 6. Procedimiento simplificado de cálculo para evaluar la gestión de los RCD en obras: propuesta y aplicación

El objetivo de este capítulo es elaborar un procedimiento de cálculo simplificado para evaluar distintos escenarios de gestión de los RCD de obras, incluidos escenarios de prevención. La utilidad de este procedimiento radica en que facilita la evaluación de la gestión de los RCD generados en obras, ya que el ACV supone una inversión considerable de tiempo, entre otros por la especificidad requerida de los datos del inventario. Además, esta tarea se complejiza aún más si se consideran actividades de prevención, por la inclusión de los procesos *pre*-RCD. Por último, a partir del procedimiento simplificado se elabora una herramienta de cálculo que se aplica a las obras de estudio.

- Metodología del procedimiento simplificado para evaluar la gestión de los RCD generados en obras.

Se parte de la metodología propuesta en el Capítulo 5 para la evaluación de la gestión de los RCD que permite considerar actividades de prevención. Según la formulación del caso general, los impactos totales de todos los RCD que se generan en un escenario son iguales a la suma de los impactos parciales de cada fracción generada. Los impactos parciales asociados a cada fracción se pueden obtener conociendo el valor de los impactos por tonelada y la cantidad de toneladas generadas. El impacto por tonelada de cada fracción se denomina factor de impacto y se calcula mediante la formulación del caso simplificado descrito en el Capítulo 5, para cada categoría de impacto y según la Opción 1 o 2. Estos factores se pueden calcular específicamente para cada obra a analizar, pero el procedimiento simplificado propone utilizar factores de impacto genéricos calculados para una obra representativa. A partir de lo anterior, se desarrolla el procedimiento y la formulación para las *Opciones 1 y 2*.

Para sistematizar los cálculos se elabora una herramienta, consistente en una hoja de cálculo que

proporciona los resultados mediante la introducción de las cantidades de RCD generadas en cada obra. La herramienta se desarrolla para ser aplicada a los casos de estudio, utilizando factores de impacto genéricos calculados para una obra representativa. Para obras de características distintas a las de las obras de estudio se deberán calcular factores de impacto específicos. Los escenarios de gestión que se incorporan en la herramienta son: E* (separación en obra y eliminación), R* (separación en obra, reciclaje si es posible y eliminación en el resto de casos), C* (separación en planta y gestión correspondiente) y P* (minimización previa, separación en obra, reciclaje si es posible y eliminación en el resto de casos) y O* (específico para cada obra según la gestión real llevada a cabo).

- Aplicación de la herramienta de cálculo a las obras de estudio.

Los cálculos se realizan para los indicadores GWP y CED, según las *Opciones 1 y 2*, y los escenarios de gestión O*, E*, R*, C* y P*. Para el cálculo de las cantidades de cada fracción de RCD que se generan en cada escenario se utiliza una herramienta de cuantificación, obteniendo los RCD que se generan con y sin la aplicación de medidas de prevención. Introduciendo estas cantidades en el escenario correspondiente, se obtienen los resultados. Los resultados de la *Opción 1* son los impactos reales que genera la gestión de los RCD de las obras de estudio y los de la *Opción 2* son los que resultan de aplicar el supuesto de "carga cero". Según ambas opciones, en todas las obras e indicadores el escenario P* es el más favorable y la idoneidad del resto de escenarios depende de cada caso. Sin embargo, los impactos netos varían según la opción metodológica aplicada.

Por último, se proponen unos parámetros de caracterización de la gestión de los RCD generados en obras, que permitan relacionar edificios de distintas características.

Capítulo 6. Procedimiento simplificado de cálculo para evaluar la gestión de los RCD en obras: propuesta y aplicación	
6.1. Procedimiento simplificado de cálculo simplificado para la evluar la gestión de los RCD en obras	143
6.1.1. Consideraciones previas	143
6.1.1.1. Antecedentes: herramientas simplificadas existentes	143
6.1.2.1. Cuestiones metodológicas de partida	143
6.1.2. Metodología del procedimiento simplificado para evaluar la gestión de los RCD generados en obras	144
6.1.2.1. Factores de impacto	144
6.1.2.2. Procedimiento simplificado según la Opción 1	145
6.1.2.2. Procedimiento simplificado según la Opción 2	145
6.1.3. Herramienta de cálculo basada en el procedimiento simplificado	146
6.1.3.1. Escenarios de obra	147
6.1.3.2. Factores de impacto a aplicar a cada escenario de obra	147
6.1.3.3. Elaboración de la herramienta de cálculo	148
6.2. Aplicación de la herramienta de cálculo a las obras de estudio	149
6.3. Resultados obtenidos para cada obra de estudio	149
6.3.1. Resultados obtenidos para cada obra según la Opción 1	150
6.3.2. Resultados obtenidos para cada obra según la Opción 2	159
6.4. Discusión de resultados	168
6.4.1. Interpretación de los resultados obtenidos según las dos opciones metodológicas	168
6.4.1.1. Opción 1: Resultados según fracciones de RCD	170
6.4.1.2. Opción 2: Resultados según fracciones de RCD	171
6.4.1.3. Consideraciones particulares de cada opción metodológica	172
6.4.2. Limitaciones del procedimiento	173
6.4.3. Aplicación de los resultados	174
6.4.3.1. Parámetros de caracterización de la gestión de los RCD generados en la construcción de un edificio	174
6.4.3. Comparaciones con otros estudios	175
6.5. Referencias	177

6.1. PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO PARA EVALUAR LA GESTIÓN DE LOS RCD EN OBRAS

6.1.1. Consideraciones previas

En los capítulos anteriores se evaluó la gestión de 1 tonelada de distintas fracciones de RCD, reflejándose la importancia de: a) considerar distintas cantidades de cada fracción, como ocurre en los RCD totales generados en una obra; b) incluir la prevención, por ser la opción de gestión prioritaria y apenas haber sido estudiada mediante el ACV.

Aplicar el ACV a la gestión de los RCD que se generan en una obra supone una inversión considerable de tiempo, debido entre otros a la especificidad requerida de los datos del inventario. Si además se consideran actividades de prevención, la tarea se complejiza por la inclusión de los procesos *pre*-RCD. Para facilitar esta labor, se propone un procedimiento de cálculo simplificado que permite obtener los impactos de distintos escenarios de gestión de RCD en obras, incluidos los escenarios de prevención.

6.1.1.1. Antecedentes: herramientas simplificadas existentes

Algunas de las herramientas simplificadas existentes para la evaluación de la gestión de residuos permiten considerar las actividades de prevención. En el campo de los RSU, se encuentra la herramienta online *WARM* [1], disponible también como hoja de cálculo, que permite estimar para 46 fracciones de RSU las emisiones de gases de efecto invernadero mediante prácticas alternativas de gestión, incluida la prevención. El cálculo se basa en asociar a cada fracción y opción de gestión un impacto por tonelada, que se multiplica por la cantidad de cada fracción generada en cada escenario. Los resultados muestran los impactos de cada escenario y la diferencia de impactos entre escenarios alternativos.

Entre las herramientas específicas para obras de construcción, se encuentra la herramienta online *DoWT-B* [2], que para diversas alternativas de diseño calcula las emisiones de CO₂. Esta herramienta, a partir de las características constructivas del edificio, estima las cantidades de RCD, las emisiones y el coste de la gestión, para un escenario de referencia y otro alternativo. Aunque ofrece resultados más completos que los de la herramienta *WARM*, los datos que utiliza son más opacos, teniéndose menos control sobre los cálculos efectuados.

6.1.2.1. Cuestiones metodológicas de partida

El objetivo del procedimiento simplificado es estimar los impactos originados por la gestión de los RCD en obras, incluyendo escenarios que consideran actividades de prevención, en el marco del ACV. El considerar las actividades de prevención implica revisar algunas cuestiones metodológicas del ACV que tradicionalmente se utilizan para evaluar la gestión de los RCD, como la unidad funcional y los límites del sistema, tal y como se indica en el apartado 5.1.1.1.

Respecto a las medidas de prevención que se pueden aplicar a los elementos constructivos que componen un edificio, se distingue entre medidas de reducción y medidas de sustitución. Según se describe en el apartado 5.1.1.2, las medidas de sustitución suponen una variación tanto en la cantidad como en la composición de los RCD generados, ya que se sustituyen los elementos originales por elementos alternativos que generan RCD de cantidades y composición distintas; en cambio, las medidas de reducción solo suponen una variación en la cantidad de los RCD generados pero no en su composición.

Con el fin de comparar escenarios que consideren actividades de prevención, se plantean dos opciones metodológicas, que se desarrollan en el apartado 5.1.2. Ambas opciones difieren principalmente en que la *Opción 1* computa las cargas *pre*-RCD en el escenario en el que realmente ocurren, y la *Opción 2* las computa como impactos evitados en los escenarios en los que se previenen. Esto conlleva una serie de cuestiones, por ejemplo: la *Opción 1* permite comparar escenarios en los que se generan distintas cantidades de RCD, pero la *Opción 2* solo es aplicable a escenarios en los que se genera la misma cantidad. Otras consecuencias son analizadas en el apartado 5.5.4.1.

Para ambas opciones metodológicas se desarrolla una formulación para un caso general (Ecs. 5.1-5.4), de aplicación a obras o elementos constructivos en los que intervienen medidas de reducción y sustitución. Esta formulación asume que los impactos totales de todos los RCD que se generan en un escenario son iguales a la suma de cada uno de los impactos parciales de cada fracción generada. También se plantea la formulación para un caso simplificado (Ecs. 5.5-5.8), aplicable al análisis de 1 tonelada de RCD, considerando solo medidas de reducción.

6.1.2. Metodología del procedimiento simplificado para evaluar la gestión de los RCD generados en obras

El procedimiento simplificado plantea la posibilidad de obtener los impactos generados por los RCD en las obras de nueva construcción según diversos escenarios, incluidos escenarios que consideren actividades de prevención (de sustitución y de reducción), para cada una de las opciones metodológicas planteadas anteriormente. Para ello, parte de las siguientes premisas:

- los impactos totales de todos los RCD que se generan en una obra o elemento constructivo son iguales a la suma de cada uno de los impactos parciales de cada fracción de RCD generada.
- los impactos parciales de cada fracción de RCD se pueden obtener conociendo: la cantidad de toneladas generada de cada fracción de RCD y el impacto de la gestión de una tonelada de cada fracción de RCD.
- la cantidad de toneladas de cada fracción de RCD generada es conocida, tanto en los escenarios que aplican actividades de prevención como en los que no.
- el valor del impacto de la gestión de una tonelada de cada fracción de RCD es conocido. A estos valores se les denomina factores de impacto y se describen a continuación.

6.1.2.1. Factores de impacto

El *factor de impacto* de cada fracción de RCD se define como “el impacto que genera la gestión de 1 tonelada de una determinada fracción de RCD”. Los factores de impacto están asociados a cada una de las opciones de gestión aplicables a cada fracción de RCD, incluida la prevención. Al factor de impacto asociado a la prevención se le denomina *factor de prevención*, y se define como “el impacto que genera la prevención total de 1 tonelada de una determinada fracción de RCD”.

Los factores de impacto cumplen los requisitos de aplicación del caso simplificado descrito en el apartado 5.1.2.1: la cantidad gestionada es 1 tonelada y solo se consideran medidas de prevención de tipo reducción. Cada factor de impacto se calcula mediante dicha formulación, obteniéndose un valor según se aplique la *Opción 1* (Ecs. 5.5 y 5.6) o la *Opción 2* (Ecs. 5.7 y 5.8), para cada categoría de impacto analizada. En todo caso, los factores de prevención según la *Opción 1* son nulos, por no generarse cargas al prevenirse en su totalidad la fracción de RCD (Ec. 5.6).

Estos factores pueden ser calculados específicamente para cada obra a analizar, aunque el procedimiento simplificado propone utilizar factores de impacto genéricos estimados para una obra representativa que pueden ser aplicados a otras obras de características similares. El uso de estos factores genéricos supone introducir ciertas inexactitudes que deben ser consideradas al interpretar los resultados. Por otro lado, también se deben considerar otras cuestiones del ACV, como los métodos de EICV aplicados, los procedimientos de asignación de cargas o el inventario de los procesos.

En resumen, los factores de impacto dependen de la fracción de RCD, del tipo de gestión que se le aplique, de la opción metodológica aplicada, de la categoría de impacto analizada, y de la especificidad de los datos, sin olvidar otras cuestiones propias del ACV.

6.1.2.2. Procedimiento simplificado según la Opción 1

Para desarrollar el procedimiento simplificado de cálculo según la *Opción 1*, se consideran las siguientes cuestiones: (1) la unidad funcional es la gestión de la cantidad real de RCD generados en una determinada obra; siendo la cantidad real la que se genera en cada escenario independientemente de que se aplique actividades de prevención o no; (2) los límites del sistema incluyen para cada escenario los procesos GRCD correspondientes, así como los procesos *pre*-RCD asociados (Fig. 5.2).

El procedimiento simplificado establece que los impactos parciales de una fracción de RCD se obtienen multiplicando la cantidad real generada de dicha fracción de RCD por el factor de impacto correspondiente. Realizando esta operación para todas las fracciones de RCD generadas en una obra o sistema constructivo y sumando todos los resultados parciales, se obtienen los impactos totales de cada escenario de gestión.

En cada escenario, para cada fracción de RCD, opción de gestión e indicador, se utiliza el factor de impacto correspondiente, calculado previamente según la *Opción 1* (Ec. 5.5). Las cantidades de RCD consideradas en cada escenario varían según se hayan aplicado actividades de prevención o no. Las expresiones de cálculo para cada escenario e indicador son las siguientes:

$$\text{Escenarios sin prevención} \quad X_1^j = \sum_i^n (\chi_1)_i^j \cdot q_i \quad (6.1)$$

$$\text{Escenarios con prevención} \quad X_{p1}^j = \sum_i^n (\chi_1)_i^j \cdot q'_i \quad (6.2)$$

Donde, X_1^j son los impactos totales de un escenario sin prevención según el indicador “j”, aplicando la *Opción 1*; X_{p1}^j son los impactos totales de un escenario de prevención según el indicador “j”, aplicando la *Opción 1*; $(\chi_1)_i^j$ es el factor de impacto para el indicador “j” de la fracción de RCD “i” calculado según la *Opción 1*; q_i es la cantidad generada de la fracción de RCD “i” sin actividades de prevención; y q'_i es la cantidad generada de la fracción de RCD “i” tras aplicar actividades de prevención.

6.1.2.3. Procedimiento simplificado según la Opción 2

Para desarrollar el procedimiento simplificado de cálculo según la *Opción 2*, se consideran las siguientes cuestiones: (1) la unidad funcional es la gestión de la máxima cantidad de RCD potencialmente generada en una determinada obra, es decir, la cantidad generada en los escenarios que no aplican actividades de prevención; (2) los límites del sistema incluyen los procesos GRCD y los procesos *pre*-RCD asociados, pero por la aplicación del supuesto de “carga cero”, los procesos *pre*-RCD se excluyen de los escenarios sin prevención y aparecen como cargas evitadas en los escenarios de prevención (Figs. 5.3 y 5.4).

En cuanto al proceso del cálculo, se distingue entre los escenarios de prevención y los que no consideran actividades de prevención. La principal diferencia con respecto a la *Opción 1* es que las cantidades de RCD tenidas en cuenta en todos los escenarios son idénticas, considerándose la prevención como una opción de gestión más.

En los escenarios en los que no se considera la prevención, el cálculo es análogo al de la *Opción 1*, salvo que el factor de impacto se estima según la *Opción 2* (Ec. 5.7). Para cada categoría de impacto a analizar, la expresión de cálculo de cada escenario sin prevención considerado es la siguiente:

$$\text{Escenarios sin prevención} \quad X_2^j = \sum_i^n (\chi_2)_i^j \cdot q_i \quad (6.3)$$

Donde, X_2^j son los impactos totales de un escenario sin prevención según el indicador "j", aplicando la *Opción 2*; $(\chi_2)_i^j$ es el factor de impacto para el indicador "j" de la fracción de RCD "i" calculado según la *Opción 2*; y q_i es la cantidad generada de la fracción de RCD "i" sin actividades de prevención.

En los escenarios de prevención, los impactos parciales de cada fracción se obtienen mediante la suma de: el producto de la cantidad generada de cada fracción por el factor de impacto correspondiente (calculado según la ecuación 5.7), y el producto de la cantidad prevenida por el factor de prevención (calculado según la ecuación 5.8). Una vez obtenidos los resultados parciales por fracciones, se suman y se obtienen los impactos totales de los RCD. Para cada categoría de impacto a analizar, la expresión de cálculo de estos escenarios resulta:

$$\text{Escenarios con prevención} \quad X_{p2}^j = \sum_i^n (\chi_2)_i^j \cdot q'_i + \sum_i^n (\chi_{p2})_i^j \cdot (q_i - q'_i) \quad (6.4)$$

Donde, X_{p2}^j son los impactos totales según el escenario de prevención; $(\chi_2)_i^j$ es el factor de impacto para el indicador "j" de la fracción de RCD "i" calculado según la *Opción 2*; $(\chi_{p2})_i^j$ es el factor de prevención para el indicador "j" de la fracción de RCD "i" calculado según la *Opción 2*; q_i es la cantidad generada de la fracción de RCD "i" sin actividades de prevención; y q'_i es la cantidad generada de la fracción de RCD "i" tras aplicar actividades de prevención.

6.1.3. Herramienta de cálculo basada en el procedimiento simplificado

Para sistematizar el cálculo de los impactos de la gestión de los RCD en un grupo de obras, se propone una herramienta de cálculo basada en el procedimiento simplificado, tanto para la *Opción 1* como la *Opción 2*. Esta herramienta, basada en hojas de cálculo, permite obtener los impactos de los escenarios mediante la introducción de las cantidades de cada fracción de RCD generada en cada obra. Los resultados se obtendrán para el indicador de impacto ambiental para el que se calculen los factores de impacto. El cálculo de las cantidades de RCD generadas se puede realizar aplicando una herramienta de cuantificación.

A continuación se elabora la herramienta de cálculo, que se adjunta en el Anexo IV. Para ello, en primer lugar se establecen los escenarios a analizar, en segundo lugar se calculan los factores de impacto necesarios, y por último se elabora una hoja de cálculo a partir de las ecuaciones 6.1 y 6.2 para la *Opción 1* y de las ecuaciones 6.3 y 6.4 para la *Opción 2*. La herramienta se particulariza para los casos de estudio, utilizando factores de impacto genéricos calculados para una obra representativa de dicho conjunto de obras. Para el análisis de obras de características distintas a las de las obras de estudio deberán calcularse factores de impacto específicos. Por otro lado, solo se tienen en cuenta las fracciones de RCD generadas en las obras de estudio y además no se incluyen las tierras y los residuos peligrosos, por quedar fuera del objetivo de reciclaje para 2020 establecido por la Directiva Marco de Residuos, como se indicó anteriormente.

6.1.3.1. Escenarios de obra

Los escenarios a evaluar se indican en la Tabla 6.1 y son O*, E*, R*, C* y P*, siendo P* el único que contempla actividades de prevención (de sustitución y de reducción). En el escenario O*, se aplica a cada fracción de RCD la gestión real realizada en las obras de estudio, siendo específico para cada obra. En los escenarios E*, todas las fracciones de RCD se separan en obra y se eliminan en vertedero. En los escenarios R*, todas las fracciones de RCD se separan en obra, destinándose a reciclaje aquellos RCD que pueden ser reciclados y eliminándose el resto. En los escenarios C*, las fracciones de RCD se separan en planta de tratamiento de RCD, destinándose cada fracción de RCD a reciclaje o eliminación según sus posibilidades de tratamiento. En los escenarios de prevención P*, los RCD generados se gestionan según los escenarios R*.

	Medidas de prevención	Separación	Gestión Final	Factores de Impacto ²
Escenario O*	No	En obra o en planta ¹	Eliminación o Reciclaje ¹	E, R, C
Escenario E*	No	En obra	Eliminación de todas las fracciones	E
Escenario R*	No	En obra	Reciclaje de las fracciones reciclables / Eliminación del resto	R, E
Escenario C*	No	En planta de clasificación	Eliminación o Reciclaje según fracción y datos de planta de clasificación	C
Escenario P*	S ³	En obra	Reciclaje de las fracciones reciclables / Eliminación del resto	P, R, E

1 Según la gestión real en la obra analizada

2 Según escenarios descritos en Tabla 5.4

3 Las medidas de prevención pueden ser de sustitución y reducción

Tabla 6.1. Características de los escenarios analizados. Fuente: elaboración propia

6.1.3.2. Factores de impacto a aplicar a cada escenario de obra

Cada escenario de obra lleva asociado determinados factores de impacto, de acuerdo con el sistema de gestión empleado según se indica en la Tabla 6.1. En esta herramienta se toman como factores de impactos los impactos calculados en los apartados 5.2-5.5, correspondientes a 1 tonelada de las fracciones de RCD generadas en las obras de estudio según diversos escenarios de gestión.

En la Tabla 6.1 también se indican los tipos de factores de impacto, según los escenarios de gestión de cada fracción de RCD que, de acuerdo a la Tabla 5.4, son: E (separación en obra y eliminación), R (separación en obra y reciclaje), C (clasificación en planta de tratamiento de RCD y correspondiente gestión según fracción) y P (no generación de residuos).

En el capítulo 5, los impactos se calcularon para las dos opciones metodológicas propuestas y una serie de categorías e indicadores de impacto (AP, EP, GWP, ODP, HTP, POP y CED). En este estudio solo se van a utilizar las categorías de Cambio Climático y Demanda de Energía Acumulada (indicadores GWP y CED), pero sería posible aplicar el procedimiento simplificado al resto de categorías.

Los datos empleados para el cálculo de los factores de impacto se corresponden con los de una obra genérica de características similares a las obras de estudio, situada en el centro geométrico de los emplazamientos de estas, y cuyos RCD han sido destinados a la correspondiente infraestructura de gestión según el principio de proximidad.

Las Tablas 6.2 y 6.3 muestran, para las *Opciones 1* y *2*, los factores de impactos por fracción de RCD, escenario e indicador, según los cálculos realizados en el capítulo 5. La utilización de estos valores implica la validez de las consideraciones descritas en el capítulo 5, como hipótesis, métodos de EICV, procedimientos de asignación de cargas, calidad de los datos o limitaciones y carencias.

	Factores de Impacto E		Factores de Impacto R		Factores de Impacto C		Factores de Impacto P	
	GWP	CED	GWP	CED	GWP	CED	GWP	CED
	kg CO ₂ , eq/t	MJ eq/t	kg CO ₂ , eq/t	MJ eq/t	kg CO ₂ , eq/t	MJ eq/t	kg CO ₂ , eq/t	MJ eq/t
170101 Hormigón	E 1.19E+02	6.03E+02	R 1.15E+02	5.46E+02	RC 1.16E+02	5.66E+02	P 0.00E+00	0.00E+00
170102 Cerámicos	E 2.16E+02	2.76E+03	R 2.12E+02	2.71E+03	RC 2.14E+02	2.73E+03	P 0.00E+00	0.00E+00
170106 Mezcla horm. y cerám.	E 1.51E+02	1.30E+03	R 1.48E+02	1.25E+03	RC 1.49E+02	1.27E+03	P 0.00E+00	0.00E+00
170201 Madera	E -6.16E+02	4.12E+04	R 7.50E+01	2.59E+04	RC 7.80E+01	2.59E+04	P 0.00E+00	0.00E+00
170203 Plástico	E 3.00E+03	8.00E+04			EC 3.00E+03	8.01E+04	P 0.00E+00	0.00E+00
170401 Cobre, bronce, latón	E 1.71E+03	3.09E+04	R 1.63E+03	2.59E+04	RC 1.63E+03	2.59E+04	P 0.00E+00	0.00E+00
170402 Aluminio	E 8.09E+03	1.31E+05	R -2.06E+03	-2.96E+04	RC -2.06E+03	-2.96E+04	P 0.00E+00	0.00E+00
170405 Hierro y acero	E 1.44E+03	2.23E+04	R 3.00E+02	8.80E+03	RC 3.00E+02	8.90E+03	P 0.00E+00	0.00E+00
170802 Mat. a partir de yeso	E 4.30E+02	5.67E+03	R 5.28E+02	2.97E+03	EC 4.32E+02	5.70E+03	P 0.00E+00	0.00E+00
170904 Residuos mezclados	E 1.88E+02	3.06E+03			EC 1.90E+02	3.08E+03	P 0.00E+00	0.00E+00
150101 Env. papel y cartón	E 2.21E+03	2.41E+04	R 3.20E+03	-1.50E+04	RC 3.20E+03	-1.49E+04	P 0.00E+00	0.00E+00
150102 Envases de plástico	E 2.63E+03	9.21E+04	R 1.84E+03	6.29E+04	EC 2.64E+03	9.22E+04	P 0.00E+00	0.00E+00
150106 Envases mezclados	E 1.88E+02	3.06E+03			EC 1.90E+02	3.08E+03	P 0.00E+00	0.00E+00

Tabla 6.2. Factores de Impacto para los indicadores GWP y CED, a partir de los resultados obtenidos en el apdo. 5.4 según la Opción 1.

	Factores de Impacto E		Factores de Impacto R		Factores de Impacto C		Factores de Impacto P	
	GWP	CED	GWP	CED	GWP	CED	GWP	CED
	kg CO ₂ , eq/t	MJ eq/t	kg CO ₂ , eq/t	MJ eq/t	kg CO ₂ , eq/t	MJ eq/t	kg CO ₂ , eq/t	MJ eq/t
170101 Hormigón	E 2.70E+00	4.03E+01	R -7.62E-01	-1.70E+01	RC 4.49E-01	2.60E+00	P -1.16E+02	-5.63E+02
170102 Cerámicos	E 2.75E+00	4.11E+01	R -6.08E-01	-1.42E+01	RC 6.03E-01	5.46E+00	P -2.13E+02	-2.72E+03
170106 Mezcla horm. y cerám.	E 2.75E+00	4.11E+01	R -4.72E-01	-1.18E+01	RC 7.39E-01	7.80E+00	P -1.48E+02	-1.26E+03
170201 Madera	E 7.47E+01	9.10E+01	R 7.66E+02	-1.52E+04	RC 7.69E+02	-1.52E+04	P 6.91E+02	-4.11E+04
170203 Plástico	E 8.07E+01	1.28E+02			EC 8.33E+01	1.68E+02	P -2.92E+03	-7.99E+04
170401 Cobre, bronce, latón	E 1.49E+01	2.45E+02	R -6.79E+01	-4.84E+03	RC -6.65E+01	-4.82E+03	P -1.70E+03	-3.07E+04
170402 Aluminio	E 1.49E+01	2.45E+02	R -1.01E+04	-1.61E+05	RC -1.01E+04	-1.61E+05	P -8.08E+03	-1.31E+05
170405 Hierro y acero	E 6.23E+00	9.99E+01	R -1.13E+03	-1.34E+04	RC -1.13E+03	-1.33E+04	P -1.43E+03	-2.22E+04
170802 Mat. a partir de yeso	E 9.43E+01	1.12E+02	R 1.92E+02	-2.59E+03	EC 9.59E+01	1.37E+02	P -3.36E+02	-5.56E+03
170904 Residuos mezclados	E 5.12E+00	7.87E+01			EC 6.62E+00	1.03E+02	P -1.83E+02	-2.98E+03
150101 Env. papel y cartón	E 1.62E+03	2.27E+02	R 2.61E+03	-3.89E+04	RC 2.61E+03	-3.88E+04	P -5.92E+02	-2.39E+04
150102 Envases de plástico	E 1.02E+02	1.23E+02	R -6.92E+02	-2.91E+04	EC 1.05E+02	1.63E+02	P -2.53E+03	-9.20E+04
150106 Envases mezclados	E 5.12E+00	7.87E+01			EC 6.62E+00	1.03E+02	P -1.83E+02	-2.98E+03

Tabla 6.3. Factores de Impacto para los indicadores GWP y CED, a partir de los resultados obtenidos en el apdo. 5.4 según la Opción 2.

6.1.3.3. Elaboración de la herramienta de cálculo

Con los datos anteriores y según la formulación de las ecuaciones 6.1-6.4, se elabora una hoja de cálculo asignando el factor de impacto correspondiente a cada opción metodológica, escenario, fracción, e indicador de impacto. Esta herramienta puede ser aplicada a distintas obras, teniendo en cuenta las limitaciones anteriormente descritas.

Para obtener los impactos totales es necesario disponer de la cantidad de cada fracción de RCD generada e introducirla en la casilla correspondiente, diferenciando entre cantidades generadas en escenarios que aplican actividades de prevención y los que no. El escenario O* es específico de cada obra, según la gestión que cada una realice. Además de los resultados numéricos, se obtienen gráficas comparativas para facilitar su interpretación.

6.2. APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE CÁLCULO A LAS OBRAS DE ESTUDIO

Para la aplicación del procedimiento simplificado es necesario disponer de las cantidades de RCD, en toneladas, que se generan en cada escenario a evaluar. Para ello se utiliza la herramienta de cuantificación ECO ARQ,2013 [3], que permite cuantificar los RCD que se generan con y sin la aplicación de medidas de prevención. Las cantidades de RCD generadas en los escenarios sin prevención se calcularon en el apartado 3.2 según las características de cada obra. Para el cálculo de las cantidades generadas en los escenarios de prevención se consideran una serie de medidas de minimización de RCD aplicadas en la fase de proyecto principalmente en el diseño y selección de los elementos constructivos.

Las medidas de minimización adoptadas son las relacionadas con la coordinación dimensional, la optimización de elementos, el uso de elementos prefabricados, la facilidad de mantenimiento y la deconstrucción de los elementos constructivos. Esta herramienta permite aplicar estos criterios a los siguientes sistemas constructivos: cimentaciones, estructuras, saneamiento, albañilería, cubiertas, instalaciones, revestimientos, carpinterías, vidrios y pinturas. No se aplican medidas de prevención que incidan en la concepción estética del edificio ni las relacionadas con la orografía del terreno. Para todas las obras se ha considerado que no existen demoliciones previas, por lo que no se aplican criterios asociados a la reutilización de RCD de demoliciones, como tampoco de la propia obra o de otras.

Una vez obtenidas las cantidades de RCD generadas se introducen en la herramienta de cálculo y se obtienen los resultados a los impactos por obra, indicador y opción metodológica.

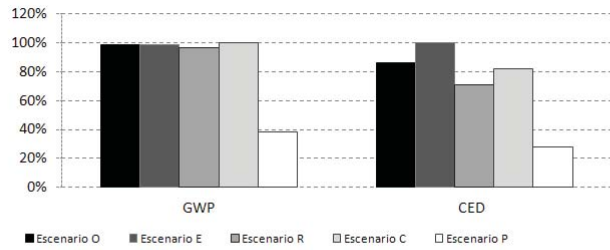
6.3. RESULTADOS OBTENIDOS PARA CADA OBRA DE ESTUDIO

Para cada una de las obras de estudio, se calculan los impactos de los escenarios de gestión O*, E*, R*, C* y P* aplicando la herramienta de cálculo basada en el procedimiento simplificado. Los cálculos se realizan para los indicadores GWP y CED, según las *Opciones 1 y 2*.

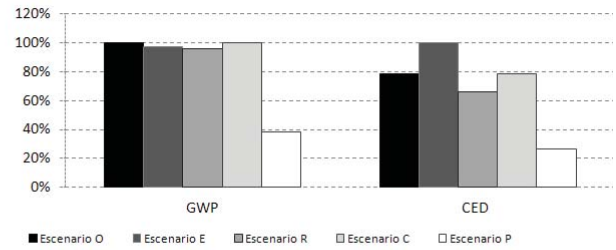
Las Tablas 6.3-6.18 muestran, para cada obra y escenario analizado, las cantidades de RCD generadas de cada fracción, los impactos totales y los impactos desglosados por fracciones de RCD e indicador. Las tablas 6.3-6.10 indican los resultados obtenidos según la *Opción 1* y las tablas 6.11-6.18, los obtenidos según la *Opción 2*. Las figuras 6.1-6.16 muestran la relación entre los distintos escenarios para las *Opciones 1 y 2*.

6.3.1. Resultados obtenidos para cada obra según la Opción 1

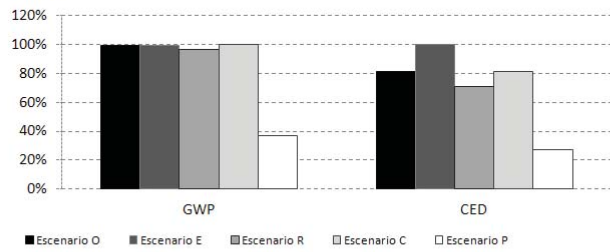
Obra 1



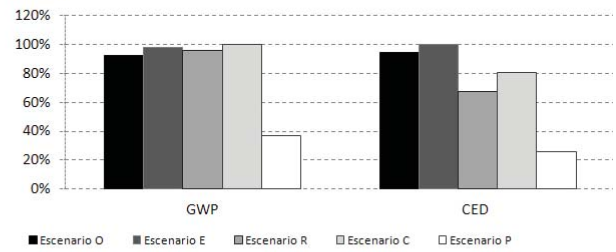
Obra 5



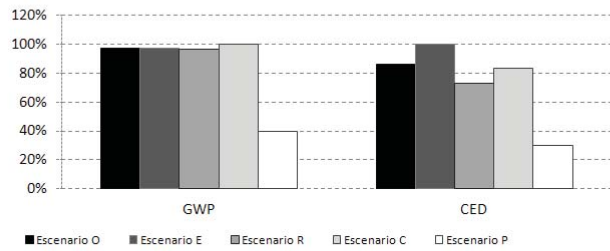
Obra 2



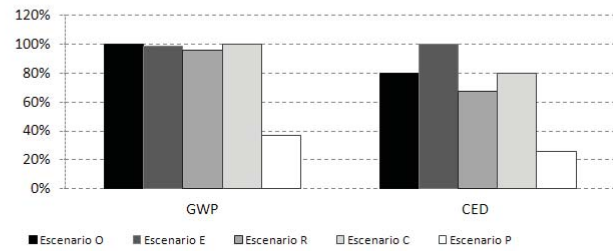
Obra 6



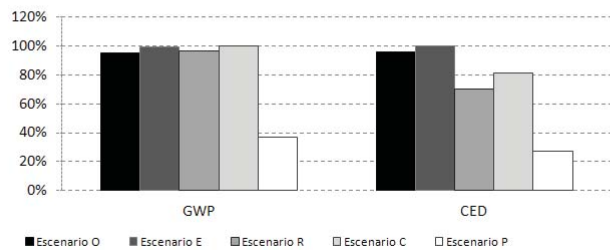
Obra 3



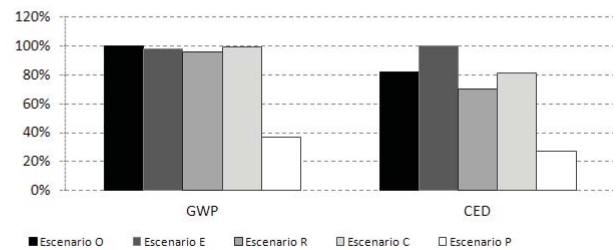
Obra 7



Obra 4



Obra 8



Figuras 6.1-6.8: Resultados para cada obra según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 1.

Obra 1		Escenario O*	Escenario E*	Escenario R*	Escenario C*	Escenario P*
Cuantificación	170101 Hormigón	t E 4.04E+02	t E 4.04E+02	t R 4.04E+02	t RC 4.04E+02	t R 1.60E+02
	17010203 Cerámicos	E 1.97E+02	E 1.97E+02	R 1.97E+02	RC 1.97E+02	R 7.81E+01
	170106 Mezcla hor. y cerám.	RC 1.05E+02	E 1.05E+02	R 1.05E+02	RC 1.05E+02	R 4.17E+01
	170201 Madera	E 4.94E+00	E 4.94E+00	E 4.94E+00	RC 4.94E+00	R 1.96E+00
	170203 Plástico	EC 3.00E-01	E 3.00E-01	R 3.00E-01	EC 3.00E-01	E 1.00E-02
	170401 Cobre, bronce, latón	R 4.20E-01	E 4.20E-01	R 4.20E-01	RC 4.20E-01	R 1.60E-01
	170402 Aluminio	R 2.70E-01	E 2.70E-01	R 2.70E-01	RC 2.70E-01	R 1.10E-01
	170405 Hierro y acero	R 2.68E+00	E 2.68E+00	R 2.68E+00	RC 2.68E+00	R 1.06E+00
	170802 Mat. a partir de yeso	EC 9.22E+00	E 9.22E+00	R 9.22E+00	EC 9.22E+00	R 3.65E+00
	170904 Residuos mezclados	EC 4.22E+01	E 4.22E+01	E 4.22E+01	EC 4.22E+01	E 1.67E+01
	150101 Env. papel y cartón	RC 5.69E+00	E 5.69E+00	R 5.69E+00	RC 5.69E+00	R 2.25E+00
	150102 Envases de plástico	EC 6.85E+00	E 6.85E+00	R 6.85E+00	EC 6.85E+00	R 2.72E+00
	150106 Envases mezclados	EC 5.01E+00	E 5.01E+00	E 5.01E+00	EC 5.01E+00	E 1.98E+00
	Total	7.84E+02	7.84E+02	7.84E+02	7.84E+02	3.10E+02
Impactos según GWP	170101 Hormigón	GWP kg CO2 eq 4.80E+04	GWP kg CO2 eq 4.80E+04	GWP kg CO2 eq 4.66E+04	GWP kg CO2 eq 4.70E+04	GWP kg CO2 eq 1.84E+04
	17010203 Cerámicos	4.25E+04	4.25E+04	4.19E+04	4.21E+04	1.66E+04
	170106 Mezcla hor. y cerám.	1.57E+04	1.59E+04	1.55E+04	1.57E+04	6.15E+03
	170201 Madera	-3.04E+03	-3.04E+03	3.71E+02	3.85E+02	1.47E+02
	170203 Plástico	9.01E+02	9.00E+02	9.00E+02	9.01E+02	3.00E+01
	170401 Cobre, bronce, latón	6.85E+02	7.20E+02	6.85E+02	6.86E+02	2.61E+02
	170402 Aluminio	-5.56E+02	2.19E+03	-5.56E+02	-5.55E+02	-2.26E+02
	170405 Hierro y acero	8.04E+02	3.85E+03	8.04E+02	8.04E+02	3.18E+02
	170802 Mat. a partir de yeso	3.98E+03	3.97E+03	4.87E+03	3.98E+03	1.93E+03
	170904 Residuos mezclados	8.00E+03	7.94E+03	7.94E+03	8.00E+03	3.14E+03
	150101 Env. papel y cartón	1.82E+04	1.26E+04	1.82E+04	1.82E+04	7.20E+03
	150102 Envases de plástico	1.80E+04	1.80E+04	1.26E+04	1.80E+04	5.00E+03
	150106 Envases mezclados	9.50E+02	9.42E+02	9.42E+02	9.50E+02	3.72E+02
	Total	1.54E+05	1.54E+05	1.51E+05	1.56E+05	5.94E+04
Impactos según CED	170101 Hormigón	CED MJ eq 2.44E+05	CED MJ eq 2.44E+05	CED MJ eq 2.21E+05	CED MJ eq 2.28E+05	CED MJ eq 8.74E+04
	17010203 Cerámicos	5.44E+05	5.44E+05	5.34E+05	5.37E+05	2.11E+05
	170106 Mezcla hor. y cerám.	1.33E+05	1.37E+05	1.31E+05	1.33E+05	5.20E+04
	170201 Madera	2.03E+05	2.03E+05	1.28E+05	1.28E+05	5.08E+04
	170203 Plástico	2.40E+04	2.40E+04	2.40E+04	2.40E+04	8.00E+02
	170401 Cobre, bronce, latón	1.09E+04	1.30E+04	1.09E+04	1.09E+04	4.14E+03
	170402 Aluminio	-7.99E+03	3.54E+04	-7.99E+03	-7.99E+03	-3.26E+03
	170405 Hierro y acero	2.36E+04	5.98E+04	2.36E+04	2.39E+04	9.33E+03
	170802 Mat. a partir de yeso	5.25E+04	5.23E+04	2.74E+04	5.25E+04	1.08E+04
	170904 Residuos mezclados	1.30E+05	1.29E+05	1.29E+05	1.30E+05	5.11E+04
	150101 Env. papel y cartón	-8.48E+04	1.37E+05	-8.54E+04	-8.48E+04	-3.38E+04
	150102 Envases de plástico	6.31E+05	6.31E+05	4.31E+05	6.31E+05	1.71E+05
	150106 Envases mezclados	1.54E+04	1.53E+04	1.53E+04	1.54E+04	6.06E+03
	Total	1.92E+06	2.23E+06	1.58E+06	1.82E+06	6.18E+05

Tabla 6.4. Obra 1: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 1.

Obra 2		Escenario O*	Escenario E*	Escenario R*	Escenario C*	Escenario P*
Cuantificación	170101 Hormigón	R 5.55E+02	E 5.55E+02	R 5.55E+02	RC 5.55E+02	R 2.13E+02
	17010203 Cerámicos	R 2.57E+02	E 2.57E+02	R 2.57E+02	RC 2.57E+02	R 9.88E+01
	170106 Mezcla hor. y cerám.	RC 1.48E+02	E 1.48E+02	R 1.48E+02	RC 1.48E+02	R 5.70E+01
	170201 Madera	RC 6.27E+00	E 6.27E+00	E 6.27E+00	RC 6.27E+00	R 2.41E+00
	170203 Plástico	EC 3.80E-01	E 3.80E-01	R 3.80E-01	EC 3.80E-01	E 1.50E-01
	170401 Cobre, bronce, latón	R 5.30E-01	E 5.30E-01	R 5.30E-01	RC 5.30E-01	R 2.00E-01
	170402 Aluminio	R 4.10E-01	E 4.10E-01	R 4.10E-01	RC 4.10E-01	R 1.60E-01
	170405 Hierro y acero	R 3.40E+00	E 3.40E+00	R 3.40E+00	RC 3.40E+00	R 1.31E+00
	170802 Mat. a partir de yeso	E 1.17E+01	E 1.17E+01	R 1.17E+01	EC 1.17E+01	R 4.49E+00
	170904 Residuos mezclados	EC 6.04E+01	E 6.04E+01	E 6.04E+01	EC 6.04E+01	E 2.32E+01
	150101 Env. papel y cartón	RC 7.58E+00	E 7.58E+00	R 7.58E+00	RC 7.58E+00	E 2.92E+00
	150102 Envases de plástico	EC 8.69E+00	E 8.69E+00	R 8.69E+00	EC 8.69E+00	R 3.34E+00
	150106 Envases mezclados	EC 6.35E+00	E 6.35E+00	E 6.35E+00	EC 6.35E+00	E 2.44E+00
	Total	1.07E+03	1.07E+03	1.07E+03	1.07E+03	4.10E+02
Impactos según GWP		GWP kg CO2 eq	GWP kg CO2 eq	GWP kg CO2 eq	GWP kg CO2 eq	GWP kg CO2 eq
	170101 Hormigón	6.40E+04	6.59E+04	6.40E+04	6.46E+04	2.46E+04
	17010203 Cerámicos	5.46E+04	5.54E+04	5.46E+04	5.49E+04	2.10E+04
	170106 Mezcla hor. y cerám.	2.21E+04	2.24E+04	2.19E+04	2.21E+04	8.41E+03
	170201 Madera	4.89E+02	-3.86E+03	4.70E+02	4.89E+02	1.81E+02
	170203 Plástico	1.14E+03	1.14E+03	1.14E+03	1.14E+03	4.50E+02
	170401 Cobre, bronce, latón	8.65E+02	9.09E+02	8.65E+02	8.66E+02	3.26E+02
	170402 Aluminio	-8.44E+02	3.32E+03	-8.44E+02	-8.43E+02	-3.29E+02
	170405 Hierro y acero	1.02E+03	4.88E+03	1.02E+03	1.02E+03	3.93E+02
	170802 Mat. a partir de yeso	5.03E+03	5.03E+03	6.17E+03	5.05E+03	2.37E+03
	170904 Residuos mezclados	1.15E+04	1.14E+04	1.14E+04	1.15E+04	4.37E+03
	150101 Env. papel y cartón	2.43E+04	1.68E+04	2.43E+04	2.43E+04	9.35E+03
	150102 Envases de plástico	2.29E+04	2.29E+04	1.60E+04	2.29E+04	6.14E+03
	150106 Envases mezclados	1.20E+03	1.19E+03	1.19E+03	1.20E+03	4.59E+02
Total	2.08E+05	2.07E+05	2.02E+05	2.09E+05	7.77E+04	
Impactos según CED		CED MJ eq	CED MJ eq	CED MJ eq	CED MJ eq	CED MJ eq
	170101 Hormigón	3.03E+05	3.35E+05	3.03E+05	3.14E+05	1.17E+05
	17010203 Cerámicos	6.95E+05	7.09E+05	6.95E+05	7.00E+05	2.67E+05
	170106 Mezcla hor. y cerám.	1.88E+05	1.93E+05	1.85E+05	1.88E+05	7.12E+04
	170201 Madera	1.62E+05	2.58E+05	1.62E+05	1.62E+05	6.24E+04
	170203 Plástico	3.04E+04	3.04E+04	3.04E+04	3.04E+04	1.20E+04
	170401 Cobre, bronce, latón	1.37E+04	1.64E+04	1.37E+04	1.37E+04	5.17E+03
	170402 Aluminio	-1.21E+04	5.38E+04	-1.21E+04	-1.21E+04	-4.74E+03
	170405 Hierro y acero	2.99E+04	7.58E+04	2.99E+04	3.03E+04	1.15E+04
	170802 Mat. a partir de yeso	6.63E+04	6.63E+04	3.47E+04	6.66E+04	1.33E+04
	170904 Residuos mezclados	1.86E+05	1.85E+05	1.85E+05	1.86E+05	7.10E+04
	150101 Env. papel y cartón	-1.13E+05	1.83E+05	-1.14E+05	-1.13E+05	-4.38E+04
	150102 Envases de plástico	8.01E+05	8.01E+05	5.47E+05	8.01E+05	2.10E+05
	150106 Envases mezclados	1.96E+04	1.94E+04	1.94E+04	1.96E+04	7.46E+03
Total	2.37E+06	2.93E+06	2.08E+06	2.39E+06	7.99E+05	

Tabla 6.5. Obra 2: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 1.

Obra 3		Escenario O*	Escenario E*	Escenario R*	Escenario C*	Escenario P*
Cuantificación	170101 Hormigón	R 7.20E+02	E 7.20E+02	R 7.20E+02	RC 7.20E+02	R 2.93E+02
	170102,03 Cerámicos	R 3.87E+02	E 3.87E+02	R 3.87E+02	RC 3.87E+02	R 1.57E+02
	170106 Mezcla hor. y cerám.	RC 1.81E+02	E 1.81E+02	R 1.81E+02	RC 1.81E+02	R 7.36E+01
	170201 Madera	E 8.50E+00	E 8.50E+00	E 8.50E+00	RC 8.50E+00	R 3.46E+00
	170203 Plástico	EC 6.00E-02	E 6.00E-02	R 6.00E-02	EC 6.00E-02	E 2.10E-01
	170401 Cobre, bronce, latón	R 7.20E-01	E 7.20E-01	R 7.20E-01	RC 7.20E-01	R 2.90E-01
	170402 Aluminio	R 4.60E-02	E 4.60E-02	R 4.60E-02	RC 4.60E-02	R 1.90E-01
	170405 Hierro y acero	R 4.60E+00	E 4.60E+00	R 4.60E+00	RC 4.60E+00	R 1.87E+00
	170802 Mat. a partir de yeso	EC 1.58E+01	E 1.58E+01	R 1.58E+01	EC 1.58E+01	R 6.44E+00
	170904 Residuos mezclados	E 7.18E+01	E 7.18E+01	E 7.18E+01	EC 7.18E+01	E 2.92E+01
	150101 Env. papel y cartón	EC 9.98E+00	E 9.98E+00	R 9.98E+00	RC 9.98E+00	R 4.06E+00
	150102 Envases de plástico	EC 1.18E+01	E 1.18E+01	R 1.18E+01	EC 1.18E+01	R 4.79E+00
	150106 Envases mezclados	EC 8.61E+00	E 8.61E+00	E 8.61E+00	EC 8.61E+00	E 3.50E+00
	Total	1.42E+03	1.42E+03	1.42E+03	1.42E+03	5.78E+02
	Impactos según GWP	170101 Hormigón	8.30E+04	8.55E+04	8.30E+04	8.39E+04
170102,03 Cerámicos		8.22E+04	8.35E+04	8.22E+04	8.27E+04	3.34E+04
170106 Mezcla hor. y cerám.		2.69E+04	2.73E+04	2.67E+04	2.69E+04	1.09E+04
170201 Madera		-5.24E+03	-5.24E+03	6.38E+02	6.63E+02	2.60E+02
170203 Plástico		1.80E+02	1.80E+02	1.80E+02	1.80E+02	6.30E+02
170401 Cobre, bronce, latón		1.18E+03	1.23E+03	1.18E+03	1.18E+03	4.73E+02
170402 Aluminio		-9.47E+01	3.72E+02	-9.47E+01	-9.46E+01	-3.91E+02
170405 Hierro y acero		1.38E+03	6.61E+03	1.38E+03	1.38E+03	5.61E+02
170802 Mat. a partir de yeso		6.84E+03	6.82E+03	8.36E+03	6.84E+03	3.40E+03
170904 Residuos mezclados		1.35E+04	1.35E+04	1.35E+04	1.36E+04	5.49E+03
150101 Env. papel y cartón		3.20E+04	2.21E+04	3.20E+04	3.20E+04	1.30E+04
150102 Envases de plástico		3.10E+04	3.10E+04	2.17E+04	3.10E+04	8.80E+03
150106 Envases mezclados		1.63E+03	1.62E+03	1.62E+03	1.63E+03	6.58E+02
Total		2.75E+05	2.74E+05	2.72E+05	2.82E+05	1.11E+05
Impactos según CED		170101 Hormigón	3.93E+05	4.35E+05	3.93E+05	4.07E+05
	170102,03 Cerámicos	1.05E+06	1.07E+06	1.05E+06	1.06E+06	4.26E+05
	170106 Mezcla hor. y cerám.	2.29E+05	2.35E+05	2.26E+05	2.29E+05	9.19E+04
	170201 Madera	3.50E+05	3.50E+05	2.20E+05	2.20E+05	8.96E+04
	170203 Plástico	4.80E+03	4.80E+03	4.80E+03	4.80E+03	1.68E+04
	170401 Cobre, bronce, latón	1.86E+04	2.23E+04	1.86E+04	1.86E+04	7.50E+03
	170402 Aluminio	-1.36E+03	6.04E+03	-1.36E+03	-1.36E+03	-5.62E+03
	170405 Hierro y acero	4.05E+04	1.03E+05	4.05E+04	4.09E+04	1.65E+04
	170802 Mat. a partir de yeso	9.02E+04	8.98E+04	4.70E+04	9.02E+04	1.91E+04
	170904 Residuos mezclados	2.20E+05	2.20E+05	2.20E+05	2.21E+05	8.93E+04
	150101 Env. papel y cartón	-1.49E+05	2.41E+05	-1.50E+05	-1.49E+05	-6.09E+04
	150102 Envases de plástico	1.09E+06	1.09E+06	7.41E+05	1.09E+06	3.01E+05
	150106 Envases mezclados	2.65E+04	2.63E+04	2.63E+04	2.65E+04	1.07E+04
	Total	3.36E+06	3.89E+06	2.83E+06	3.25E+06	1.16E+06

Tabla 6.6. Obra 3: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 1.

Obra 4

	Escenario O*	Escenario E*	Escenario R*	Escenario C*	Escenario P*	
Cuantificación	t	t	t	t	t	
	170101 Hormigón	E 5.43E+02	E 5.43E+02	R 5.43E+02	RC 5.43E+02	R 2.09E+02
	170102 Cerámicos	E 2.20E+02	E 2.20E+02	R 2.20E+02	RC 2.20E+02	R 8.47E+01
	170106 Mezcla hor. y cerám.	E 1.53E+02	E 1.53E+02	R 1.53E+02	RC 1.53E+02	R 5.89E+01
	170201 Madera	E 6.48E+00	E 6.48E+00	E 6.48E+00	RC 6.48E+00	R 2.49E+00
	170203 Plástico	E 3.90E-01	E 3.90E-01	R 3.90E-01	EC 3.90E-01	E 1.50E-01
	170401 Cobre, bronce, latón	R 5.50E-01	E 5.50E-01	R 5.50E-01	RC 5.50E-01	R 2.10E-01
	170402 Aluminio	R 4.30E-01	E 4.30E-01	R 4.30E-01	RC 4.30E-01	R 1.60E-01
	170405 Hierro y acero	R 3.51E+00	E 3.51E+00	R 3.51E+00	RC 3.51E+00	R 1.35E+00
	170802 Mat. a partir de yeso	E 1.21E+01	E 1.21E+01	R 1.21E+01	EC 1.21E+01	R 4.64E+00
	170904 Residuos mezclados	E 5.48E+01	E 5.48E+01	E 5.48E+01	EC 5.48E+01	E 2.11E+01
	150101 Env. papel y cartón	E 7.39E+00	E 7.39E+00	R 7.39E+00	RC 7.39E+00	R 2.84E+00
	150102 Envases de plástico	E 8.99E+00	E 8.99E+00	R 8.99E+00	EC 8.99E+00	R 3.45E+00
	150106 Envases mezclados	E 6.57E+00	E 6.57E+00	E 6.57E+00	EC 6.57E+00	E 2.52E+00
Total	1.02E+03	1.02E+03	1.02E+03	1.02E+03	3.91E+02	
Impactos según GWP	GWP <i>kg CO2 eq</i>	GWP <i>kg CO2 eq</i>	GWP <i>kg CO2 eq</i>	GWP <i>kg CO2 eq</i>	GWP <i>kg CO2 eq</i>	
	170101 Hormigón	6.45E+04	6.45E+04	6.26E+04	6.32E+04	2.41E+04
	170102 Cerámicos	4.75E+04	4.75E+04	4.68E+04	4.70E+04	1.80E+04
	170106 Mezcla hor. y cerám.	2.31E+04	2.31E+04	2.26E+04	2.28E+04	8.70E+03
	170201 Madera	-3.99E+03	-3.99E+03	4.86E+02	5.05E+02	1.87E+02
	170203 Plástico	1.17E+03	1.17E+03	1.17E+03	1.17E+03	4.50E+02
	170401 Cobre, bronce, latón	8.98E+02	9.43E+02	8.98E+02	8.98E+02	3.43E+02
	170402 Aluminio	-8.85E+02	3.48E+03	-8.85E+02	-8.85E+02	-3.29E+02
	170405 Hierro y acero	1.05E+03	5.04E+03	1.05E+03	1.05E+03	4.05E+02
	170802 Mat. a partir de yeso	5.20E+03	5.20E+03	6.38E+03	5.22E+03	2.45E+03
	170904 Residuos mezclados	1.03E+04	1.03E+04	1.03E+04	1.04E+04	3.96E+03
	150101 Env. papel y cartón	1.63E+04	1.63E+04	2.37E+04	2.37E+04	9.09E+03
	150102 Envases de plástico	2.37E+04	2.37E+04	1.65E+04	2.37E+04	6.34E+03
	150106 Envases mezclados	1.24E+03	1.24E+03	1.24E+03	1.25E+03	4.74E+02
Total	1.90E+05	1.98E+05	1.93E+05	2.00E+05	7.41E+04	
Impactos según CED	CED <i>MJ eq</i>	CED <i>MJ eq</i>	CED <i>MJ eq</i>	CED <i>MJ eq</i>	CED <i>MJ eq</i>	
	170101 Hormigón	3.28E+05	3.28E+05	2.97E+05	3.07E+05	1.14E+05
	170102 Cerámicos	6.08E+05	6.08E+05	5.96E+05	6.00E+05	2.29E+05
	170106 Mezcla hor. y cerám.	2.00E+05	2.00E+05	1.91E+05	1.94E+05	7.36E+04
	170201 Madera	2.67E+05	2.67E+05	1.68E+05	1.68E+05	6.45E+04
	170203 Plástico	3.12E+04	3.12E+04	3.12E+04	3.12E+04	1.20E+04
	170401 Cobre, bronce, latón	1.42E+04	1.70E+04	1.42E+04	1.42E+04	5.43E+03
	170402 Aluminio	-1.27E+04	5.64E+04	-1.27E+04	-1.27E+04	-4.74E+03
	170405 Hierro y acero	3.09E+04	7.83E+04	3.09E+04	3.12E+04	1.19E+04
	170802 Mat. a partir de yeso	6.85E+04	6.85E+04	3.59E+04	6.88E+04	1.38E+04
	170904 Residuos mezclados	1.68E+05	1.68E+05	1.68E+05	1.69E+05	6.44E+04
	150101 Env. papel y cartón	1.78E+05	1.78E+05	-1.11E+05	-1.10E+05	-4.26E+04
	150102 Envases de plástico	8.28E+05	8.28E+05	5.65E+05	8.29E+05	2.17E+05
	150106 Envases mezclados	2.01E+04	2.01E+04	2.01E+04	2.03E+04	7.71E+03
Total	2.73E+06	2.85E+06	1.99E+06	2.31E+06	7.66E+05	

Tabla 6.7. Obra 4: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 1.

Obra 5		Escenario O*	Escenario E*	Escenario R*	Escenario C*	Escenario P*
Cuantificación	170101 Hormigón	RC 9.30E+02	E 9.30E+02	R 9.30E+02	RC 9.30E+02	R 3.69E+02
	170102,03 Cerámicos	RC 2.43E+02	E 2.43E+02	R 2.43E+02	RC 2.43E+02	R 9.63E+01
	170106 Mezcla hor. y cerám.	RC 2.30E+02	E 2.30E+02	R 2.30E+02	RC 2.30E+02	R 9.12E+01
	170201 Madera	RC 9.73E+00	E 9.73E+00	E 9.73E+00	RC 9.73E+00	R 3.86E+00
	170203 Plástico	EC 5.90E-01	E 5.90E-01	R 5.90E-01	EC 5.90E-01	E 2.30E-01
	170401 Cobre, bronce, latón	RC 8.20E-01	E 8.20E-01	R 8.20E-01	RC 8.20E-01	R 3.20E-01
	170402 Aluminio	RC 5.30E-01	E 5.30E-01	R 5.30E-01	RC 5.30E-01	R 2.10E-01
	170405 Hierro y acero	RC 5.27E+00	E 5.27E+00	R 5.27E+00	RC 5.27E+00	R 2.09E+00
	170802 Mat. a partir de yeso	EC 1.81E+01	E 1.81E+01	R 1.81E+01	EC 1.81E+01	R 7.19E+00
	170904 Residuos mezclados	EC 8.87E+01	E 8.87E+01	E 8.87E+01	EC 8.87E+01	E 3.51E+01
	150101 Env. papel y cartón	RC 1.55E+01	E 1.55E+01	R 1.55E+01	RC 1.55E+01	R 6.13E+00
	150102 Envases de plástico	EC 1.69E+01	E 1.69E+01	R 1.69E+01	EC 1.69E+01	R 6.68E+00
	150106 Envases mezclados	EC 9.86E+00	E 9.86E+00	E 9.86E+00	EC 9.86E+00	E 3.91E+00
	Total	1.57E+03	1.57E+03	1.57E+03	1.57E+03	6.22E+02
Impactos según GWP	170101 Hormigón	1.08E+05	1.10E+05	1.07E+05	1.08E+05	4.25E+04
	170102,03 Cerámicos	5.19E+04	5.24E+04	5.16E+04	5.19E+04	2.04E+04
	170106 Mezcla hor. y cerám.	3.42E+04	3.47E+04	3.40E+04	3.42E+04	1.35E+04
	170201 Madera	7.59E+02	-6.00E+03	7.30E+02	7.59E+02	2.90E+02
	170203 Plástico	4.91E+01	1.77E+03	1.77E+03	1.77E+03	6.90E+02
	170401 Cobre, bronce, latón	1.34E+03	1.41E+03	1.34E+03	1.34E+03	5.22E+02
	170402 Aluminio	-1.09E+03	4.29E+03	-1.09E+03	-1.09E+03	-4.32E+02
	170405 Hierro y acero	1.58E+03	7.57E+03	1.58E+03	1.58E+03	6.27E+02
	170802 Mat. a partir de yeso	7.83E+03	7.81E+03	9.58E+03	7.83E+03	3.80E+03
	170904 Residuos mezclados	5.87E+02	1.67E+04	1.67E+04	1.68E+04	6.61E+03
	150101 Env. papel y cartón	4.95E+04	3.42E+04	4.95E+04	4.95E+04	1.96E+04
	150102 Envases de plástico	4.44E+04	4.44E+04	3.10E+04	4.44E+04	1.23E+04
	150106 Envases mezclados	6.53E+01	1.85E+03	1.85E+03	1.87E+03	7.36E+02
	Total	3.00E+05	3.12E+05	3.06E+05	3.19E+05	1.21E+05
Impactos según CED	170101 Hormigón	5.26E+05	5.61E+05	5.08E+05	5.26E+05	2.01E+05
	170102,03 Cerámicos	6.62E+05	6.71E+05	6.58E+05	6.62E+05	2.60E+05
	170106 Mezcla hor. y cerám.	2.92E+05	3.00E+05	2.87E+05	2.92E+05	1.14E+05
	170201 Madera	2.52E+05	4.01E+05	2.52E+05	2.52E+05	1.00E+05
	170203 Plástico	9.91E+01	4.72E+04	4.72E+04	4.72E+04	1.84E+04
	170401 Cobre, bronce, latón	2.12E+04	2.54E+04	2.12E+04	2.12E+04	8.28E+03
	170402 Aluminio	-1.57E+04	6.96E+04	-1.57E+04	-1.57E+04	-6.22E+03
	170405 Hierro y acero	4.69E+04	1.18E+05	4.64E+04	4.69E+04	1.84E+04
	170802 Mat. a partir de yeso	1.03E+05	1.03E+05	5.39E+04	1.03E+05	2.14E+04
	170904 Residuos mezclados	9.14E+03	2.71E+05	2.71E+05	2.74E+05	1.07E+05
	150101 Env. papel y cartón	-2.31E+05	3.73E+05	-2.32E+05	-2.31E+05	-9.20E+04
	150102 Envases de plástico	1.55E+06	1.55E+06	1.06E+06	1.55E+06	4.20E+05
	150106 Envases mezclados	1.02E+03	3.02E+04	3.02E+04	3.04E+04	1.20E+04
	Total	3.22E+06	4.52E+06	2.99E+06	3.56E+06	1.18E+06

Tabla 6.8. Obra 5: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 1.

Obra 6		Escenario O*	Escenario E*	Escenario R*	Escenario C*	Escenario P*
Cuantificación	170101 Hormigón	R 1.37E+03	E 1.37E+03	R 1.37E+03	RC 1.37E+03	R 5.26E+02
	170102,03 Cerámicos	R 3.34E+02	E 3.34E+02	R 3.34E+02	RC 3.34E+02	R 1.28E+02
	170106 Mezcla hor. y cerám.	R 3.65E+02	E 3.65E+02	R 3.65E+02	RC 3.65E+02	R 1.40E+02
	170201 Madera	E 1.54E+01	E 1.54E+01	E 1.54E+01	RC 1.54E+01	E 5.93E+00
	170203 Plástico	E 9.30E-01	E 9.30E-01	R 9.30E-01	EC 9.30E-01	R 3.50E-01
	170401 Cobre, bronce, latón	R 1.30E+00	E 1.30E+00	R 1.30E+00	RC 1.30E+00	R 5.00E-01
	170402 Aluminio	R 8.40E-01	E 8.40E-01	R 8.40E-01	RC 8.40E-01	R 3.20E-01
	170405 Hierro y acero	R 8.35E+00	E 8.35E+00	R 8.35E+00	RC 8.35E+00	R 3.21E+00
	170802 Mat. a partir de yeso	E 2.88E+01	E 2.88E+01	R 2.88E+01	EC 2.88E+01	R 1.11E+01
	170904 Residuos mezclados	E 2.34E+02	E 2.34E+02	E 2.34E+02	EC 2.34E+02	E 8.99E+00
	150101 Env. papel y cartón	E 2.20E+01	E 2.20E+01	R 2.20E+01	RC 2.20E+01	R 8.45E+00
	150102 Envases de plástico	E 2.67E+01	E 2.67E+01	R 2.67E+01	EC 2.67E+01	R 1.03E+01
	150106 Envases mezclados	E 1.56E+01	E 1.56E+01	E 1.56E+01	EC 1.56E+01	E 6.01E+00
	Total	2.42E+03	2.42E+03	2.42E+03	2.42E+03	9.31E+02
Impactos según GWP	170101 Hormigón	1.58E+05	1.63E+05	1.58E+05	1.59E+05	6.06E+04
	170102,03 Cerámicos	7.09E+04	7.20E+04	7.09E+04	7.13E+04	2.73E+04
	170106 Mezcla hor. y cerám.	5.38E+04	5.50E+04	5.38E+04	5.43E+04	2.07E+04
	170201 Madera	-9.50E+03	-9.50E+03	1.16E+03	1.20E+03	4.45E+02
	170203 Plástico	2.79E+03	2.79E+03	2.79E+03	2.79E+03	1.05E+03
	170401 Cobre, bronce, latón	2.12E+03	2.23E+03	2.12E+03	2.12E+03	8.16E+02
	170402 Aluminio	-1.73E+03	6.80E+03	-1.73E+03	-1.73E+03	-6.59E+02
	170405 Hierro y acero	2.51E+03	1.20E+04	2.51E+03	2.51E+03	9.63E+02
	170802 Mat. a partir de yeso	1.24E+04	1.24E+04	1.52E+04	1.24E+04	5.83E+03
	170904 Residuos mezclados	4.40E+04	4.40E+04	4.40E+04	4.43E+04	1.69E+04
	150101 Env. papel y cartón	4.86E+04	4.86E+04	7.04E+04	7.04E+04	2.71E+04
	150102 Envases de plástico	7.03E+04	7.03E+04	4.91E+04	7.04E+04	1.89E+04
	150106 Envases mezclados	2.94E+03	2.94E+03	2.94E+03	2.96E+03	1.13E+03
	Total	4.57E+05	4.82E+05	4.71E+05	4.92E+05	1.81E+05
Impactos según CED	170101 Hormigón	7.47E+05	8.26E+05	7.47E+05	7.74E+05	2.87E+05
	170102,03 Cerámicos	9.03E+05	9.22E+05	9.03E+05	9.10E+05	3.47E+05
	170106 Mezcla hor. y cerám.	4.55E+05	4.75E+05	4.55E+05	4.62E+05	1.75E+05
	170201 Madera	6.35E+05	6.35E+05	3.99E+05	3.99E+05	1.54E+05
	170203 Plástico	7.44E+04	7.44E+04	7.44E+04	7.45E+04	2.80E+04
	170401 Cobre, bronce, latón	3.36E+04	4.02E+04	3.36E+04	3.36E+04	1.29E+04
	170402 Aluminio	-2.49E+04	1.10E+05	-2.49E+04	-2.48E+04	-9.47E+03
	170405 Hierro y acero	7.35E+04	1.86E+05	7.35E+04	7.43E+04	2.82E+04
	170802 Mat. a partir de yeso	1.63E+05	1.63E+05	8.54E+04	1.64E+05	3.28E+04
	170904 Residuos mezclados	7.15E+05	7.15E+05	7.15E+05	7.21E+05	2.75E+05
	150101 Env. papel y cartón	5.31E+05	5.31E+05	-3.30E+05	-3.28E+05	-1.27E+05
	150102 Envases de plástico	2.46E+06	2.46E+06	1.68E+06	2.46E+06	6.46E+05
	150106 Envases mezclados	4.78E+04	4.78E+04	4.78E+04	4.82E+04	1.84E+04
	Total	6.82E+06	7.19E+06	4.86E+06	5.77E+06	1.87E+06

Tabla 6.9. Obra 6: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 1.

Obra 7

		Escenario O*	Escenario E*	Escenario R*	Escenario C*	Escenario P*
Cuantificación	170101 Hormigón	t RC 4.17E+02	t E 4.17E+02	t R 4.17E+02	t RC 4.17E+02	t R 1.60E+02
	17010203 Cerámicos	RC 1.08E+02	E 1.08E+02	R 1.08E+02	RC 1.08E+02	R 4.15E+01
	170106 Mezcla hor. y cerám.	RC 1.13E+02	E 1.13E+02	R 1.13E+02	RC 1.13E+02	R 4.34E+01
	170201 Madera	RC 4.78E+00	E 4.78E+00	E 4.78E+00	RC 4.78E+00	E 1.84E+00
	170203 Plástico	EC 2.80E-01	E 2.80E-01	R 2.80E-01	EC 2.80E-01	R 1.10E-01
	170401 Cobre, bronce, latón	RC 4.00E-01	E 4.00E-01	R 4.00E-01	RC 4.00E-01	R 1.50E-01
	170402 Aluminio	RC 3.10E-01	E 3.10E-01	R 3.10E-01	RC 3.10E-01	R 1.20E-01
	170405 Hierro y acero	RC 2.59E+00	E 2.59E+00	R 2.59E+00	RC 2.59E+00	R 9.90E-01
	170802 Mat. a partir de yeso	EC 8.91E+00	E 8.91E+00	R 8.91E+00	EC 8.91E+00	R 3.42E+00
	170904 Residuos mezclados	EC 3.70E+01	E 3.70E+01	E 3.70E+01	EC 3.70E+01	E 1.42E+01
	150101 Env. papel y cartón	RC 5.51E+00	E 5.51E+00	R 5.51E+00	RC 5.51E+00	R 2.12E+00
	150102 Envases de plástico	EC 6.62E+00	E 6.62E+00	R 6.62E+00	EC 6.62E+00	R 2.55E+00
	150106 Envases mezclados	EC 4.84E+00	E 4.84E+00	E 4.84E+00	EC 4.84E+00	E 1.86E+00
	Total	7.10E+02	7.10E+02	7.10E+02	7.10E+02	2.73E+02
Impactos según GWP	170101 Hormigón	GWP kg CO2 eq 4.86E+04	GWP kg CO2 eq 4.96E+04	GWP kg CO2 eq 4.81E+04	GWP kg CO2 eq 4.86E+04	GWP kg CO2 eq 1.85E+04
	17010203 Cerámicos	2.30E+04	2.33E+04	2.29E+04	2.30E+04	8.81E+03
	170106 Mezcla hor. y cerám.	1.68E+04	1.70E+04	1.67E+04	1.68E+04	6.41E+03
	170201 Madera	3.73E+02	-2.95E+03	3.59E+02	3.73E+02	1.38E+02
	170203 Plástico	2.33E+01	8.40E+02	8.40E+02	8.41E+02	3.30E+02
	170401 Cobre, bronce, latón	6.53E+02	6.86E+02	6.53E+02	6.53E+02	2.45E+02
	170402 Aluminio	-6.38E+02	2.51E+03	-6.38E+02	-6.38E+02	-2.47E+02
	170405 Hierro y acero	7.77E+02	3.72E+03	7.77E+02	7.77E+02	2.97E+02
	170802 Mat. a partir de yeso	3.85E+03	3.83E+03	4.70E+03	3.85E+03	1.81E+03
	170904 Residuos mezclados	2.45E+02	6.97E+03	6.97E+03	7.02E+03	2.68E+03
	150101 Env. papel y cartón	1.76E+04	1.22E+04	1.76E+04	1.76E+04	6.79E+03
	150102 Envases de plástico	1.74E+04	1.74E+04	1.22E+04	1.74E+04	4.69E+03
	150106 Envases mezclados	3.20E+01	9.11E+02	9.11E+02	9.18E+02	3.50E+02
	Total	1.29E+05	1.36E+05	1.32E+05	1.37E+05	5.08E+04
Impactos según CED	170101 Hormigón	CED MJ eq 2.36E+05	CED MJ eq 2.52E+05	CED MJ eq 2.28E+05	CED MJ eq 2.36E+05	CED MJ eq 8.76E+04
	17010203 Cerámicos	2.94E+05	2.98E+05	2.92E+05	2.94E+05	1.12E+05
	170106 Mezcla hor. y cerám.	1.43E+05	1.47E+05	1.41E+05	1.43E+05	5.42E+04
	170201 Madera	1.24E+05	1.97E+05	1.24E+05	1.24E+05	4.77E+04
	170203 Plástico	4.70E+01	2.24E+04	2.24E+04	2.24E+04	8.80E+03
	170401 Cobre, bronce, latón	1.04E+04	1.24E+04	1.03E+04	1.04E+04	3.88E+03
	170402 Aluminio	-9.17E+03	4.07E+04	-9.18E+03	-9.17E+03	-3.55E+03
	170405 Hierro y acero	2.31E+04	5.78E+04	2.28E+04	2.31E+04	8.71E+03
	170802 Mat. a partir de yeso	5.08E+04	5.05E+04	2.65E+04	5.08E+04	1.02E+04
	170904 Residuos mezclados	3.82E+03	1.13E+05	1.13E+05	1.14E+05	4.35E+04
	150101 Env. papel y cartón	-8.21E+04	1.33E+05	-8.27E+04	-8.21E+04	-3.18E+04
	150102 Envases de plástico	6.10E+05	6.10E+05	4.16E+05	6.10E+05	1.60E+05
	150106 Envases mezclados	4.99E+02	1.48E+04	1.48E+04	1.49E+04	5.69E+03
	Total	1.40E+06	1.95E+06	1.32E+06	1.55E+06	5.07E+05

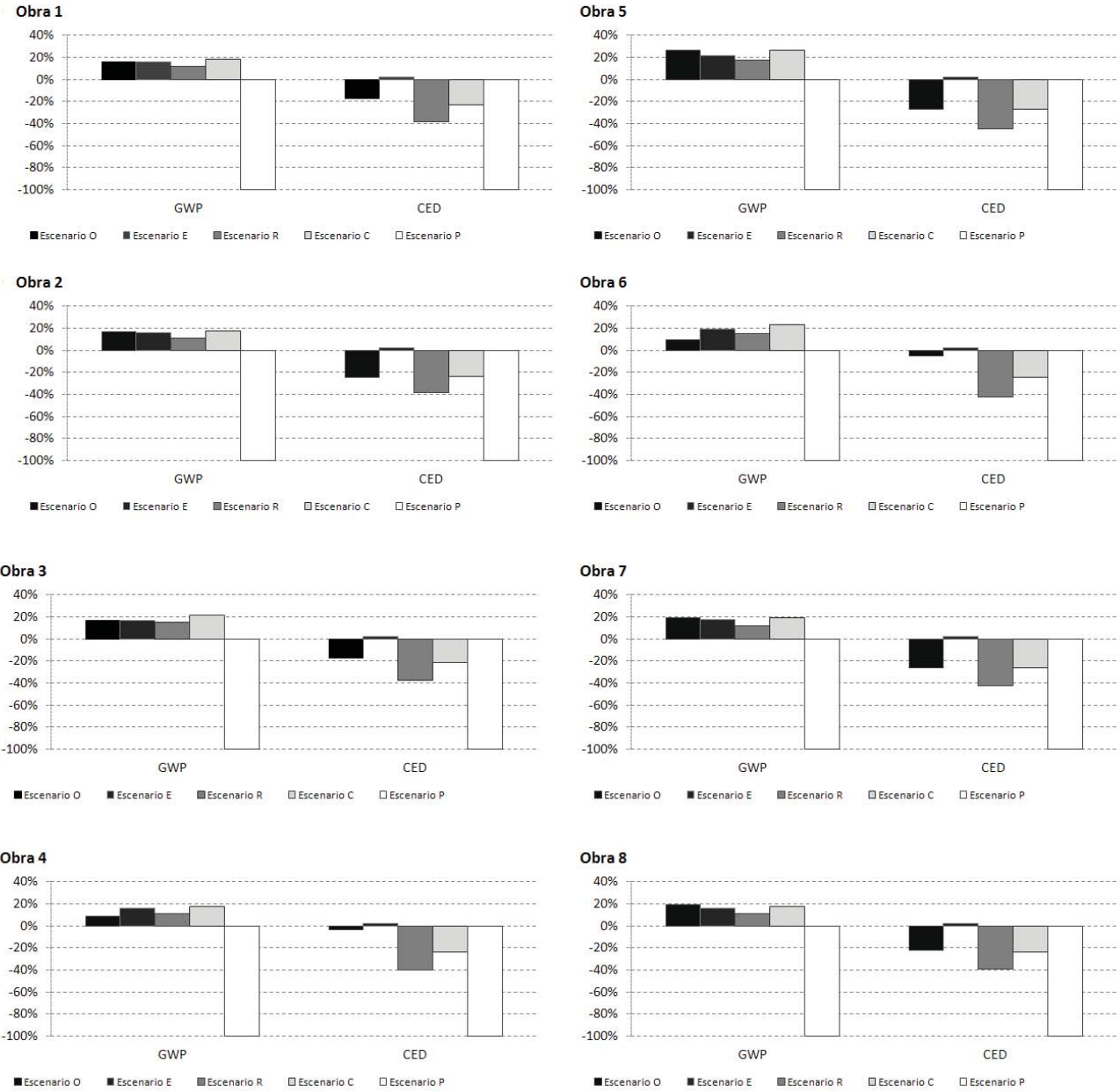
Tabla 6.10. Obra 7: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 1.

Obra 8

		Escenario O*	Escenario E*	Escenario R*	Escenario C*	Escenario P*
Cuantificación	170101 Hormigón	E 2.16E+02	E 2.16E+02	R 2.16E+02	RC 2.16E+02	R 8.30E+01
	17010203 Cerámicos	E 1.02E+02	E 1.02E+02	R 1.02E+02	RC 1.02E+02	R 3.93E+01
	170106 Mezcla hor. y cerám.	RC 6.42E+01	E 6.42E+01	R 6.42E+01	RC 6.42E+01	R 2.47E+01
	170201 Madera	RC 2.71E+00	E 2.71E+00	E 2.71E+00	RC 2.71E+00	E 1.04E+00
	170203 Plástico	EC 1.60E-01	E 1.60E-01	R 1.60E-01	EC 1.60E-01	R 7.00E-02
	170401 Cobre, bronce, latón	R 2.30E-01	E 2.30E-01	R 2.30E-01	RC 2.30E-01	R 9.00E-02
	170402 Aluminio	R 1.80E-01	E 1.80E-01	R 1.80E-01	RC 1.80E-01	R 7.00E-02
	170405 Hierro y acero	R 1.47E+00	E 1.47E+00	R 1.47E+00	RC 1.47E+00	R 5.60E-01
	170802 Mat. a partir de yeso	EC 5.06E+00	E 5.06E+00	R 5.06E+00	EC 5.06E+00	R 1.94E+00
	170904 Residuos mezclados	EC 2.50E+01	E 2.50E+01	E 2.50E+01	EC 2.50E+01	E 9.57E+00
	150101 Env. papel y cartón	RC 3.14E+00	E 3.14E+00	R 3.14E+00	RC 3.14E+00	R 1.21E+00
	150102 Envases de plástico	EC 3.76E+00	E 3.76E+00	R 3.76E+00	EC 3.76E+00	R 1.45E+00
	150106 Envases mezclados	EC 2.75E+00	E 2.75E+00	E 2.75E+00	EC 2.75E+00	E 1.06E+00
	Total	4.27E+02	4.27E+02	4.27E+02	4.27E+02	1.64E+02
Impactos según GWP	170101 Hormigón	2.56E+04	2.56E+04	2.49E+04	2.52E+04	9.57E+03
	17010203 Cerámicos	2.20E+04	2.20E+04	2.17E+04	2.18E+04	8.34E+03
	170106 Mezcla hor. y cerám.	9.55E+03	9.68E+03	9.47E+03	9.55E+03	3.64E+03
	170201 Madera	2.11E+02	-1.67E+03	2.03E+02	2.11E+02	7.80E+01
	170203 Plástico	4.81E+02	4.80E+02	4.80E+02	4.81E+02	2.10E+02
	170401 Cobre, bronce, latón	3.75E+02	3.94E+02	3.75E+02	3.76E+02	1.47E+02
	170402 Aluminio	-3.71E+02	1.46E+03	-3.71E+02	-3.70E+02	-1.44E+02
	170405 Hierro y acero	4.41E+02	2.11E+03	4.41E+02	4.41E+02	1.68E+02
	170802 Mat. a partir de yeso	2.19E+03	2.18E+03	2.67E+03	2.19E+03	1.02E+03
	170904 Residuos mezclados	4.74E+03	4.70E+03	4.70E+03	4.74E+03	1.80E+03
	150101 Env. papel y cartón	1.01E+04	6.95E+03	1.01E+04	1.01E+04	3.87E+03
	150102 Envases de plástico	9.91E+03	9.90E+03	6.91E+03	9.91E+03	2.67E+03
	150106 Envases mezclados	5.21E+02	5.17E+02	5.17E+02	5.21E+02	1.99E+02
	Total	8.58E+04	8.44E+04	8.20E+04	8.51E+04	3.16E+04
Impactos según CED	170101 Hormigón	1.30E+05	1.30E+05	1.18E+05	1.22E+05	4.53E+04
	17010203 Cerámicos	2.82E+05	2.82E+05	2.76E+05	2.78E+05	1.06E+05
	170106 Mezcla hor. y cerám.	8.14E+04	8.35E+04	8.01E+04	8.14E+04	3.08E+04
	170201 Madera	7.02E+04	1.12E+05	7.02E+04	7.02E+04	2.69E+04
	170203 Plástico	1.28E+04	1.28E+04	1.28E+04	1.28E+04	5.60E+03
	170401 Cobre, bronce, latón	5.95E+03	7.12E+03	5.95E+03	5.95E+03	2.33E+03
	170402 Aluminio	-5.33E+03	2.36E+04	-5.33E+03	-5.32E+03	-2.07E+03
	170405 Hierro y acero	1.29E+04	3.28E+04	1.29E+04	1.31E+04	4.93E+03
	170802 Mat. a partir de yeso	2.88E+04	2.87E+04	1.50E+04	2.88E+04	5.76E+03
	170904 Residuos mezclados	7.71E+04	7.65E+04	7.65E+04	7.71E+04	2.93E+04
	150101 Env. papel y cartón	-4.68E+04	7.58E+04	-4.71E+04	-4.68E+04	-1.82E+04
	150102 Envases de plástico	3.47E+05	3.46E+05	2.37E+05	3.47E+05	9.12E+04
	150106 Envases mezclados	8.48E+03	8.41E+03	8.41E+03	8.48E+03	3.24E+03
	Total	1.00E+06	1.22E+06	8.60E+05	9.93E+05	3.31E+05

Tabla 6.11. Obra 8: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 1.

6.3.2. Resultados obtenidos para cada obra según la Opción 2



Figuras 6.9-6.16: Resultados para cada obra según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 2.

Obra 1		Escenario O*				Escenario E*			Escenario R*			Escenario C*			Escenario P*		
		t		t		t		t		t		t		t		t	
		RCD Generados		RCD Prevenidos		Total		RCD Generados		RCD Prevenidos		Total		RCD Generados		RCD Prevenidos	
Cuantificación	170101 Hormigón	E	4.04E+02	E	4.04E+02	R	4.04E+02	RC	4.04E+02	R	1.60E+02	P	2.44E+02			4.04E+02	
	170102 Cerámicos	E	1.97E+02	E	1.97E+02	R	1.97E+02	RC	1.97E+02	R	7.81E+01	P	1.19E+02			1.97E+02	
	170106 Mezcla hor. y cerám.	RC	1.05E+02	E	1.05E+02	R	1.05E+02	RC	1.05E+02	R	4.17E+01	P	6.36E+01			1.05E+02	
	170201 Madera	E	4.94E+00	E	4.94E+00	R	4.94E+00	RC	4.94E+00	R	1.96E+00	P	2.98E+00			4.94E+00	
	170203 Plástico	EC	3.00E-01	E	3.00E-01	R	3.00E-01	EC	3.00E-01	E	1.00E-02	P	2.90E-01			3.00E-01	
	170401 Cobre, bronce, latón	R	4.20E-01	E	4.20E-01	R	4.20E-01	RC	4.20E-01	R	1.60E-01	P	2.60E-01			4.20E-01	
	170402 Aluminio	R	2.70E-01	E	2.70E-01	R	2.70E-01	RC	2.70E-01	R	1.10E-01	P	1.60E-01			2.70E-01	
	170405 Hierro y acero	R	2.68E+00	E	2.68E+00	R	2.68E+00	RC	2.68E+00	R	1.06E+00	P	1.62E+00			2.68E+00	
	170802 Mat. a partir de yeso	EC	9.22E+00	E	9.22E+00	R	9.22E+00	EC	9.22E+00	R	3.65E+00	P	5.57E+00			9.22E+00	
	170904 Residuos mezclados	EC	4.22E+01	E	4.22E+01	R	4.22E+01	EC	4.22E+01	E	1.67E+01	P	2.55E+01			4.22E+01	
	150101 Env. papel y cartón	RC	5.69E+00	E	5.69E+00	R	5.69E+00	RC	5.69E+00	R	2.25E+00	P	3.44E+00			5.69E+00	
	150102 Envases de plástico	EC	6.85E+00	E	6.85E+00	R	6.85E+00	EC	6.85E+00	R	2.72E+00	P	4.13E+00			6.85E+00	
	150106 Envases mezclados	EC	5.01E+00	E	5.01E+00	R	5.01E+00	EC	5.01E+00	E	1.98E+00	P	3.03E+00			5.01E+00	
Total		7.84E+02		7.84E+02		7.84E+02		7.84E+02		3.10E+02		4.74E+02			7.84E+02		
Impactos según GWP		GWP	kg CO2 eq	GWP	kg CO2 eq	GWP	kg CO2 eq	GWP	kg CO2 eq	GWP			kg CO2 eq	kg CO2 eq	kg CO2 eq		
	170101 Hormigón		1.09E+03		1.09E+03		-3.08E+02		1.81E+02		-1.22E+02		-2.83E+04		-2.84E+04		
	170102 Cerámicos		5.42E+02		5.42E+02		-1.20E+02		1.19E+02		-4.75E+01		-2.54E+04		-2.54E+04		
	170106 Mezcla hor. y cerám.		7.78E+01		2.89E+02		-4.97E+01		7.78E+01		-1.97E+01		-9.41E+03		-9.43E+03		
	170201 Madera		3.69E+02		3.69E+02		3.78E+03		3.80E+03		1.50E+03		2.06E+03		3.56E+03		
	170203 Plástico		2.50E+01		2.42E+01		2.42E+01		2.50E+01		8.07E-01		-8.47E+02		-8.46E+02		
	170401 Cobre, bronce, latón		-2.85E+01		6.26E+00		-2.85E+01		-2.79E+01		-1.09E+01		-4.42E+02		-4.53E+02		
	170402 Aluminio		-2.74E+03		4.02E+00		-2.74E+03		-2.74E+03		-1.12E+03		-1.29E+03		-2.41E+03		
	170405 Hierro y acero		-3.03E+03		1.67E+01		-3.03E+03		-3.03E+03		-1.20E+03		-2.32E+03		-3.51E+03		
	170802 Mat. a partir de yeso		8.84E+02		8.69E+02		1.77E+03		8.84E+02		7.01E+02		-1.87E+03		-1.17E+03		
	170904 Residuos mezclados		2.79E+02		2.16E+02		2.16E+02		2.79E+02		8.56E+01		-4.66E+03		-4.58E+03		
	150101 Env. papel y cartón		1.49E+04		9.22E+03		1.49E+04		1.49E+04		5.87E+03		-2.04E+03		3.84E+03		
	150102 Envases de plástico		7.17E+02		6.99E+02		-4.74E+03		7.17E+02		-1.88E+03		-1.04E+04		-1.23E+04		
150106 Envases mezclados		3.32E+01		2.57E+01		2.57E+01		3.32E+01		1.01E+01		-5.54E+02		-5.44E+02			
Total		1.31E+04		1.34E+04		9.66E+03		1.52E+04		3.78E+03		-8.55E+04		-8.17E+04			
Impactos según CED		CED	MJ eq	CED	MJ eq	CED	MJ eq	CED	MJ eq	CED			MJ eq	MJ eq	MJ eq		
	170101 Hormigón		1.63E+04		1.63E+04		-6.87E+03		1.05E+03		-2.72E+03		-1.37E+05		-1.40E+05		
	170102 Cerámicos		8.10E+03		8.10E+03		-2.80E+03		1.08E+03		-1.11E+03		-3.24E+05		-3.25E+05		
	170106 Mezcla hor. y cerám.		8.21E+02		4.33E+03		-1.24E+03		8.21E+02		-4.92E+02		-8.01E+04		-8.06E+04		
	170201 Madera		4.50E+02		4.50E+02		-7.51E+04		-7.51E+04		-2.98E+04		-1.22E+05		-1.52E+05		
	170203 Plástico		5.04E+01		3.84E+01		3.84E+01		5.04E+01		1.28E+00		-2.32E+04		-2.32E+04		
	170401 Cobre, bronce, latón		-2.03E+03		1.03E+02		-2.03E+03		-2.02E+03		-7.74E+02		-7.98E+03		-8.76E+03		
	170402 Aluminio		-4.34E+04		6.62E+01		-4.34E+04		-4.34E+04		-1.77E+04		-2.10E+04		-3.86E+04		
	170405 Hierro y acero		-3.59E+04		2.68E+02		-3.59E+04		-3.56E+04		-1.42E+04		-3.60E+04		-5.02E+04		
	170802 Mat. a partir de yeso		1.26E+03		1.03E+03		-2.39E+04		1.26E+03		-9.45E+03		-3.10E+04		-4.04E+04		
	170904 Residuos mezclados		4.35E+03		3.32E+03		3.32E+03		4.35E+03		1.32E+03		-7.60E+04		-7.46E+04		
	150101 Env. papel y cartón		-2.21E+05		1.29E+03		-2.21E+05		-2.21E+05		-8.75E+04		-8.22E+04		-1.70E+05		
	150102 Envases de plástico		1.12E+03		8.43E+02		-1.99E+05		1.12E+03		-7.92E+04		-3.80E+05		-4.59E+05		
150106 Envases mezclados		5.16E+02		3.94E+02		3.94E+02		5.16E+02		1.56E+02		-9.03E+03		-8.87E+03			
Total		-2.69E+05		3.65E+04		-6.08E+05		-3.67E+05		-2.41E+05		-1.33E+06		-1.57E+06			

Tabla 6.12. Obra 1: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 2.

Obra 2

							Escenario P*		
		Escenario O*	Escenario E*	Escenario R*	Escenario C*	RCD Generados	RCD Prevenidos	Total	
		t	t	t	t	t	t	t	
Cuantificación	170101 Hormigón	R 5.55E+02	E 5.55E+02	R 5.55E+02	RC 5.55E+02	R 2.13E+02	P 3.42E+02	5.55E+02	
	170102 Cerámicos	R 2.57E+02	E 2.57E+02	R 2.57E+02	RC 2.57E+02	R 9.88E+01	P 1.58E+02	2.57E+02	
	170106 Mezcla hor. y cerám.	RC 1.48E+02	E 1.48E+02	R 1.48E+02	RC 1.48E+02	R 5.70E+01	P 9.13E+01	1.48E+02	
	170201 Madera	RC 6.27E+00	E 6.27E+00	E 6.27E+00	RC 6.27E+00	R 2.41E+00	P 3.86E+00	6.27E+00	
	170203 Plástico	EC 3.80E-01	E 3.80E-01	R 3.80E-01	EC 3.80E-01	E 1.50E-01	P 2.30E-01	3.80E-01	
	170401 Cobre, bronce, latón	R 5.30E-01	E 5.30E-01	R 5.30E-01	RC 5.30E-01	R 2.00E-01	P 3.30E-01	5.30E-01	
	170402 Aluminio	R 4.10E-01	E 4.10E-01	R 4.10E-01	RC 4.10E-01	R 1.60E-01	P 2.50E-01	4.10E-01	
	170405 Hierro y acero	R 3.40E+00	E 3.40E+00	R 3.40E+00	RC 3.40E+00	R 1.31E+00	P 2.09E+00	3.40E+00	
	170802 Mat. a partir de yeso	E 1.17E+01	E 1.17E+01	R 1.17E+01	EC 1.17E+01	R 4.49E+00	P 7.20E+00	1.17E+01	
	170904 Residuos mezclados	EC 6.04E+01	E 6.04E+01	E 6.04E+01	EC 6.04E+01	E 2.32E+01	P 3.72E+01	6.04E+01	
	150101 Env. papel y cartón	RC 7.58E+00	E 7.58E+00	R 7.58E+00	RC 7.58E+00	R 2.92E+00	P 4.66E+00	7.58E+00	
	150102 Envases de plástico	EC 8.69E+00	E 8.69E+00	R 8.69E+00	EC 8.69E+00	R 3.34E+00	P 5.35E+00	8.69E+00	
	150106 Envases mezclados	EC 6.35E+00	E 6.35E+00	E 6.35E+00	EC 6.35E+00	E 2.44E+00	P 3.91E+00	6.35E+00	
	Total	1.07E+03	1.07E+03	1.07E+03	1.07E+03	4.10E+02	6.56E+02	1.07E+03	
Impactos según GWP		GWP kg CO2 eq	GWP kg CO2 eq	GWP kg CO2 eq	GWP kg CO2 eq	GWP kg CO2 eq			
	170101 Hormigón	-4.23E+02	1.50E+03	-4.23E+02	2.49E+02	-1.63E+02	-3.96E+04	-3.98E+04	
	170102 Cerámicos	-1.56E+02	7.07E+02	-1.56E+02	1.55E+02	-6.01E+01	-3.37E+04	-3.38E+04	
	170106 Mezcla hor. y cerám.	1.10E+02	4.08E+02	-7.00E+01	1.10E+02	-2.69E+01	-1.35E+04	-1.35E+04	
	170201 Madera	4.82E+03	4.68E+02	4.80E+03	4.82E+03	1.85E+03	2.67E+03	4.51E+03	
	170203 Plástico	3.16E+01	3.07E+01	3.07E+01	3.16E+01	1.21E+01	-6.72E+02	-6.59E+02	
	170401 Cobre, bronce, latón	-3.60E+01	7.90E+00	-3.60E+01	-3.52E+01	-1.36E+01	-5.61E+02	-5.75E+02	
	170402 Aluminio	-4.16E+03	6.11E+00	-4.16E+03	-4.16E+03	-1.62E+03	-2.02E+03	-3.64E+03	
	170405 Hierro y acero	-3.84E+03	2.12E+01	-3.84E+03	-3.85E+03	-1.48E+03	-2.99E+03	-4.47E+03	
	170802 Mat. a partir de yeso	1.10E+03	1.10E+03	2.24E+03	1.12E+03	8.62E+02	-2.42E+03	-1.56E+03	
	170904 Residuos mezclados	4.00E+02	3.09E+02	3.09E+02	4.00E+02	1.19E+02	-6.81E+03	-6.69E+03	
	150101 Env. papel y cartón	1.98E+04	1.23E+04	1.98E+04	1.98E+04	7.62E+03	-2.76E+03	4.86E+03	
	150102 Envases de plástico	9.09E+02	8.86E+02	-6.01E+03	9.09E+02	-2.31E+03	-1.35E+04	-1.58E+04	
	150106 Envases mezclados	4.20E+01	3.25E+01	3.25E+01	4.20E+01	1.25E+01	-7.16E+02	-7.03E+02	
Total	1.86E+04	1.78E+04	1.25E+04	1.96E+04	4.80E+03	-1.17E+05	-1.12E+05		
Impactos según CED		CED MJ eq	CED MJ eq	CED MJ eq	CED MJ eq	CED MJ eq			
	170101 Hormigón	-9.44E+03	2.24E+04	-9.44E+03	1.44E+03	-3.63E+03	-1.92E+05	-1.96E+05	
	170102 Cerámicos	-3.65E+03	1.06E+04	-3.65E+03	1.40E+03	-1.40E+03	-4.30E+05	-4.32E+05	
	170106 Mezcla hor. y cerám.	1.16E+03	6.10E+03	-1.75E+03	1.16E+03	-6.73E+02	-1.15E+05	-1.16E+05	
	170201 Madera	-9.53E+04	5.71E+02	-9.53E+04	-9.53E+04	-3.66E+04	-1.59E+05	-1.95E+05	
	170203 Plástico	6.38E+01	4.86E+01	4.86E+01	6.38E+01	1.92E+01	-1.84E+04	-1.84E+04	
	170401 Cobre, bronce, latón	-2.57E+03	1.30E+02	-2.57E+03	-2.55E+03	-9.68E+02	-1.01E+04	-1.11E+04	
	170402 Aluminio	-6.58E+04	1.00E+02	-6.58E+04	-6.58E+04	-2.57E+04	-3.28E+04	-5.84E+04	
	170405 Hierro y acero	-4.56E+04	3.40E+02	-4.56E+04	-4.52E+04	-1.76E+04	-4.64E+04	-6.40E+04	
	170802 Mat. a partir de yeso	1.31E+03	1.31E+03	-3.03E+04	1.60E+03	-1.16E+04	-4.00E+04	-5.17E+04	
	170904 Residuos mezclados	6.22E+03	4.76E+03	4.76E+03	6.22E+03	1.83E+03	-1.11E+05	-1.09E+05	
	150101 Env. papel y cartón	-2.94E+05	1.72E+03	-2.95E+05	-2.94E+05	-1.14E+05	-1.11E+05	-2.25E+05	
	150102 Envases de plástico	1.42E+03	1.07E+03	-2.53E+05	1.42E+03	-9.72E+04	-4.92E+05	-5.89E+05	
	150106 Envases mezclados	6.54E+02	5.00E+02	5.00E+02	6.54E+02	1.92E+02	-1.17E+04	-1.15E+04	
Total	-5.06E+05	4.96E+04	-7.97E+05	-4.89E+05	-3.07E+05	-1.77E+06	-2.08E+06		

Tabla 6.13. Obra 2: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 2.

Obra 3

		Escenario O*	Escenario E*	Escenario R*	Escenario C*	Escenario P*		
						RCD	RCD	Total
						Generados	Prevenidos	
		t	t	t	t	t	t	t
Cuantificación	170101 Hormigón	R 7.20E+02	E 7.20E+02	R 7.20E+02	RC 7.20E+02	R 2.93E+02	P 4.27E+02	7.20E+02
	170102 Cerámicos	R 3.87E+02	E 3.87E+02	R 3.87E+02	RC 3.87E+02	R 1.57E+02	P 2.30E+02	3.87E+02
	170106 Mezcla hor. y cerám.	RC 1.81E+02	E 1.81E+02	R 1.81E+02	RC 1.81E+02	R 7.36E+01	P 1.07E+02	1.81E+02
	170201 Madera	E 8.50E+00	E 8.50E+00	E 8.50E+00	RC 8.50E+00	R 3.46E+00	P 5.04E+00	8.50E+00
	170203 Plástico	EC 6.00E-02	E 6.00E-02	R 6.00E-02	EC 6.00E-02	E 2.10E-01	P -1.50E-01	6.00E-02
	170401 Cobre, bronce, latón	R 7.20E-01	E 7.20E-01	R 7.20E-01	RC 7.20E-01	R 2.90E-01	P 4.30E-01	7.20E-01
	170402 Aluminio	R 4.60E-02	E 4.60E-02	R 4.60E-02	RC 4.60E-02	R 1.90E-01	P -1.44E-01	4.60E-02
	170405 Hierro y acero	R 4.60E+00	E 4.60E+00	R 4.60E+00	RC 4.60E+00	R 1.87E+00	P 2.73E+00	4.60E+00
	170802 Mat. a partir de yeso	EC 1.58E+01	E 1.58E+01	R 1.58E+01	EC 1.58E+01	R 6.44E+00	P 9.40E+00	1.58E+01
	170904 Residuos mezclados	E 7.18E+01	E 7.18E+01	E 7.18E+01	EC 7.18E+01	E 2.92E+01	P 4.26E+01	7.18E+01
	150101 Env. papel y cartón	EC 9.98E+00	E 9.98E+00	R 9.98E+00	RC 9.98E+00	R 4.06E+00	P 5.92E+00	9.98E+00
	150102 Envases de plástico	EC 1.18E+01	E 1.18E+01	R 1.18E+01	EC 1.18E+01	R 4.79E+00	P 6.99E+00	1.18E+01
	150106 Envases mezclados	EC 8.61E+00	E 8.61E+00	E 8.61E+00	EC 8.61E+00	E 3.50E+00	P 5.11E+00	8.61E+00
	Total		1.42E+03	1.42E+03	1.42E+03	1.42E+03	5.78E+02	8.42E+02
		GWP	GWP	GWP	GWP	GWP		
		kg CO2 eq	kg CO2 eq	kg CO2 eq	kg CO2 eq	kg CO2 eq	kg CO2 eq	kg CO2 eq
Impactos según GWP	170101 Hormigón	-5.49E+02	1.95E+03	-5.49E+02	3.23E+02	-2.23E+02	-4.96E+04	-4.98E+04
	170102 Cerámicos	-2.35E+02	1.06E+03	-2.35E+02	2.34E+02	-9.58E+01	-4.89E+04	-4.90E+04
	170106 Mezcla hor. y cerám.	1.34E+02	4.98E+02	-8.54E+01	1.34E+02	-3.47E+01	-1.59E+04	-1.59E+04
	170201 Madera	6.35E+02	6.35E+02	6.51E+03	6.53E+03	2.65E+03	3.48E+03	6.13E+03
	170203 Plástico	5.00E+00	4.84E+00	4.84E+00	5.00E+00	1.69E+01	4.38E+02	4.55E+02
	170401 Cobre, bronce, latón	-4.89E+01	1.07E+01	-4.89E+01	-4.79E+01	-1.97E+01	-7.31E+02	-7.51E+02
	170402 Aluminio	-4.66E+02	6.85E-01	-4.66E+02	-4.66E+02	-1.93E+03	1.16E+03	-7.63E+02
	170405 Hierro y acero	-5.20E+03	2.87E+01	-5.20E+03	-5.21E+03	-2.11E+03	-3.90E+03	-6.02E+03
	170802 Mat. a partir de yeso	1.52E+03	1.49E+03	3.04E+03	1.52E+03	1.24E+03	-3.16E+03	-1.92E+03
	170904 Residuos mezclados	3.68E+02	3.68E+02	3.68E+02	4.75E+02	1.50E+02	-7.79E+03	-7.64E+03
	150101 Env. papel y cartón	2.60E+04	1.62E+04	2.60E+04	2.60E+04	1.06E+04	-3.50E+03	7.09E+03
	150102 Envases de plástico	1.23E+03	1.20E+03	-8.15E+03	1.23E+03	-3.31E+03	-1.77E+04	-2.10E+04
	150106 Envases mezclados	5.70E+01	4.41E+01	4.41E+01	5.70E+01	1.79E+01	-9.35E+02	-9.17E+02
	Total		2.35E+04	2.35E+04	2.13E+04	3.08E+04	6.94E+03	-1.47E+05
		CED	CED	CED	CED	CED		
		MJ eq	MJ eq	MJ eq	MJ eq	MJ eq	MJ eq	MJ eq
Impactos según CED	170101 Hormigón	-1.22E+04	2.90E+04	-1.22E+04	1.87E+03	-4.98E+03	-2.41E+05	-2.46E+05
	170102 Cerámicos	-5.50E+03	1.59E+04	-5.50E+03	2.11E+03	-2.24E+03	-6.25E+05	-6.27E+05
	170106 Mezcla hor. y cerám.	1.41E+03	7.44E+03	-2.13E+03	1.41E+03	-8.68E+02	-1.35E+05	-1.36E+05
	170201 Madera	7.74E+02	7.74E+02	-1.29E+05	-1.29E+05	-5.26E+04	-2.07E+05	-2.60E+05
	170203 Plástico	1.01E+01	7.68E+00	7.68E+00	1.01E+01	2.69E+01	1.20E+04	1.20E+04
	170401 Cobre, bronce, latón	-3.48E+03	1.76E+02	-3.48E+03	-3.47E+03	-1.40E+03	-1.32E+04	-1.46E+04
	170402 Aluminio	-7.39E+03	1.13E+01	-7.39E+03	-7.39E+03	-3.05E+04	1.89E+04	-1.17E+04
	170405 Hierro y acero	-6.16E+04	4.60E+02	-6.16E+04	-6.12E+04	-2.51E+04	-6.06E+04	-8.57E+04
	170802 Mat. a partir de yeso	2.17E+03	1.77E+03	-4.10E+04	2.17E+03	-1.67E+04	-5.23E+04	-6.89E+04
	170904 Residuos mezclados	5.65E+03	5.65E+03	5.65E+03	7.39E+03	2.30E+03	-1.27E+05	-1.25E+05
	150101 Env. papel y cartón	-3.87E+05	2.27E+03	-3.88E+05	-3.87E+05	-1.58E+05	-1.41E+05	-2.99E+05
	150102 Envases de plástico	1.92E+03	1.45E+03	-3.43E+05	1.92E+03	-1.39E+05	-6.43E+05	-7.82E+05
	150106 Envases mezclados	8.87E+02	6.78E+02	6.78E+02	8.87E+02	2.75E+02	-1.52E+04	-1.50E+04
	Total		-4.65E+05	6.56E+04	-9.87E+05	-5.71E+05	-4.29E+05	-2.23E+06

Tabla 6.14. Obra 3: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 2.

Obra 4						Escenario P*		
		Escenario O*	Escenario E*	Escenario R*	Escenario C*	RCD Generados	RCD Prevenidos	Total
		t	t	t	t	t	t	t
Cuantificación	170101 Hormigón	E 5.43E+02	E 5.43E+02	R 5.43E+02	RC 5.43E+02	R 2.09E+02	P 3.34E+02	5.43E+02
	170102,03 Cerámicos	E 2.20E+02	E 2.20E+02	R 2.20E+02	RC 2.20E+02	R 8.47E+01	P 1.36E+02	2.20E+02
	170106 Mezcla hor. y cerám.	E 1.53E+02	E 1.53E+02	R 1.53E+02	RC 1.53E+02	R 5.89E+01	P 9.44E+01	1.53E+02
	170201 Madera	E 6.48E+00	E 6.48E+00	E 6.48E+00	RC 6.48E+00	R 2.49E+00	P 3.99E+00	6.48E+00
	170203 Plástico	E 3.90E-01	E 3.90E-01	R 3.90E-01	EC 3.90E-01	E 1.50E-01	P 2.40E-01	3.90E-01
	170401 Cobre, bronce, latón	R 5.50E-01	E 5.50E-01	R 5.50E-01	RC 5.50E-01	R 2.10E-01	P 3.40E-01	5.50E-01
	170402 Aluminio	R 4.30E-01	E 4.30E-01	R 4.30E-01	RC 4.30E-01	R 1.60E-01	P 2.70E-01	4.30E-01
	170405 Hierro y acero	R 3.51E+00	E 3.51E+00	R 3.51E+00	RC 3.51E+00	R 1.35E+00	P 2.16E+00	3.51E+00
	170802 Mat. a partir de yeso	E 1.21E+01	E 1.21E+01	R 1.21E+01	EC 1.21E+01	R 4.64E+00	P 7.44E+00	1.21E+01
	170904 Residuos mezclados	E 5.48E+01	E 5.48E+01	E 5.48E+01	EC 5.48E+01	E 2.11E+01	P 3.37E+01	5.48E+01
	150101 Env. papel y cartón	E 7.39E+00	E 7.39E+00	R 7.39E+00	RC 7.39E+00	R 2.84E+00	P 4.55E+00	7.39E+00
	150102 Envases de plástico	E 8.99E+00	E 8.99E+00	R 8.99E+00	EC 8.99E+00	R 3.45E+00	P 5.54E+00	8.99E+00
	150106 Envases mezclados	E 6.57E+00	E 6.57E+00	E 6.57E+00	EC 6.57E+00	E 2.52E+00	P 4.05E+00	6.57E+00
	Total	1.02E+03	1.02E+03	1.02E+03	1.02E+03	3.91E+02	6.27E+02	1.02E+03
Impactos según GWP		GWP kg CO2 eq	GWP kg CO2 eq	GWP kg CO2 eq	GWP kg CO2 eq	GWP kg CO2 eq		
	170101 Hormigón	1.47E+03	1.47E+03	-4.14E+02	2.44E+02	-1.59E+02	-3.88E+04	-3.89E+04
	170102,03 Cerámicos	6.06E+02	6.06E+02	-1.34E+02	1.33E+02	-5.15E+01	-2.89E+04	-2.89E+04
	170106 Mezcla hor. y cerám.	4.22E+02	4.22E+02	-7.24E+01	1.13E+02	-2.78E+01	-1.40E+04	-1.40E+04
	170201 Madera	4.84E+02	4.84E+02	4.96E+03	4.98E+03	1.91E+03	2.76E+03	4.66E+03
	170203 Plástico	3.15E+01	3.15E+01	3.15E+01	3.25E+01	1.21E+01	-7.01E+02	-6.89E+02
	170401 Cobre, bronce, latón	-3.73E+01	8.20E+00	-3.73E+01	-3.66E+01	-1.43E+01	-5.78E+02	-5.92E+02
	170402 Aluminio	-4.36E+03	6.41E+00	-4.36E+03	-4.36E+03	-1.62E+03	-2.18E+03	-3.80E+03
	170405 Hierro y acero	-3.97E+03	2.19E+01	-3.97E+03	-3.97E+03	-1.53E+03	-3.09E+03	-4.61E+03
	170802 Mat. a partir de yeso	1.14E+03	1.14E+03	2.32E+03	1.16E+03	8.91E+02	-2.50E+03	-1.61E+03
	170904 Residuos mezclados	2.81E+02	2.81E+02	2.81E+02	3.63E+02	1.08E+02	-6.17E+03	-6.07E+03
	150101 Env. papel y cartón	1.20E+04	1.20E+04	1.93E+04	1.93E+04	7.41E+03	-2.69E+03	4.72E+03
	150102 Envases de plástico	9.17E+02	9.17E+02	-6.22E+03	9.41E+02	-2.39E+03	-1.40E+04	-1.64E+04
	150106 Envases mezclados	3.36E+01	3.36E+01	3.36E+01	4.35E+01	1.29E+01	-7.41E+02	-7.28E+02
Total	8.99E+03	1.74E+04	1.17E+04	1.89E+04	4.56E+03	-1.12E+05	-1.07E+05	
Impactos según CED		CED MJ eq	CED MJ eq	CED MJ eq	CED MJ eq	CED MJ eq		
	170101 Hormigón	2.19E+04	2.19E+04	-9.23E+03	1.41E+03	-3.55E+03	-1.88E+05	-1.92E+05
	170102,03 Cerámicos	9.05E+03	9.05E+03	-3.13E+03	1.20E+03	-1.20E+03	-3.69E+05	-3.70E+05
	170106 Mezcla hor. y cerám.	6.30E+03	6.30E+03	-1.81E+03	1.20E+03	-6.95E+02	-1.19E+05	-1.20E+05
	170201 Madera	5.90E+02	5.90E+02	-9.85E+04	-9.85E+04	-3.78E+04	-1.64E+05	-2.02E+05
	170203 Plástico	4.99E+01	4.99E+01	4.99E+01	6.55E+01	1.92E+01	-1.92E+04	-1.92E+04
	170401 Cobre, bronce, latón	-2.66E+03	1.35E+02	-2.66E+03	-2.65E+03	-1.02E+03	-1.04E+04	-1.15E+04
	170402 Aluminio	-6.91E+04	1.05E+02	-6.91E+04	-6.90E+04	-2.57E+04	-3.54E+04	-6.11E+04
	170405 Hierro y acero	-4.70E+04	3.51E+02	-4.70E+04	-4.67E+04	-1.81E+04	-4.80E+04	-6.60E+04
	170802 Mat. a partir de yeso	1.35E+03	1.35E+03	-3.13E+04	1.65E+03	-1.20E+04	-4.14E+04	-5.34E+04
	170904 Residuos mezclados	4.31E+03	4.31E+03	4.31E+03	5.64E+03	1.66E+03	-1.01E+05	-9.89E+04
	150101 Env. papel y cartón	1.68E+03	1.68E+03	-2.87E+05	-2.87E+05	-1.10E+05	-1.09E+05	-2.19E+05
	150102 Envases de plástico	1.11E+03	1.11E+03	-2.62E+05	1.47E+03	-1.00E+05	-5.10E+05	-6.10E+05
	150106 Envases mezclados	5.17E+02	5.17E+02	5.17E+02	6.77E+02	1.98E+02	-1.21E+04	-1.19E+04
Total	-7.19E+04	4.74E+04	-8.07E+05	-4.90E+05	-3.09E+05	-1.73E+06	-2.03E+06	

Tabla 6.15. Obra 4: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 2.

Obra 5

						Escenario P*		
		Escenario O*	Escenario E*	Escenario R*	Escenario C*	RCD Generados	RCD Prevenidos	Total
		t	t	t	t	t	t	t
Cuantificación	170101 Hormigón	RC 9.30E+02	E 9.30E+02	R 9.30E+02	RC 9.30E+02	R 3.69E+02	P 5.62E+02	9.30E+02
	170102,03 Cerámicos	RC 2.43E+02	E 2.43E+02	R 2.43E+02	RC 2.43E+02	R 9.63E+01	P 1.47E+02	2.43E+02
	170106 Mezcla hor. y cerám.	RC 2.30E+02	E 2.30E+02	R 2.30E+02	RC 2.30E+02	R 9.12E+01	P 1.39E+02	2.30E+02
	170201 Madera	RC 9.73E+00	E 9.73E+00	R 9.73E+00	RC 9.73E+00	R 3.86E+00	P 5.87E+00	9.73E+00
	170203 Plástico	EC 5.90E-01	E 5.90E-01	R 5.90E-01	EC 5.90E-01	E 2.30E-01	P 3.60E-01	5.90E-01
	170401 Cobre, bronce, latón	RC 8.20E-01	E 8.20E-01	R 8.20E-01	RC 8.20E-01	R 3.20E-01	P 5.00E-01	8.20E-01
	170402 Aluminio	RC 5.30E-01	E 5.30E-01	R 5.30E-01	RC 5.30E-01	R 2.10E-01	P 3.20E-01	5.30E-01
	170405 Hierro y acero	RC 5.27E+00	E 5.27E+00	R 5.27E+00	RC 5.27E+00	R 2.09E+00	P 3.18E+00	5.27E+00
	170802 Mat. a partir de yeso	EC 1.81E+01	E 1.81E+01	R 1.81E+01	EC 1.81E+01	R 7.19E+00	P 1.10E+01	1.81E+01
	170904 Residuos mezclados	EC 8.87E+01	E 8.87E+01	R 8.87E+01	EC 8.87E+01	E 3.51E+01	P 5.36E+01	8.87E+01
	150101 Env. papel y cartón	RC 1.55E+01	E 1.55E+01	R 1.55E+01	RC 1.55E+01	R 6.13E+00	P 9.34E+00	1.55E+01
	150102 Envases de plástico	EC 1.69E+01	E 1.69E+01	R 1.69E+01	EC 1.69E+01	R 6.68E+00	P 1.02E+01	1.69E+01
	150106 Envases mezclados	EC 9.86E+00	E 9.86E+00	R 9.86E+00	EC 9.86E+00	E 3.91E+00	P 5.95E+00	9.86E+00
	Total	1.57E+03	1.57E+03	1.57E+03	1.57E+03	6.22E+02	9.48E+02	1.57E+03
Impactos según GWP		GWP <i>kg CO2 eq</i>	GWP <i>kg CO2 eq</i>	GWP <i>kg CO2 eq</i>	GWP <i>kg CO2 eq</i>	GWP		
	170101 Hormigón	4.18E+02	2.51E+03	-7.09E+02	4.18E+02	-2.81E+02	-6.52E+04	-6.55E+04
	170102,03 Cerámicos	1.47E+02	6.68E+02	-1.48E+02	1.47E+02	-5.85E+01	-3.13E+04	-3.13E+04
	170106 Mezcla hor. y cerám.	1.70E+02	6.33E+02	-1.09E+02	1.70E+02	-4.30E+01	-2.06E+04	-2.06E+04
	170201 Madera	7.48E+03	7.27E+02	7.45E+03	7.48E+03	2.96E+03	4.06E+03	7.01E+03
	170203 Plástico	4.91E+01	4.76E+01	4.76E+01	4.91E+01	1.86E+01	-1.05E+03	-1.03E+03
	170401 Cobre, bronce, latón	-5.45E+01	1.22E+01	-5.57E+01	-5.45E+01	-2.17E+01	-8.50E+02	-8.72E+02
	170402 Aluminio	-5.37E+03	7.90E+00	-5.37E+03	-5.37E+03	-2.13E+03	-2.59E+03	-4.71E+03
	170405 Hierro y acero	-5.96E+03	3.28E+01	-5.96E+03	-5.96E+03	-2.36E+03	-4.55E+03	-6.91E+03
	170802 Mat. a partir de yeso	1.74E+03	1.71E+03	3.48E+03	1.74E+03	1.38E+03	-3.68E+03	-2.30E+03
	170904 Residuos mezclados	5.87E+02	4.54E+02	4.54E+02	5.87E+02	1.80E+02	-9.81E+03	-9.63E+03
	150101 Env. papel y cartón	4.04E+04	2.51E+04	4.04E+04	4.04E+04	1.60E+04	-5.53E+03	1.05E+04
	150102 Envases de plástico	1.76E+03	1.72E+03	-1.17E+04	1.76E+03	-4.62E+03	-2.58E+04	-3.04E+04
	150106 Envases mezclados	6.52E+01	5.05E+01	5.05E+01	6.52E+01	2.00E+01	-1.09E+03	-1.07E+03
Total	4.14E+04	3.36E+04	2.78E+04	4.14E+04	1.10E+04	-1.68E+05	-1.57E+05	
Impactos según CED		CED <i>MJ eq</i>	CED <i>MJ eq</i>	CED <i>MJ eq</i>	CED <i>MJ eq</i>	CED		
	170101 Hormigón	2.42E+03	3.75E+04	-1.58E+04	2.42E+03	-6.27E+03	-3.16E+05	-3.23E+05
	170102,03 Cerámicos	1.33E+03	9.99E+03	-3.45E+03	1.33E+03	-1.37E+03	-3.99E+05	-4.00E+05
	170106 Mezcla hor. y cerám.	1.80E+03	9.46E+03	-2.72E+03	1.80E+03	-1.08E+03	-1.75E+05	-1.76E+05
	170201 Madera	-1.48E+05	8.85E+02	-1.48E+05	-1.48E+05	-5.87E+04	-2.41E+05	-3.00E+05
	170203 Plástico	9.91E+01	7.55E+01	7.55E+01	9.91E+01	2.94E+01	-2.88E+04	-2.87E+04
	170401 Cobre, bronce, latón	-3.95E+03	2.01E+02	-3.97E+03	-3.95E+03	-1.55E+03	-1.54E+04	-1.69E+04
	170402 Aluminio	-8.51E+04	1.30E+02	-8.51E+04	-8.51E+04	-3.37E+04	-4.19E+04	-7.56E+04
	170405 Hierro y acero	-7.01E+04	5.26E+02	-7.06E+04	-7.01E+04	-2.80E+04	-7.06E+04	-9.86E+04
	170802 Mat. a partir de yeso	2.49E+03	2.03E+03	-4.70E+04	2.49E+03	-1.86E+04	-6.09E+04	-7.95E+04
	170904 Residuos mezclados	9.14E+03	6.98E+03	6.98E+03	9.14E+03	2.76E+03	-1.60E+05	-1.57E+05
	150101 Env. papel y cartón	-6.00E+05	3.51E+03	-6.02E+05	-6.00E+05	-2.38E+05	-2.23E+05	-4.62E+05
	150102 Envases de plástico	2.75E+03	2.07E+03	-4.91E+05	2.75E+03	-1.94E+05	-9.37E+05	-1.13E+06
	150106 Envases mezclados	1.02E+03	7.76E+02	7.76E+02	1.02E+03	3.08E+02	-1.77E+04	-1.74E+04
Total	-8.86E+05	7.41E+04	-1.46E+06	-8.86E+05	-5.79E+05	-2.69E+06	-3.27E+06	

Tabla 6.16. Obra 5: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 2.

Obra 6

		Escenario O*				Escenario E*			Escenario R*			Escenario C*			Escenario P*		
		t				t			t			t			RCD		Total
		Generados				Prevenidos			Total	RCD		Total	RCD		Total		
		t				t			t			t			t		t
Cuantificación	170101 Hormigón	R	1.37E+03	E	1.37E+03	R	1.37E+03	RC	1.37E+03	R	5.26E+02	P	8.43E+02	1.37E+03			
	170102,03 Cerámicos	R	3.34E+02	E	3.34E+02	R	3.34E+02	RC	3.34E+02	R	1.28E+02	P	2.06E+02	3.34E+02			
	170106 Mezcla hor. y cerám.	R	3.65E+02	E	3.65E+02	R	3.65E+02	RC	3.65E+02	R	1.40E+02	P	2.25E+02	3.65E+02			
	170201 Madera	E	1.54E+01	E	1.54E+01	E	1.54E+01	RC	1.54E+01	E	5.93E+00	P	9.49E+00	1.54E+01			
	170203 Plástico	E	9.30E-01	E	9.30E-01	R	9.30E-01	EC	9.30E-01	R	3.50E-01	P	5.80E-01	9.30E-01			
	170401 Cobre, bronce, latón	R	1.30E+00	E	1.30E+00	R	1.30E+00	RC	1.30E+00	R	5.00E-01	P	8.00E-01	1.30E+00			
	170402 Aluminio	R	8.40E-01	E	8.40E-01	R	8.40E-01	RC	8.40E-01	R	3.20E-01	P	5.20E-01	8.40E-01			
	170405 Hierro y acero	R	8.35E+00	E	8.35E+00	R	8.35E+00	RC	8.35E+00	R	3.21E+00	P	5.14E+00	8.35E+00			
	170802 Mat. a partir de yeso	E	2.88E+01	E	2.88E+01	R	2.88E+01	EC	2.88E+01	R	1.11E+01	P	1.77E+01	2.88E+01			
	170904 Residuos mezclados	E	2.34E+02	E	2.34E+02	E	2.34E+02	EC	2.34E+02	E	8.99E+01	P	1.44E+02	2.34E+02			
	150101 Env. papel y cartón	E	2.20E+01	E	2.20E+01	R	2.20E+01	RC	2.20E+01	R	8.45E+00	P	1.35E+01	2.20E+01			
	150102 Envases de plástico	E	2.67E+01	E	2.67E+01	R	2.67E+01	EC	2.67E+01	R	1.03E+01	P	1.65E+01	2.67E+01			
	150106 Envases mezclados	E	1.56E+01	E	1.56E+01	E	1.56E+01	EC	1.56E+01	E	6.01E+00	P	9.62E+00	1.56E+01			
Total		2.42E+03	2.42E+03	2.42E+03	2.42E+03	9.31E+02	1.49E+03	2.42E+03									
Impactos según GWP		GWP	kg CO2 eq	GWP	kg CO2 eq	GWP	kg CO2 eq	GWP	kg CO2 eq	GWP	kg CO2 eq	GWP	kg CO2 eq	GWP	kg CO2 eq		
	170101 Hormigón		-1.04E+03		3.70E+03		-1.04E+03		6.15E+02		-4.01E+02		-9.78E+04		-9.82E+04		
	170102,03 Cerámicos		-2.03E+02		9.18E+02		-2.03E+02		2.01E+02		-7.80E+01		-4.38E+04		-4.39E+04		
	170106 Mezcla hor. y cerám.		-1.72E+02		1.00E+03		-1.72E+02		2.70E+02		-6.62E+01		-3.32E+04		-3.33E+04		
	170201 Madera		1.15E+03		1.15E+03		1.18E+04		1.19E+04		4.54E+03		6.56E+03		1.11E+04		
	170203 Plástico		7.51E+01		7.51E+01		7.51E+01		7.74E+01		2.82E+01		-1.69E+03		-1.67E+03		
	170401 Cobre, bronce, latón		-8.83E+01		1.94E+01		-8.83E+01		-8.64E+01		-3.40E+01		-1.36E+03		-1.39E+03		
	170402 Aluminio		-8.52E+03		1.25E+01		-8.52E+03		-8.52E+03		-3.24E+03		-4.20E+03		-7.45E+03		
	170405 Hierro y acero		-9.44E+03		5.20E+01		-9.44E+03		-9.45E+03		-3.63E+03		-7.35E+03		-1.10E+04		
	170802 Mat. a partir de yeso		2.71E+03		2.71E+03		5.52E+03		2.76E+03		2.12E+03		-5.95E+03		-3.83E+03		
	170904 Residuos mezclados		1.20E+03		1.20E+03		1.20E+03		1.55E+03		4.60E+02		-2.63E+04		-2.59E+04		
	150101 Env. papel y cartón		3.56E+04		3.56E+04		5.74E+04		5.74E+04		2.21E+04		-8.02E+03		1.40E+04		
	150102 Envases de plástico		2.73E+03		2.73E+03		-1.85E+04		2.80E+03		-7.11E+03		-4.16E+04		-4.87E+04		
150106 Envases mezclados		8.00E+01		8.00E+01		8.00E+01		1.03E+02		3.08E+01		-1.76E+03		-1.73E+03			
Total		2.41E+04		4.93E+04		3.81E+04		5.96E+04		1.47E+04		-2.66E+05		-2.52E+05			
Impactos según CED		CED	MJ eq	CED	MJ eq	CED	MJ eq	CED	MJ eq	CED	MJ eq	CED	MJ eq	CED	MJ eq		
	170101 Hormigón		-2.33E+04		5.52E+04		-2.33E+04		3.56E+03		-8.95E+03		-4.74E+05		-4.83E+05		
	170102,03 Cerámicos		-4.74E+03		1.37E+04		-4.74E+03		1.82E+03		-1.82E+03		-5.59E+05		-5.61E+05		
	170106 Mezcla hor. y cerám.		-4.30E+03		1.50E+04		-4.30E+03		2.85E+03		-1.65E+03		-2.83E+05		-2.85E+05		
	170201 Madera		1.40E+03		1.40E+03		-2.34E+05		-2.34E+05		-9.01E+04		-3.90E+05		-4.80E+05		
	170203 Plástico		1.19E+02		1.19E+02		1.19E+02		1.56E+02		4.48E+01		-4.63E+04		-4.63E+04		
	170401 Cobre, bronce, latón		-6.29E+03		3.19E+02		-6.29E+03		-6.27E+03		-2.42E+03		-2.46E+04		-2.70E+04		
	170402 Aluminio		-1.35E+05		2.06E+02		-1.35E+05		-1.35E+05		-5.14E+04		-6.81E+04		-1.20E+05		
	170405 Hierro y acero		-1.12E+05		8.34E+02		-1.12E+05		-1.11E+05		-4.30E+04		-1.14E+05		-1.57E+05		
	170802 Mat. a partir de yeso		3.22E+03		3.22E+03		-7.45E+04		3.94E+03		-2.86E+04		-9.84E+04		-1.27E+05		
	170904 Residuos mezclados		1.84E+04		1.84E+04		1.84E+04		2.41E+04		7.07E+03		-4.29E+05		-4.22E+05		
	150101 Env. papel y cartón		4.99E+03		4.99E+03		-8.55E+05		-8.53E+05		-3.29E+05		-3.24E+05		-6.52E+05		
	150102 Envases de plástico		3.29E+03		3.29E+03		-7.78E+05		4.36E+03		-2.99E+05		-1.51E+06		-1.81E+06		
150106 Envases mezclados		1.23E+03		1.23E+03		1.23E+03		1.61E+03		4.73E+02		-2.87E+04		-2.82E+04			
Total		-2.53E+05		1.18E+05		-2.21E+06		-1.30E+06		-8.48E+05		-4.35E+06		-5.20E+06			

Tabla 6.17. Obra 6: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 2.

Obra 7

		Escenario O*				Escenario E*			Escenario R*			Escenario C*			Escenario P*		
		t				t			t			t			t		
Cuantificación	170101 Hormigón	RC	4.17E+02	E	4.17E+02	R	4.17E+02	RC	4.17E+02	R	1.60E+02	P	2.57E+02	4.17E+02			
	170102 Cerámicos	RC	1.08E+02	E	1.08E+02	R	1.08E+02	RC	1.08E+02	R	4.15E+01	P	6.64E+01	1.08E+02			
	170106 Mezcla hor. y cerám.	RC	1.13E+02	E	1.13E+02	R	1.13E+02	RC	1.13E+02	R	4.34E+01	P	6.96E+01	1.13E+02			
	170201 Madera	RC	4.78E+00	E	4.78E+00	R	4.78E+00	RC	4.78E+00	R	1.84E+00	P	2.94E+00	4.78E+00			
	170203 Plástico	EC	2.80E-01	E	2.80E-01	R	2.80E-01	EC	2.80E-01	R	1.10E-01	P	1.70E-01	2.80E-01			
	170401 Cobre, bronce, latón	RC	4.00E-01	E	4.00E-01	R	4.00E-01	RC	4.00E-01	R	1.50E-01	P	2.50E-01	4.00E-01			
	170402 Aluminio	RC	3.10E-01	E	3.10E-01	R	3.10E-01	RC	3.10E-01	R	1.20E-01	P	1.90E-01	3.10E-01			
	170405 Hierro y acero	RC	2.59E+00	E	2.59E+00	R	2.59E+00	RC	2.59E+00	R	9.90E-01	P	1.60E+00	2.59E+00			
	170802 Mat. a partir de yeso	EC	8.91E+00	E	8.91E+00	R	8.91E+00	EC	8.91E+00	R	3.42E+00	P	5.49E+00	8.91E+00			
	170904 Residuos mezclados	EC	3.70E+01	E	3.70E+01	R	3.70E+01	EC	3.70E+01	R	1.42E+01	P	2.28E+01	3.70E+01			
	150101 Env. papel y cartón	RC	5.51E+00	E	5.51E+00	R	5.51E+00	RC	5.51E+00	R	2.12E+00	P	3.39E+00	5.51E+00			
	150102 Envases de plástico	EC	6.62E+00	E	6.62E+00	R	6.62E+00	EC	6.62E+00	R	2.55E+00	P	4.07E+00	6.62E+00			
	150106 Envases mezclados	EC	4.84E+00	E	4.84E+00	R	4.84E+00	EC	4.84E+00	R	1.86E+00	P	2.98E+00	4.84E+00			
	Total		7.10E+02	7.10E+02	7.10E+02	7.10E+02	2.73E+02	4.37E+02	7.10E+02								
Impactos según GWP		GWP	kg CO2 eq	GWP	kg CO2 eq	GWP	kg CO2 eq	GWP	kg CO2 eq	GWP			kg CO2 eq	kg CO2 eq	kg CO2 eq		
	170101 Hormigón		1.87E+02		1.13E+03		-3.18E+02		1.87E+02		-1.22E+02		-2.98E+04	-2.99E+04			
	170102 Cerámicos		6.51E+01		2.97E+02		-6.56E+01		6.51E+01		-2.52E+01		-1.41E+04	-1.42E+04			
	170106 Mezcla hor. y cerám.		8.35E+01		3.11E+02		-5.33E+01		8.35E+01		-2.05E+01		-1.03E+04	-1.03E+04			
	170201 Madera		3.67E+03		3.57E+02		3.66E+03		3.67E+03		1.41E+03		2.03E+03	3.44E+03			
	170203 Plástico		2.33E+01		2.26E+01		2.26E+01		2.33E+01		8.88E+00		-4.96E+02	-4.88E+02			
	170401 Cobre, bronce, latón		-2.66E+01		5.96E+00		-2.72E+01		-2.66E+01		-1.02E+01		-4.25E+02	-4.35E+02			
	170402 Aluminio		-3.14E+03		4.62E+00		-3.14E+03		-3.14E+03		-1.22E+03		-1.54E+03	-2.75E+03			
	170405 Hierro y acero		-2.93E+03		1.61E+01		-2.93E+03		-2.93E+03		-1.12E+03		-2.29E+03	-3.41E+03			
	170802 Mat. a partir de yeso		8.54E+02		8.40E+02		1.71E+03		8.54E+02		6.57E+02		-1.84E+03	-1.19E+03			
	170904 Residuos mezclados		2.45E+02		1.90E+02		1.90E+02		2.45E+02		7.29E+01		-4.17E+03	-4.10E+03			
	150101 Env. papel y cartón		1.44E+04		8.93E+03		1.44E+04		1.44E+04		5.53E+03		-2.01E+03	3.53E+03			
	150102 Envases de plástico		6.93E+02		6.75E+02		-4.58E+03		6.93E+02		-1.76E+03		-1.03E+04	-1.21E+04			
	150106 Envases mezclados		3.20E+01		2.48E+01		2.48E+01		3.20E+01		9.52E+00		-5.45E+02	-5.36E+02			
Total		1.41E+04	1.28E+04	8.88E+03	1.41E+04	3.41E+03	-7.58E+04	-7.24E+04									
Impactos según CED		CED	MJ eq	CED	MJ eq	CED	MJ eq	CED	MJ eq	CED			MJ eq	MJ eq	MJ eq		
	170101 Hormigón		1.09E+03		1.68E+04		-7.10E+03		1.09E+03		-2.73E+03		-1.45E+05	-1.47E+05			
	170102 Cerámicos		5.89E+02		4.43E+03		-1.53E+03		5.89E+02		-5.89E+02		-1.81E+05	-1.81E+05			
	170106 Mezcla hor. y cerám.		8.81E+02		4.64E+03		-1.33E+03		8.81E+02		-5.13E+02		-8.76E+04	-8.82E+04			
	170201 Madera		-7.27E+04		4.35E+02		-7.27E+04		-7.27E+04		-2.80E+04		-1.21E+05	-1.49E+05			
	170203 Plástico		4.70E+01		3.58E+01		3.58E+01		4.70E+01		1.41E+01		-1.36E+04	-1.36E+04			
	170401 Cobre, bronce, latón		-1.93E+03		9.80E+01		-1.94E+03		-1.93E+03		-7.26E+02		-7.68E+03	-8.40E+03			
	170402 Aluminio		-4.99E+04		7.60E+01		-4.98E+04		-4.98E+04		-1.93E+04		-2.49E+04	-4.42E+04			
	170405 Hierro y acero		-3.44E+04		2.59E+02		-3.47E+04		-3.44E+04		-1.33E+04		-3.55E+04	-4.88E+04			
	170802 Mat. a partir de yeso		1.22E+03		9.98E+02		-2.31E+04		1.22E+03		-8.86E+03		-3.05E+04	-3.94E+04			
	170904 Residuos mezclados		3.82E+03		2.92E+03		2.92E+03		3.82E+03		1.12E+03		-6.80E+04	-6.69E+04			
	150101 Env. papel y cartón		-2.14E+05		1.25E+03		-2.14E+05		-2.14E+05		-8.25E+04		-8.10E+04	-1.63E+05			
	150102 Envases de plástico		1.08E+03		8.14E+02		-1.93E+05		1.08E+03		-7.42E+04		-3.74E+05	-4.49E+05			
	150106 Envases mezclados		4.99E+02		3.81E+02		3.81E+02		4.99E+02		1.46E+02		-8.88E+03	-8.73E+03			
Total		-3.64E+05	3.32E+04	-5.96E+05	-3.63E+05	-2.29E+05	-1.18E+06	-1.41E+06									

Tabla 6.18. Obra 7: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 2.

Obra 8

		Escenario P*						
		Escenario O*	Escenario E*	Escenario R*	Escenario C*	RCD Generados	RCD Prevenidos	Total
		t	t	t	t	t	t	t
Cuantificación	170101 Hormigón	E 2.16E+02	E 2.16E+02	R 2.16E+02	RC 2.16E+02	R 8.30E+01	P 1.33E+02	2.16E+02
	170102 Cerámicos	E 1.02E+02	E 1.02E+02	R 1.02E+02	RC 1.02E+02	R 3.93E+01	P 6.29E+01	1.02E+02
	170106 Mezcla hor. y cerám.	RC 6.42E+01	E 6.42E+01	R 6.42E+01	RC 6.42E+01	R 2.47E+01	P 3.95E+01	6.42E+01
	170201 Madera	RC 2.71E+00	E 2.71E+00	E 2.71E+00	RC 2.71E+00	E 1.04E+00	P 1.67E+00	2.71E+00
	170203 Plástico	EC 1.60E-01	E 1.60E-01	R 1.60E-01	EC 1.60E-01	R 7.00E-02	P 9.00E-02	1.60E-01
	170401 Cobre, bronce, latón	R 2.30E-01	E 2.30E-01	R 2.30E-01	RC 2.30E-01	R 9.00E-02	P 1.40E-01	2.30E-01
	170402 Aluminio	R 1.80E-01	E 1.80E-01	R 1.80E-01	RC 1.80E-01	R 7.00E-02	P 1.10E-01	1.80E-01
	170405 Hierro y acero	R 1.47E+00	E 1.47E+00	R 1.47E+00	RC 1.47E+00	R 5.60E-01	P 9.10E-01	1.47E+00
	170802 Mat. a partir de yeso	EC 5.06E+00	E 5.06E+00	R 5.06E+00	EC 5.06E+00	R 1.94E+00	P 3.12E+00	5.06E+00
	170904 Residuos mezclados	EC 2.50E+01	E 2.50E+01	E 2.50E+01	EC 2.50E+01	E 9.57E+00	P 1.54E+01	2.50E+01
	150101 Env. papel y cartón	RC 3.14E+00	E 3.14E+00	R 3.14E+00	RC 3.14E+00	R 1.21E+00	P 1.93E+00	3.14E+00
	150102 Envases de plástico	EC 3.76E+00	E 3.76E+00	R 3.76E+00	EC 3.76E+00	R 1.45E+00	P 2.31E+00	3.76E+00
	150106 Envases mezclados	EC 2.75E+00	E 2.75E+00	E 2.75E+00	EC 2.75E+00	E 1.06E+00	P 1.69E+00	2.75E+00
	Total	4.27E+02	4.27E+02	4.27E+02	4.27E+02	1.64E+02	2.63E+02	4.27E+02
Impactos según GWP		GWP	GWP	GWP	GWP	GWP		
		kg CO2 eq	kg CO2 eq	kg CO2 eq	kg CO2 eq	kg CO2 eq	kg CO2 eq	kg CO2 eq
	170101 Hormigón	5.83E+02	5.83E+02	-1.65E+02	9.70E+01	-6.33E+01	-1.54E+04	-1.55E+04
	170102 Cerámicos	2.81E+02	2.81E+02	-6.21E+01	6.16E+01	-2.39E+01	-1.34E+04	-1.34E+04
	170106 Mezcla hor. y cerám.	4.75E+01	1.77E+02	-3.03E+01	4.75E+01	-1.16E+01	-5.85E+03	-5.86E+03
	170201 Madera	2.08E+03	2.02E+02	2.08E+03	2.08E+03	7.97E+02	1.15E+03	1.95E+03
	170203 Plástico	1.33E+01	1.29E+01	1.29E+01	1.33E+01	5.65E+00	-2.63E+02	-2.57E+02
	170401 Cobre, bronce, latón	-1.56E+01	3.43E+00	-1.56E+01	-1.53E+01	-6.11E+00	-2.38E+02	-2.44E+02
	170402 Aluminio	-1.82E+03	2.68E+00	-1.82E+03	-1.82E+03	-7.10E+02	-8.89E+02	-1.60E+03
	170405 Hierro y acero	-1.66E+03	9.16E+00	-1.66E+03	-1.66E+03	-6.33E+02	-1.30E+03	-1.93E+03
	170802 Mat. a partir de yeso	4.85E+02	4.77E+02	9.72E+02	4.85E+02	3.72E+02	-1.05E+03	-6.76E+02
	170904 Residuos mezclados	1.65E+02	1.28E+02	1.28E+02	1.65E+02	4.90E+01	-2.82E+03	-2.77E+03
	150101 Env. papel y cartón	8.20E+03	5.09E+03	8.20E+03	8.20E+03	3.16E+03	-1.14E+03	2.02E+03
	150102 Envases de plástico	3.93E+02	3.84E+02	-2.60E+03	3.93E+02	-1.00E+03	-5.84E+03	-6.85E+03
150106 Envases mezclados	1.82E+01	1.41E+01	1.41E+01	1.82E+01	5.43E+00	-3.09E+02	-3.04E+02	
Total	8.76E+03	7.36E+03	5.04E+03	8.06E+03	1.94E+03	-4.74E+04	-4.54E+04	
Impactos según CED		CED	CED	CED	CED	CED		
		MJ eq	MJ eq	MJ eq	MJ eq	MJ eq	MJ eq	MJ eq
	170101 Hormigón	8.71E+03	8.71E+03	-3.67E+03	5.62E+02	-1.41E+03	-7.49E+04	-7.63E+04
	170102 Cerámicos	4.20E+03	4.20E+03	-1.45E+03	5.57E+02	-5.57E+02	-1.71E+05	-1.72E+05
	170106 Mezcla hor. y cerám.	5.01E+02	2.64E+03	-7.57E+02	5.01E+02	-2.91E+02	-4.98E+04	-5.01E+04
	170201 Madera	-4.12E+04	2.47E+02	-4.12E+04	-4.12E+04	-1.58E+04	-6.86E+04	-8.44E+04
	170203 Plástico	2.69E+01	2.05E+01	2.05E+01	2.69E+01	8.96E+00	-7.19E+03	-7.18E+03
	170401 Cobre, bronce, latón	-1.11E+03	5.64E+01	-1.11E+03	-1.11E+03	-4.36E+02	-4.30E+03	-4.73E+03
	170402 Aluminio	-2.89E+04	4.41E+01	-2.89E+04	-2.89E+04	-1.12E+04	-1.44E+04	-2.57E+04
	170405 Hierro y acero	-1.97E+04	1.47E+02	-1.97E+04	-1.96E+04	-7.50E+03	-2.02E+04	-2.77E+04
	170802 Mat. a partir de yeso	6.93E+02	5.67E+02	-1.31E+04	6.93E+02	-5.02E+03	-1.73E+04	-2.24E+04
	170904 Residuos mezclados	2.58E+03	1.97E+03	1.97E+03	2.58E+03	7.53E+02	-4.60E+04	-4.52E+04
	150101 Env. papel y cartón	-1.22E+05	7.13E+02	-1.22E+05	-1.22E+05	-4.71E+04	-4.61E+04	-9.32E+04
	150102 Envases de plástico	6.13E+02	4.62E+02	-1.09E+05	6.13E+02	-4.22E+04	-2.13E+05	-2.55E+05
150106 Envases mezclados	2.83E+02	2.16E+02	2.16E+02	2.83E+02	8.34E+01	-5.04E+03	-4.95E+03	
Total	-1.95E+05	2.00E+04	-3.39E+05	-2.07E+05	-1.31E+05	-7.37E+05	-8.68E+05	

Tabla 6.19. Obra 8: Cantidades e Impactos según los indicadores GWP y CED para los escenarios O*, E*, R*, C* y P*. Opción metodológica 2.

6.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El procedimiento simplificado aplica los factores de impacto calculados en el capítulo 5, por lo que son de aplicación las consideraciones de cálculo y la discusión de resultados realizada en los apartados 5.2-5.5.

6.4.1. Interpretación de los resultados obtenidos según las dos opciones metodológicas

Los resultados de la *Opción 1* son los impactos reales que genera la gestión de los RCD de las obras y los de la *Opción 2* son los que resultan de aplicar el supuesto de "carga cero". En ambos casos, los resultados negativos se interpretan como beneficios ambientales y los resultados positivos como impactos adversos, teniendo en cuenta los límites del sistema considerados.

Como sucedía en la evaluación de 1 tonelada de RCD (Apdo. 5.5), la diferencia de impactos netos entre escenarios coincide para ambas opciones metodológicas, obteniéndose el mismo grado de conveniencia de cada escenario. Así, según ambas opciones, en todas las obras e indicadores el escenario P* es el más favorable y la idoneidad del resto de escenarios depende de cada caso (Tabla 6.20).

Sin embargo, los resultados netos varían según la opción metodológica aplicada. Estos dependen de los factores de impacto (Tablas 6.1 y 6.2) y de la cantidad de cada fracción de RCD generada (Tabla 6.21). Esto conlleva a que las diferencias relativas entre escenarios varíen entre ambas opciones, tal y como muestra la Tabla 6.22 según los valores medios de los impactos obtenidos para todas las obras de estudio. Las Figuras 6.17-6.20 muestran los valores medios de todas las obras de los impactos por metro cuadrado para cada escenario.

Grado de favorabilidad	GWP	CED
+	P*	P*
	R*	R*
	E*	C*≈O* (2)
	C*	
-	O* (1)	E*

(1) Según la obra: desde ser el más favorable de todos (obras 4 y 6), al más desfavorable (obra 8)

(2) Con las mayores diferencias para las obras 1, 4 y 6

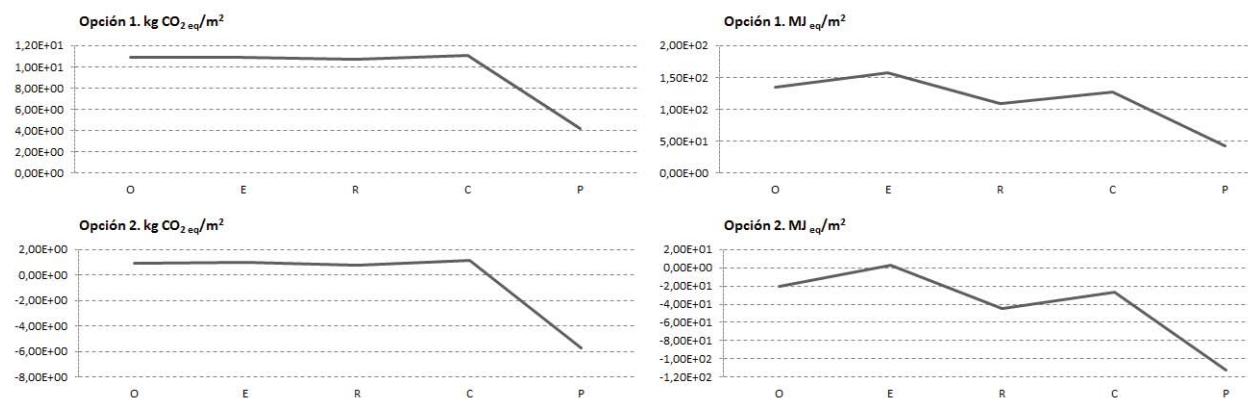
Tabla 6.20. Grado de favorabilidad de cada escenario para los indicadores GWP y CED, según ambas opciones metodológicas.

		Media (%)
170101	Hormigón	54.11
170102,03	Cerámicos	20.81
170106	Mezcla hor. y cerám.	14.48
170201	Madera	0.62
170203	Plástico	0.03
170401	Cobre, bronce, latón	0.05
170402	Aluminio	0.03
170405	Hierro y acero	0.33
170802	Mat. a partir de yeso	1.17
170904	Residuos mezclados	5.98
150101	Env. papel y cartón	0.78
150102	Envases de plástico	0.92
150106	Envases mezclados	0.63

Tabla 6.21. Composición media de los RCD generados en cada obra.

		Escenarios				
		O*	E*	R*	C*	P*
GWP	Op. 1	3%	2%	4%	-	63%
	Op. 2	27%	16%	35%	-	565%
CED	Op. 1	13%	-	31%	20%	73%
	Op. 2	777%	-	1856%	1151%	4394%

Tabla 6.22. Ahorros de cada escenario respecto al escenario más desfavorable, según valores medios.



Figuras 6.17-6.20. Valores medios de los impactos por metro cuadrado para cada escenario. Resultados según GWP y CED para las opciones 1 y 2.

%	OPCIÓN METODOLÓGICA 1				OPCIÓN METODOLÓGICA 2			
	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P
0,1	Plástico Env. mezcla.	Plástico Env. mezcla.	Plástico Env. mezcla.	Plástico Env. mezcla.	Cobre Aluminio	Cobre * Plástico Env. mezcla.	Cobre * Plástico	
1	Cobre R. mezcla.	Cobre R. mezcla. Madera Aluminio * (2) Acero	Cobre R. mezcla. Madera Aluminio * (2) Acero	Cobre R. mezcla. Madera Aluminio * Acero	Plástico Env. mezcla. Acero R. mezcla.	Mezcla H y C * R. mezcla. Cerámicos * Hormigón *	Mezcla H y C * R. mezcla. Cerámicos * Env. mezcla. Hormigón	Cobre * Plástico * Env. mezcla. * Mat. yeso *
2	Madera * Aluminio							Aluminio * (2)
5	Mat. yeso Acero	Mat. yeso	Mat. yeso	Mat. yeso	Madera Mezcla H y C Cerámicos		Env. plástico Mat. yeso	Acero *
10	E. pap./cart.	Env. plástico		Env. plástico	Env. plástico Mat. yeso Hormigón	Acero * (3) Mat. yeso Aluminio * (2)	Acero * (3) Aluminio *	R. mezcla. * Madera
15	Mezcla H y C Env. plástico	Mezcla H y C E. pap./cart.	Mezcla H y C E. pap./cart. Env. plástico	Mezcla H y C E. pap./cart. (1)		Madera	Madera	Mezcla H y C * E. pap./cart. Env. plástico *
40	Hormigón Cerámicos	Hormigón Cerámicos	Hormigón Cerámicos	Hormigón Cerámicos		Env. plástico *		Hormigón * Cerámicos *
>50					E. pap./cart.	E. pap./cart.	E. pap./cart.	

* Residuos que contribuyen con cargas evitadas.

(1) Puntualmente alcanza el 17 %.

(2) Puntualmente es menor de 0,1 % en el caso de la opción 1 y menor de 1 % en el caso de la opción 2.

(3) Puntualmente alcanza el 12 %.

Figura 6.21. Rangos de contribución a los impactos totales según el indicador GWP de cada uno de los tipos de RCD implicados en las obras, según escenarios E, R, C y P y opciones metodológicas 1 y 2.

%	OPCIÓN METODOLÓGICA 1				OPCIÓN METODOLÓGICA 2			
	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P	Escenario E	Escenario R	Escenario C	Escenario P
1	Cobre Env. mezcla.	Aluminio * Cobre Env. mezcla.	Cobre	Aluminio * Cobre Env. mezcla.	Acero * (3) Aluminio Cobre Env. mezcla. Plástico	R. mezcla. Cerámicos * Mezcla H y C * Cobre * Env. mezcla. Plástico	Mat. Yeso Hormigón * Env. plástico R. mezcla. Cerámicos * Mezcla H y C * Cobre * Env. mezcla. Plástico	Cobre * Env. mezcla.
2	Aluminio Plástico	Acero Mat. yeso Plástico	Acero Plástico	Acero Mat. yeso Plástico	Madera	Hormigón *		Plástico Aluminio * (2)
5	Acero				Mat. yeso E. pap./cart. Env. plástico	Mat. Yeso *		Mat. Yeso * Acero *
10	Mezcla H y C Madera E. pap./cart. R. mezcla.	Mezcla H y C Madera E. pap./cart. * R. mezcla. (1)	Mezcla H y C Madera E. pap./cart. * R. mezcla. (1)	Mezcla H y C Madera E. pap./cart. * R. mezcla. (1)		Aluminio * (2) Acero *	Acero *	Mezcla H y C * Madera * R. mezcla. E. pap./cart. *
15	Hormigón	Hormigón	Hormigón	Hormigón	Mezcla H y C R. mezcla.	Madera *	Aluminio * (2)	Hormigón *
40	Cerámicos Env. plástico	Cerámicos Env. plástico	Cerámicos Env. plástico	Cerámicos Env. plástico	Cerámicos Hormigón	E. pap./cart. * Env. plástico *	Madera *	Cerámicos * Env. plástico *
>50							E. pap./cart. *	

* Residuos que contribuyen con cargas evitadas.

(1) Puntualmente alcanza el 12 %.

(2) Puntualmente es menor de 0,1 % en el caso de la opción 1 y menor de 1 % en el caso de la opción 2.

Figura 6.22. Rangos de contribución a los impactos totales según el indicador CED de cada uno de los tipos de RCD implicados en las obras, según escenarios E, R, C y P y opciones metodológicas 1 y 2.

A continuación se realiza el análisis de contribución de cada una de las fracciones de RCD a los resultados totales, para cada opción metodológica e indicador. Las Figuras 6.21 y 6.22 muestran los intervalos de los distintos valores obtenidos por obra para los escenarios E*, R*, C* y P*, comunes a todas las obras. Los escenarios O* se analizan posteriormente, por seguir cada obra un criterio de gestión específico.

6.4.1.1. Opción 1: Resultados según fracciones de RCD

- GWP:

En los escenarios E* todas las fracciones generan impactos adversos, excepto la eliminación de los RCD de madera; en los escenarios R*, C* y P*, todas las fracciones producen impactos adversos excepto el aluminio. En los escenarios O*, los impactos dependen de la gestión llevada a cabo en obra, pudiendo resultar el escenario O* más favorable que el escenario R* correspondiente o aun más desfavorable que el escenario C*.

En todos los escenarios, independientemente de si las fracciones de RCD son eliminadas o recicladas, el 64-75% de los impactos adversos se deben a la gestión de las fracciones inertes; y entre las fracciones que menos impactos generan, se encuentra la de plásticos y la de envases mezclados, que no alcanzan el 0.1% del total del impacto generado. Con valores intermedios se encuentran las fracciones de materiales de yeso y de envases plásticos y de papel y cartón (2-15% según escenario). La fracción de madera supone ahorros en el escenario E* en torno al 2%; sin embargo en los escenarios R*, C* y P*, en los que se recicla, aporta cargas, aunque menores al 1%. En estos escenarios los ahorros se consiguen mediante el reciclaje del aluminio, aunque no alcanzan el 1%. El resto de fracciones aportan cargas en todos los escenarios menores al 1%, y algo mayores para el acero en el escenario E*, con el 2.5% (Fig. 6.21).

En los escenarios O*, particulares para cada obra, todos coinciden en que: las fracciones inertes son las que más impactos generan; las de envases de papel y cartón y plásticos suponen entre el 10-15%; las de materiales de yeso, siempre eliminados, suponen un 2-3% de las cargas totales; el reciclaje del aluminio es el único que evita cargas, aunque en ningún caso ahorra más del 0.5%; la fracción de madera si es eliminada ahorra cargas, pero si se recicla las aporta; y por último, la gestión de las fracciones de plásticos y envases mezclados no suponen en ningún caso más del 0.02%.

- CED:

En los escenarios E* todas las fracciones generan impactos adversos; en los escenarios R*, C* y P*, todos producen impactos adversos excepto las fracciones de aluminio y de envases de papel y cartón; y en los escenarios O* depende de la gestión llevada a cabo en obra.

En todos los escenarios, independientemente de si son eliminadas o recicladas, la mayor parte de los impactos adversos son debidos a dos fracciones: la de envases plásticos (23-38%) y la de residuos cerámicos (12-34%). La fracción de hormigón les sigue en importancia, pero su contribución se reduce a un 10-15%, y las fracciones mezcla de hormigón y cerámicos, madera y residuos mezclados, con un 5-10%. Las fracciones de materiales de yeso y acero contribuyen entre un 1-5%, según sean eliminadas o recicladas. Entre las fracciones que menos contribuyen se encuentran los plásticos, que no superan el 2%, y cobre y envases mezclados, que no superan el 1%. En los escenarios E* ninguna fracción ahorra cargas, pero en los escenarios R*, C* y P* se consiguen ahorros debido al reciclaje de envases de papel y cartón (5-10%); y del aluminio (menores al 1%) (Figura 6.22).

En los escenarios O*, particulares para cada obra, todos coinciden en que las fracciones inertes son las que más impactos adversos generan; las de materiales de yeso, siempre eliminados, suponen en torno al 2.5%; y las de metales, siempre reciclados, no superan el 2%, ahorrándose cargas debido al reciclaje del aluminio. La fracción de madera si se elimina supone un 9% de las cargas, pero si se recicla, desciende al 6%. Y por último, los envases de papel y cartón si se eliminan aportan un 7%, pero si se reciclan, ahorran un 4% de las cargas.

6.4.1.2. Opción 2: Resultados según fracciones

- GWP:

En los escenarios E* todas las fracciones de RCD generan impactos adversos; en los escenarios R todas producen impactos adversos excepto metales, inertes y envases de plástico; en los escenarios C* los beneficios se consiguen con los metales; en los escenarios O* depende de la gestión llevada a cabo en obra; y en los escenarios P* todas producen ahorros, salvo madera y envases de papel y cartón, y plásticos solo si las cantidades prevenidas compensan los impactos de la gestión de las cantidades generadas.

En los escenarios E*, R* y C*, los envases de papel y cartón, que suponen menos del 1% en peso de las cantidades generadas, son la fracción que más cargas producen ya sean eliminados o reciclados, con contribuciones superiores al 45%; entre las que menos contribuyen se encuentran los plásticos y los envases mezclados, que no superan el 1%. El resto de las fracciones no supera el 15%, pero se observa disparidad de resultados según el escenario, sea de reciclaje o eliminación, p. ej.: el hormigón en los escenarios E* supone un 10-15%, pero en los escenarios C* o R* supone menos del 1%; la madera supone en estos escenarios un 10-15%, y en el escenario E* no supera el 3%; o los metales, en los escenarios E* no superan el 1%, y en los otros, acero y aluminio ahorran cargas del 7-12%, aunque el cobre menos del 0.5%. En los escenarios P*, las únicas fracciones que suponen impactos adversos son madera (4-5%) y envases de papel y cartón (9-14%), siendo los mayores ahorros debidos a las fracciones inertes (28-36% para hormigón, 14-28% para cerámicos y 9-12% para mezcla) y envases plásticos (10-14%), seguidos de residuos mezclados (4-8%), y aluminio (2-3%); el resto de fracciones evita menos del 1% de las cargas.

En los escenarios O*, las mayores diferencias entre las obras, se deben a las fracciones inertes y la fracción de madera según se reciclen o eliminen. En cuanto a las otras fracciones, además de que las mayores cargas son debidas a los envases de papel y cartón, coinciden en que los materiales de yeso y envases plásticos son eliminados y suponen cada uno un 2-4% de las cargas totales. Por otro lado, la reducción de carga se obtiene principalmente por la gestión de RCD metálicos, dado que se reciclan en todas las obras, con contribuciones menores del 0.1% para el cobre, y entre el 7-12% para aluminio y acero.

- CED:

En los escenarios E* todas las fracciones de RCD generan impactos adversos; en los escenarios R* todas producen beneficios excepto la de plásticos, la de residuos mezclados y la de envases mezclados que son eliminados en vertedero; en los escenarios C* los beneficios se consiguen con madera, metales y envases de papel y cartón; en los escenarios O* depende de la gestión llevada a cabo en obra; y en los escenarios P* todas producen ahorros, compensándose los impactos de la gestión de las cantidades generadas con los de las cantidades prevenidas. Una excepción en el escenario P* ocurre en la obra 3 para plásticos y aluminio, ya que se generan mayor cantidad de estas fracciones en el escenario de prevención, no lográndose por tanto impactos beneficiosos en este escenarios al no haberse reducido estas fracciones de RCD, debido a que se han tenido en cuenta criterios de sustitución.

En los escenarios E*, las fracciones que más cargas aportan son hormigón (43-50%) y cerámicos (11-24%), seguidas de residuos mezclados y mezcla de hormigón y cerámico (10-15%); los envases de papel y cartón, envases plásticos, madera y envases mezclados contribuyen entre un 1-5%, y el resto, menos del 1%. Los impactos generados en los escenarios R* y C* en todas las obras resultan negativos, ya que la contribuciones de las fracciones que generan impactos no superan el 1%. En los escenarios R*, los mayores ahorros son debidos a los envases de papel y cartón (35-40%) y a los envases plásticos (31-35%), seguidos de las fracciones de madera, aluminio y acero (5-15%), materiales de yeso y hormigón (1-5%). En los escenarios C*, los mayores ahorros son debidos a los envases de papel y cartón (55-65%), madera (16-22%), y acero y aluminio (5-15%). En los escenarios P* todas las fracciones ahorran cargas, siendo las principales los envases plásticos (27-35%), cerámicos (12-28%) y hormigón (10-13%); mezcla de hormigón y cerámicos, madera, materiales de yeso, envases de papel y cartón, ahorran entre el 5-10%, y los metales, menos del 3%; el resto de fracciones no contribuye más del 1%.

En los escenarios O*, la diferencia principal entre las obras de estudio es la debida a la gestión de los envases de papel y cartón, ya que en las obras en las que se elimina, esta fracción representa cargas del 1-2%, y en las que se recicla, se obtiene el 35-79% de ahorros. En el caso de la fracción de madera, los impactos si se eliminan son menores del 1%, pero en las obras en las que se recicla ahorran hasta un 19% de las cargas. Por otro lado, aunque los metales son reciclados en todas las obras, su contribución varía de una obra a otra, según la gestión del resto de fracciones, excepto para el cobre cuya gestión contribuye siempre menos del 2%. Las fracciones inertes según se eliminen o reciclen generan mayores o menores impactos, pero en ningún caso superan el 15%. El resto de fracciones no supera en ningún caso el 1%.

6.4.1.3. Consideraciones particulares de cada opción metodológica

En el presente análisis se ha evaluado la gestión conjunta de todas las fracciones de RCD que se generan en las obras, considerando medidas de prevención de tipo sustitución, lo que supone variaciones de la cantidad y composición de los RCD entre escenarios. Para ello se aplican las dos opciones metodológicas expuestas en el capítulo 5, que conllevan las siguientes consideraciones:

- *Cálculo de escenarios:* en la *Opción 1* cada escenario incluye tanto los procesos *pre*-RCD como GRCD, siendo el proceso de cálculo idéntico para los escenarios con y sin prevención; sin embargo, en la *Opción 2* los procesos *pre*-RCD solo se incluyen en el escenario de prevención, variando el proceso de cálculo según el escenario aplique o no actividades de prevención.
- *Resultados de cada escenario:* la *Opción 1* determina los impactos reales que se producen en cada escenario, condición que no ocurre en la *Opción 2*, siendo necesario considerar los límites del sistema aplicados. Por ejemplo, en los escenarios P* de todas las obras el indicador GWP resulta positivo según la *Opción 1* y negativo según la *Opción 2*: el impacto real es el obtenido según la *Opción 1*, que es un impacto adverso; interpretar el resultado de la *Opción 2* como beneficio ambiental debe realizarse según los límites del sistema considerados.
- *Diferencias de impacto absolutas y relativas entre escenarios:* según la opción metodológica aplicada, para un mismo escenario se obtienen distintos impactos netos, cuya diferencia es igual a las cargas *pre*-RCD de los RCD generados. Así, la diferencia entre impactos absolutos de distintos escenarios según ambas opciones metodológicas es la misma, obteniéndose idénticas conclusiones en cuanto a la idoneidad de un escenario con respecto a otro. Sin embargo, la diferencia entre impactos relativos de distintos escenarios varía según la opción aplicada, siendo necesario interpretar los resultados según las características de cada opción.

- *Comparaciones entre escenarios y opciones metodológicas*: los resultados de los escenarios sin prevención según la *Opción 2* coinciden con los de la metodología de ACV que tradicionalmente se aplica a la gestión de RCD, pudiendo referenciarse los resultados obtenidos a este tipo de estudios, habituales en la literatura. Sin embargo, las comparaciones con otros estudios solo son posibles para una misma unidad funcional: la unidad funcional de la *Opción 2* (la gestión de la cantidad máxima potencialmente generada en la obra) hace referencia a una determinada cantidad de RCD, por lo que no permite la comparación con otras cantidades; la unidad funcional de la *Opción 1* (la gestión de la cantidad real generada en la obra en cada escenario) sí permite la comparación de distintas cantidades de RCD, pero al igual que la unidad funcional de la *Opción 2*, está referida a una obra de determinadas características. Por lo tanto, en ambos casos, la comparación de los resultados entre obras de distintas características no resulta equitativa.

- *Objetivo del estudio*: la *Opción 1* es más indicada cuando el objetivo del estudio sea la toma de decisiones sobre medidas de prevención durante la fase de diseño, ya que permite controlar el impacto real que generan los RCD en una obra o elemento constructivo, aunque, aplicando la *Opción 2* se interpreta fácilmente qué cargas ahorran los RCD prevenidos en el escenario de prevención. Por otro lado, la *Opción 2* puede ser de más utilidad cuando el objetivo sea la toma de decisiones sobre la opción de gestión óptima una vez los RCD han sido generados, en la línea de los ACV que aplican la metodología tradicional pero con la posibilidad de comparar escenarios de prevención e indicar qué mejoras se podrían haber obtenido.

6.4.2. Limitaciones del procedimiento

La calidad de los datos utilizados repercute en la exactitud de los resultados: las cantidades de RCD generadas no se obtienen directamente de obra, ante la falta de datos suministrados por las empresas constructoras, sino que se estiman mediante la herramienta de cuantificación ECO ARQ,2013 [3], según las características de cada edificio; los factores de impacto no son específicos para cada obra, sino para una obra genérica caracterizada en el apartado 6.1.3.2, y están además condicionados por la calidad de los datos utilizados para su cálculo (Apdo. 5.5.4).

Otra limitación de la herramienta es la posibilidad de aplicación a otros casos de estudio: los factores de impacto utilizados solo son válidos para obras situadas en el ámbito geográfico de las obras de estudio (Fig. 3.2), ya que la ubicación geográfica de la obra condiciona el tipo de gestión disponible para cada tipo de RCD y las distancias entre la obra y las instalaciones existentes. Para obras situadas en otro emplazamiento geográfico, se deben calcular nuevos factores de impacto.

Para poder aplicar la herramienta a un mayor número de casos, es necesario introducir parámetros que permitan variar ciertas condiciones, tal y como contempla la herramienta WARM [1]: admite variar el mix eléctrico, el tipo de vertedero y las distancias de las infraestructuras de gestión; además, si se aplican medidas de prevención, posibilita seleccionar la opción de materiales de construcción 100% primarios o la opción de que procedan de mezcla de primarios y reciclados.

Por último, la herramienta solo es aplicable a obras de nueva construcción, siendo necesario considerar otras cuestiones en el caso de obras de reforma o demolición.

6.4.3. Aplicación de los resultados

6.4.3.1. Parámetros de caracterización de la gestión de los RCD generados en la construcción de un edificio

Las comparaciones entre ACV deben realizarse según la misma unidad funcional, resultando problemático comparar la gestión de los RCD generados en las obras de edificios de distintas características. Por ello se proponen unos parámetros de caracterización de la gestión de los RCD generados en obras, que permitan relacionar distintos edificios.

Las características de los edificios pueden definirse según diversas variables, como el volumen, la superficie construida o el coste de ejecución, por lo que un modo de relacionar los RCD generados en diversas obras es referenciarlos a alguna de estas variables.

Además, la Directiva Marco de Residuos establece que la prevención no solo está enfocada a la reducción de la cantidad de residuos generados, sino también a la reducción de los impactos adversos. Por lo tanto, para caracterizar la gestión de los RCD de una obra, es necesario considerar tanto las cantidades de RCD generadas como los impactos asociados.

Según lo anterior, se proponen tres parámetros para la caracterización de la gestión de los RCD generados en la construcción de un edificio, que se definen como:

- λ es la cantidad en peso de los RCD generados en obra por metro cuadrado construido de edificio expresada en: t/m².
- β es la cantidad de impactos asociados a la gestión de los RCD generados en la obra por metro cuadrado construido del edificio expresadas en: unidad del indicador correspondiente/m².
- φ es la cantidad de impactos asociados a la gestión de los RCD generados en la obra por tonelada de RCD generado expresado en: unidad del indicador correspondiente/t.

Estos parámetros están relacionados entre sí, de acuerdo con la siguiente expresión analítica:

$$\beta = \lambda \cdot \varphi \quad (6.5)$$

Por lo tanto, como mínimo es necesario el cálculo de dos de estos valores para caracterizar la gestión de los RCD asociados a un determinado edificio. Los impactos se calcularán aplicando la *Opción 1*, ya que la *Opción 2* puede conllevar interpretaciones confusas como, por ejemplo, si se obtienen resultados negativos en un escenario, suponer que a mayor cantidad generada de RCD se consigue mayor beneficio ambiental (véase apartado. 5.1.1.1).

Entre las utilidades de estos parámetros, se encuentran las siguientes: (1) permiten detectar sobre qué puntos enfocar las mejoras de la gestión (la composición o la cantidad generada o el tipo de gestión que se lleve a cabo); (2) permiten establecer unos valores de referencia para un modelo constructivo y comparar respecto a ellos los valores obtenidos para otros modelos constructivos, pudiendo determinar así tanto el modelo óptimo en cuanto a la gestión de los RCD, como los modelos que no alcanzan los mínimos de referencia.

Como ejemplo de la aplicación, se calculan estos parámetros para los escenarios R* y P* de las obras de estudio y se toman como valores de referencia los valores medios de todas ellas (Tabla 6.23), comparándose todas las obras para cada escenario. Los casos en los que estos parámetros superan los valores de referencia son susceptibles de mejora, como ocurre en la obra 3, en la que todos los parámetros resultan superiores, tanto en los escenarios R* como P*. Por el contrario, en los casos en los que estos parámetros son inferiores a los valores de referencia, la gestión de los RCD está optimizada, como ocurre en las obras 4 y 7, que en los dos escenarios presentan valores inferiores a la media en todos los parámetros. Por otro lado, se puede observar que entre los escenarios R* y P* de cada obra, el parámetro φ no presenta grandes diferencias, pero los parámetros λ y β , siempre son menores para el escenario P*, es decir, el escenario P* es el óptimo.

	Escenarios R*					Escenarios P*				
	λ (t/m ²)	Impactos según GWP		Impactos según CED		λ (t/m ²)	Impactos según GWP		Impactos según CED	
		β ⁽¹⁾	φ ⁽²⁾	β ⁽³⁾	φ ⁽⁴⁾		β ⁽¹⁾	φ ⁽²⁾	β ⁽³⁾	φ ⁽⁴⁾
Obra 1	0.06	10.84	192.25	113.67	2016.79	0.02	4.27	191.20	44.42	1990.23
Obra 2	0.06	11.24	189.53	115.65	1950.71	0.02	4.32	189.57	44.46	1950.71
Obra 3	0.06	11.39	191.71	118.53	1994.86	0.02	4.64	191.93	48.62	2010.29
Obra 4	0.05	10.37	189.43	107.22	1958.57	0.02	3.99	189.43	41.20	1957.99
Obra 5	0.06	11.17	194.80	109.14	1903.52	0.02	4.42	194.78	43.23	1903.09
Obra 6	0.05	10.30	194.50	106.36	2007.63	0.02	3.96	194.47	40.87	2007.20
Obra 7	0.05	9.36	186.12	93.49	1859.17	0.02	3.60	186.16	35.96	1860.51
Obra 8	0.06	10.77	192.22	112.90	2015.55	0.02	4.14	192.46	43.50	2020.41
MEDIA	0.06	10.68	191.32	109.62	1963.35	0.02	4.17	191.25	42.78	1962.55

(1) unidades: Kg CO_{2,eq}/m²

(2) unidades: Kg CO_{2,eq}/t

(3) unidades: MJ_{eq}/m²

(4) unidades: MJ_{eq}/t

Tabla 6.23. Caracterización de la gestión de RCD de las obras de estudio

6.4.3. Comparaciones con otros estudios

De los estudios analizados en el capítulo 2, solo el estudio de Ortiz et al., 2010 [4] evalúa la gestión de los RCD generados en edificios de nueva construcción. Este estudio no considera actividades de prevención, empleando la metodología tradicional de ACV aplicado a la gestión de los RCD, por lo que, en todo caso, los resultados obtenidos serían comparables con los de los escenarios sin prevención de la *Opción 2*. Pero como se ha indicado, la comparación entre estudios solo puede realizarse según la misma unidad funcional, y en este caso no se cumple dicho precepto: en Ortiz et al., 2010 la unidad funcional es una determinada cantidad de RCD según cierta composición por metro cuadrado de edificio, y en este estudio se basan en los RCD totales generados en cada obra; además, difieren en las características de los procesos de la gestión evaluada.

No obstante, para tener un orden de magnitud, se calculan los parámetros de caracterización de la gestión de los RCD generados en la construcción de un edificio (Tabla 6.24), aunque aplicando los resultados de la *Opción 2* que, como se ha indicado, puede llevar a confusiones.

	Parámetros de caracterización		
	λ (t/m ²)	β (kg CO _{2,eq} /m ²)	φ (kg CO _{2,eq} /t)
Ortiz et al., 2010			
Escenario E*	0.20	6.28	30.48
Escenario R*	0.20	-30.40	-147.57
Resultados según opción metodológica 2			
Escenario E*	0.06	1.01	16.83
Escenario R*	0.06	0.76	12.66

Tabla 6.24. Parámetros de caracterización de la gestión de RCD obtenidos según este estudio (para la opción metodológica 2) y según Ortiz et al., 2010 [4]

Por un lado, los resultados están afectados por las diferencias de cuantificación de los RCD, tanto en composición como en cantidades. El parámetro α en el caso de estudio, es mucho menor que el obtenido en Ortiz et al.,2010. Esto puede ser debido a cuestiones tipológicas de las obras de estudio, en la que se emplean elementos prefabricados de tabiquería de cartón yeso y fachadas prefabricadas en vez de elementos ejecutados in situ como fábricas de ladrillo. También es debido a la no inclusión de algunos tipos de residuos como los envases de madera por haberlos supuesto 100% reutilizables. Además, el número de plantas de los edificios de los casos de estudios (todos ellos por encima de las 6 plantas) conlleva también a una menor ratio de RCD generados con respecto a edificios de menor número de plantas.

Por otro lado, también influyen las diferencias observadas en el apartado 4.4.3 en relación a los impactos por tonelada de cada fracción (Figs. 4.63 y 4.64), en particular, el reciclaje de madera, aluminio y envases de papel y cartón. Esto conlleva a grandes diferencias entre los parámetros φ y β de cada estudio, especialmente en los escenarios R*, que además resultan de distinto signo. Los valores de φ de los escenarios E*, sin embargo, son del mismo rango.

En cuanto a la utilización de los valores de un ACV tradicional (*Opción 2*), al haberse aplicado el supuesto de “carga cero”, los escenarios pueden estar penalizados o bonificados en función de las cargas *pre*-RCD asociadas a las fracciones que intervienen. Además, en el caso de los escenarios R*, los resultados negativos suponen que cuanto mayor es la cantidad e RCD generado, se logra un mayor beneficio ambiental, lo cual resultaría se una paradoja.

6.5. REFERENCIAS

- [1] U.S. Environmental Protection Agency. Office of Resource Conservation and Recovery. Waste Reduction Model (WARM). 2013; Available at: <<http://epa.gov/epawaste/>>. Accessed 09/10, 2013.
- [2] WRAP. Designing out Waste Tool for Buildings. 2013; Available at: <<http://dowtb.wrap.org.uk>>. Accessed 09/10, 2013.
- [3] Equipo de Investigación ECO-ARQ. Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la ETSA de Sevilla. Proyecto: Menos Residuos de Construcción y Demolición es igual a más Ecoeficiencia. Herramienta de Ayuda a la Reducción de Residuos en el Diseño y Construcción de Viviendas en Andalucía. Junta de Andalucía; Consejería de Fomento y Vivienda. 2012; Available at: <<http://juntadeandalucia.es/fomentoyvivienda>>.
- [4] Ortiz O, Pasqualino JC, Castells F. Environmental performance of construction waste: Comparing three scenarios from a case study in Catalonia, Spain. Waste Manage 2010 APR;30(4):646-654.

CAPÍTULO 7. Conclusiones

Conclusiones generales

- El estudio del impacto ambiental que ocasiona la gestión de los RCD requiere el uso de herramientas, habiéndose demostrado la potencial utilidad del ACV.
- Se verifica la Hipótesis 1, al haberse obtenido los impactos ambientales derivados de la gestión de los RCD.
- Se verifica la Hipótesis 1, al haber permitido el ACV comparar diversos escenarios de gestión de los RCD.
- Se ha logrado introducir el ACV en la evaluación de escenarios de prevención, mediante dos opciones metodológicas propuestas.
- La aplicación de esta metodología al caso de estudio demuestra: (1) que para cada fracción de RCD la prevención es en general la opción más favorable, (2) la necesidad de considerar en el diseño de sistemas constructivos con medidas de prevención los impactos de la gestión de los RCD.
- Se ha logrado elaborar una herramienta simplificada basada en ACV que facilite a los técnicos proyectistas evaluar los impactos de la gestión de los RCD.
- La aplicación de dicha herramienta al caso de estudio demuestra: (1) que la prevención es la opción más favorable, (2) la necesidad de considerar la importancia relativa de cada fracción de RCD en una obra, (3) la dificultad para comparar la gestión de los RCD de obras de edificios de distintas características.
- Se ha logrado caracterizar la gestión de los RCD en obras mediante los parámetros de caracterización propuestos.

Conclusiones específicas

Hito 1) *Revisión bibliográfica de los estudios que aplican el ACV a la gestión de los RCD.* De los 12 estudios principales identificados, ninguno considera la prevención, detectándose la necesidad de una metodología de ACV que permita considerar escenarios de prevención.

Hito 2) *Aplicación de la metodología tradicional de ACV de gestión de RCD a un caso de estudio y propuesta de un Índice de Reciclaje.* Se concluye que: en el 71% de los casos, el reciclaje es más favorable que la eliminación; es necesaria la separación de las fracciones inertes en obra; los procesos más significativos son los de gestión final; existe falta de datos públicos sobre RCD.

Hito 3) *Propuesta de una metodología de ACV que permite considerar la prevención, aplicación a un caso de estudio y propuesta de un Índice de Prevención.* Respecto a la metodología (Opciones 1 y 2) se concluye que: en relación a la metodología tradicional es necesario que la unidad funcional permita considerar distintas cantidades de RCD y ampliar los límites del sistema para incluir los procesos pre-RCD, complejizándose la elaboración del ICV; la idoneidad de cada opción metodológica depende del objeto del estudio. De su aplicación al caso de estudio se concluye que: en el 87% de los casos, la prevención es la opción más favorable; la fase más significativa es la de producción de materiales; comparando todas las fracciones para GWP y CED, el caso más favorable es el reciclaje del aluminio y el más desfavorable, la eliminación del aluminio.

Hito 4) *Propuesta de una herramienta simplificada basada en ACV para evaluar la gestión de los RCD en obras y aplicación a un caso de estudio.* Se ha logrado evaluar la gestión de los RCD en obras a partir del impacto por tonelada de cada fracción y de las cantidades generadas. De su aplicación al caso de estudio se concluye que: el escenario de prevención es el más favorable; los mayores ahorros se consiguen por la prevención de las fracciones inertes; los mayores impactos se deben a las fracciones inertes (GWP) y a los envases plásticos y los RCD cerámicos (CED); la gestión de los RCD generados apenas ahorra cargas, consiguiéndose por la eliminación de la madera o el reciclaje del aluminio (GWP) y el reciclaje del aluminio y de los envases de papel y cartón (CED).

Capítulo 7. Conclusiones

7.1. Conclusiones	181
7.1.1. Conclusiones generales	181
7.1.2. Conclusiones específicas	182
7.2. Futuras líneas de investigación	186
7.3. Referencias	187

7.1. CONCLUSIONES

Como resultado del trabajo desarrollado en esta Tesis, se obtienen las siguientes conclusiones:

7.1.1. Conclusiones generales

Primera. El estudio del impacto ambiental que ocasiona la gestión de los RCD requiere el uso de herramientas, habiendo demostrado esta investigación la potencial utilidad del ACV en este ámbito mediante: (1) la aplicación del ACV a un caso de estudio, según la metodología tradicionalmente utilizada para evaluar la gestión de los RCD; (2) la propuesta, en el marco del ACV, de una metodología que permite evaluar escenarios de prevención de RCD y su aplicación a un caso de estudio; (3) la elaboración de una herramienta simplificada basada en ACV para evaluar la gestión de los RCD en obras y su aplicación a un caso de estudio.

Segunda. Se verifica la Hipótesis 1 al haberse obtenido los impactos ambientales derivados de la gestión de los RCD tanto para fracciones independientes de RCD como para la totalidad de los RCD generados en una obra.

Tercera. Se verifica la Hipótesis 2 al haber permitido el ACV comparar diversos escenarios de gestión de los RCD (incluida la prevención), determinando las opciones más favorables ambientalmente.

Cuarta. Se ha logrado introducir el empleo del ACV en la evaluación de escenarios de prevención, mediante dos opciones metodológicas propuestas.

Quinta. La aplicación de esta metodología al caso de estudio demuestra: (1) que para las fracciones de RCD y categorías de impacto analizadas, la prevención es la opción de gestión más favorable en el 87% de los casos; y (2) la necesidad de que en el diseño de sistemas constructivos con medidas de prevención, los técnicos proyectistas consideren los impactos de la gestión de los RCD, y no solo las cantidades de RCD generados.

Sexta. Se ha logrado elaborar una herramienta simplificada basada en ACV que facilita a los técnicos proyectistas evaluar los impactos de la gestión de los RCD de obras o sistemas constructivos.

Séptima. La aplicación de la herramienta simplificada al caso de estudio demuestra: (1) que la prevención es la opción de gestión más favorable, llegando a ahorrar hasta un 60% de las cargas según GWP y CED, respecto a un escenario de reciclaje sin prevención; (2) la necesidad de considerar la importancia relativa de cada fracción de RCD generada en una obra, determinada por el impacto por tonelada y la cantidad de toneladas que se genera de cada fracción de RCD; y (3) la dificultad para comparar la gestión de los RCD de obras de edificios de distintas características.

Octava. Se ha logrado caracterizar la gestión de los RCD mediante los parámetros de caracterización de la gestión de los RCD en obras propuestos (λ , β y φ), relacionando las cantidades de RCD e impactos generados asociados a una variable característica del edificio, y permitiendo por tanto comparar la gestión de los RCD de obras de edificios de distintas características o con valores de referencia previamente establecidos.

Con todo ello se concluye que la aplicación de la metodología propuesta y el uso de la herramienta simplificada en el futuro generarán un mayor conocimiento de los impactos derivados de la gestión de los RCD y permitirá llevar a cabo escenarios de gestión de RCD más eficientes, contribuyendo a la consecución de los objetivos de la Directiva Marco de Residuos.

7.1.2. Conclusiones específicas

Las conclusiones específicas logradas en cada hito alcanzado en este estudio se indican a continuación.

HITO 1) Revisión bibliográfica de los estudios que aplican el ACV a la gestión de los RCD, de la que se extraen las siguientes conclusiones:

Primera. Se han identificado 12 estudios principales que utilizan el ACV para evaluar la gestión de los RCD. De ellos, cuatro analizan los RCD generados en obras de demolición; dos de obras de nueva construcción; y el resto no los especifican, evaluando los RCD de plantas de tratamiento independientemente de la obra de procedencia. Las principales categorías de impacto analizadas son: calentamiento global, acidificación, eutrofización, oxidación fotoquímica, agotamiento del ozono, así como cuestiones energéticas. Respecto a los escenarios de gestión evaluados: todos consideran el reciclaje; en menor número, la eliminación, la incineración o la reutilización; y ninguno estudio contempla escenarios de prevención.

Segunda. De este análisis bibliográfico se detecta la necesidad de proponer una metodología de ACV que permita considerar escenarios de prevención, dado que esta es la opción prioritaria según la jerarquía de gestión de residuos.

HITO 2) Aplicación de la metodología tradicional de ACV de gestión de residuos a un caso de estudio (hito 2.1) y propuesta de un Índice de Reciclaje (hito 2.2).

HITO 2.1) Aplicación de la metodología de ACV tradicional a la gestión de cada fracción de RCD generada en obras de edificios de viviendas en Andalucía, según los escenarios (E), (R) y (C)⁽¹⁾. Del análisis ambiental de los casos de estudio se extraen las siguientes conclusiones:

Primera. El reciclaje es más favorable que la eliminación, en el 71% de los casos analizados. Entre las excepciones, se encuentran las fracciones de madera, las de materiales de yeso y las de envases de papel y cartón según GWP, ya que el reciclaje se ve penalizado por el crédito de CO₂ que se le otorga a los productos derivados de la madera. Por otro lado, para las fracciones inertes las ventajas no son muy amplias, siendo aconsejable la evaluación de otros indicadores, en particular el de uso de suelo, dado que es uno de los problemas asociados a los RCD inertes.

Segunda. Para que el reciclaje de las fracciones inertes resulte beneficioso es necesaria su separación en obra. También es necesaria la separación en obra de los envases plásticos y de la fracción de materiales de yeso (yeso laminado), en estos casos para que su reciclaje sea viable.

Tercera. La principal causa de los impactos adversos en los sistemas de gestión de RCD son los procesos de gestión final (eliminación o reciclaje), siendo de menor relevancia los procesos de acopio, transporte o clasificación. Los ahorros de cargas solo se producen en los escenarios de reciclaje, gracias a los productos evitados.

Cuarta. Existe una falta de disponibilidad de datos públicos sobre RCD y en particular sobre el reciclaje de las fracciones inertes.

(1) Escenarios evaluados: (E) separación en obra y eliminación, (R) separación en obra y reciclaje, (C) clasificación en planta y eliminación o reciclaje según cada fracción de RCD.

HITO 2.2) Propuesta de un Índice de Reciclaje, con el objeto de relacionar desde el punto de vista energético la opción del reciclaje frente a la de la eliminación de un residuo. Del cálculo para cada fracción de RCD, se extraen las siguientes conclusiones:

Primera. El aluminio es la fracción de RCD cuyo reciclaje presenta más ventajas frente a su eliminación desde el punto de vista energético, al obtener el valor máximo del Índice de Reciclaje de 655.52.

Segunda. Las fracciones inertes son las fracciones de RCD para las que el reciclaje presenta menos ventajas energéticas frente a la eliminación, al obtener los valores mínimos del Índice de Reciclaje de 0.29-0.42.

HITO 3) Propuesta de una metodología, en el marco del ACV, que permite considerar escenarios de prevención (hito 3.1), su aplicación a un caso de estudio (hito 3.2) y propuesta de un Índice de Prevención (hito 3.3).

HITO 3.1) Propuesta de metodología: Opciones 1 y 2. Se extraen las siguientes conclusiones:

Primera. Es necesario ampliar los límites del sistema respecto a los utilizados en la metodología tradicional e incluir los procesos *pre*-RCD para evaluar escenarios de prevención: la *Opción 1* computa los procesos GRCD y *pre*-RCD en el escenario real donde suceden y la *Opción 2* solo incluye los procesos *pre*-RCD en los escenarios de prevención.

Segunda. En la metodología tradicional, la unidad funcional se basa en general en la cantidad de RCD generados, coincidente en todos los escenarios; sin embargo, esta cantidad varía al incluir escenarios de prevención, repercutiendo por tanto en la unidad funcional propuesta en la metodología: la *Opción 1* utiliza una unidad funcional basada en distintas cantidades de RCD, según la cantidad generada en cada escenario; y la *Opción 2* analiza la máxima cantidad de RCD potencialmente generable, que es la de un escenario sin prevención.

Tercera. La ampliación de los límites del sistema y la inclusión de los procesos *pre*-RCD complejiza la elaboración del ICV respecto a la metodología tradicional, en ambas opciones metodológicas. Además, los procesos GRCD se desarrollan usualmente a nivel local (por el principio de proximidad), pero los procesos *pre*-RCD pueden producirse a nivel internacional, dificultando la tarea de la elaboración del inventario necesario para aplicar ambas opciones metodológicas.

Cuarta. Ambas opciones metodológicas permiten obtener similares conclusiones sobre la idoneidad de los escenarios. Aunque los impactos obtenidos para un mismo escenario son distintos en ambas opciones debido a las diferencias en los límites del sistema, la relación entre los impactos de los diversos escenarios comparados coincide en valores absolutos. Los resultados de los escenarios que no consideran la prevención en la *Opción 2* coinciden con los de la metodología tradicional.

Quinta. Respecto a las ventajas e inconvenientes y la idoneidad de aplicación que presenta cada opción metodológica:

- a) *Opción 1:* En esta opción se computan todos los procesos en el escenario real donde suceden, obteniéndose los impactos reales generados y permitiendo la comparación de escenarios donde se generan distintas cantidades de RCD. Sin embargo, un inconveniente de la *Opción 1* es que la

(2) Escenarios evaluados: (E) separación en obra y eliminación, (R) separación en obra y reciclaje, (C) clasificación en planta y eliminación o reciclaje según cada fracción de RCD, (P) prevención

comparación entre escenarios de gestión puede llevar a la conclusión errónea de que las cargas GRCD son insignificantes y que la elección de una opción de gestión u otra es irrelevante, debido a la magnitud de las cargas *pre*-RCD. Esta opción es preferible para estudios enfocados a la toma de decisiones sobre medidas de prevención durante la fase de diseño.

b) *Opción 2*: Los escenarios sin prevención en esta opción coinciden con los de la metodología tradicional, pudiéndose establecer relaciones con estudios de este tipo. Sin embargo, un inconveniente de la *Opción 2* es que no se obtienen los impactos reales, pudiendo llevar al error de interpretar como beneficios, impactos que realmente son adversos. La *Opción 2* es preferible cuando el objetivo del estudio sea la toma de decisiones sobre la opción de gestión óptima una vez que el RCD ha sido generado, permitiendo cuantificar la reducción de impactos que se podría haber conseguido.

HITO 3.2) Aplicación de la metodología propuesta a la gestión de cada fracción de RCD generada en obras de edificios de viviendas en Andalucía, según los escenarios (E), (R), (C) y (P) ⁽²⁾. Del análisis ambiental de los casos de estudio se extraen las siguientes conclusiones:

Primera. La prevención es la opción de gestión que menos impactos genera en el 87% de los casos. Algunas excepciones en las que el reciclaje es más favorable que la prevención son: el aluminio según todos los indicadores, el acero según el indicador POP y los envases de papel y cartón según los indicadores AP y CED.

Segunda. La fase del ciclo de vida que más contribuye a los impactos es la de producción de materiales, seguida de la fase de gestión de RCD, donde los procesos más relevantes son los de gestión final y los productos evitados en caso de reciclaje.

Tercera. Los principales factores que condicionan los resultados de cada fase son: (1) las infraestructuras de gestión disponibles (que influyen en las distancias a recorrer y la posibilidad de gestión de cada fracción de RCD), y (2) las características de cada fracción de RCD (la densidad influye en los procesos de acopio y transporte; y la composición y naturaleza de los materiales determinan la fase de producción de materiales, los procesos de gestión final y los productos evitados por el reciclaje.

Cuarta. Los casos más favorables para los indicadores GWP y CED, atendiendo al ciclo de vida completo de los RCD según la *Opción 1*, son: el reciclaje de aluminio (GWP y CED), la eliminación de la madera (GWP) y el reciclaje de envases de papel y cartón (CED). En todos estos casos, se generan beneficios debido a los productos evitados que compensan las cargas del resto de procesos, excepto para la eliminación de la madera, cuyo beneficio se debe al ahorro por el crédito de CO₂ de la fase de producción del material.

Quinta. Los casos más desfavorables para los indicadores GWP y CED, atendiendo al ciclo de vida completo de los RCD según la *Opción 1*, son: la eliminación del aluminio y de los plásticos, y la eliminación y el reciclaje de los envases plásticos (GWP y CED); y la eliminación y el reciclaje de los envases de papel y cartón (GWP). La causa de que estos sean los casos que más impactos generan son las cargas *pre*-RCD asociadas a cada fracción de RCD, excepto para los envases de papel y cartón según GWP, en los que las principales cargas son por los procesos GRCD.

(3) Escenarios evaluados: (E*) separación en obra y eliminación, (R*) separación en obra y reciclaje cuando sea posible o eliminación, (C*) clasificación en planta y eliminación o reciclaje según cada fracción de RCD, (P*) aplicación de medidas de prevención y gestión de los RCD generados según el escenario (R*) y (O*) según la gestión real llevada a cabo en cada obra. Estos escenarios se definieron a partir de los escenarios de cada fracción establecidos en el hito 3.2.

HITO 3.3) Propuesta de un Índice de Prevención, con el objeto de relacionar desde el punto de vista energético la opción de la prevención frente a la del reciclaje de un residuo. Del cálculo para cada fracción de RCD, se extraen las siguientes conclusiones:

Primera. De todas las fracciones de RCD analizadas, la cerámica es la fracción para la que la prevención presenta más ventajas frente al reciclaje desde el punto de vista energético, al obtener el valor máximo del Índice de Prevención de 191.55.

Segunda. El aluminio y los envases de papel y cartón son las fracciones para las que la prevención presenta menos ventajas energéticas frente al reciclaje, al obtener los valores mínimos del Índice de Prevención de 0.82 y 0.61 respectivamente. Dado que los valores son inferiores a la unidad, para estas fracciones el reciclaje es más ventajoso que la prevención.

HITO 4) Propuesta de procedimiento de cálculo y elaboración de herramienta simplificada basados en ACV para evaluar escenarios alternativos de gestión de los RCD en obras (hito 4.1), y su aplicación a un caso de estudio (hito 4.2).

HITO 4.1) Propuesta de procedimiento de cálculo y elaboración de herramienta simplificada para las Opciones 1 y 2, de las que se extraen las siguientes conclusiones:

Primera. El procedimiento de cálculo propuesto, sistematizado en la herramienta simplificada, permite obtener el impacto de la gestión de los RCD en obras a partir del impacto de la gestión de una tonelada de cada fracción (factor de impacto) y las cantidades de RCD generadas.

Segunda. Aunque la herramienta simplificada se elabora para un modelo de construcción de viviendas en Andalucía, puede extrapolarse a otros casos de estudio.

HITO 4.2) Aplicación de la herramienta simplificada a la gestión de los RCD generados en obras de edificios de viviendas en Andalucía, según los escenarios de obra (E*), (R*), (C*), (P*) y (O*)⁽³⁾. Del análisis ambiental de los casos de estudio se extraen las siguientes conclusiones:

Primera. El escenario de prevención es el más favorable y el escenario de reciclaje con separación en obra es más favorable que el de eliminación, en todas las obras e indicadores.

Segunda. Con respecto a los ahorros conseguidos mediante la prevención en las obras de estudio:

a) Según GWP, los mayores ahorros se consiguen por la reducción de las fracciones inertes, siendo de menor importancia los conseguidos por el resto de fracciones. Una reducción del 60% en las cantidades generadas de las fracciones inertes supone una reducción de impactos del 37-43% respecto al escenario sin prevención; una reducción del 60% de las cantidades generadas de envases de papel y cartón supone una reducción del 7-10%; y una reducción del 60% en las cantidades generadas de envases plásticos supone una reducción de impactos en torno al 5%.

b) Según CED, los mayores ahorros se consiguen por la reducción de las fracciones inertes, siendo significativo también el conseguido por la reducción de los envases plásticos. Una reducción del 60% en las cantidades generadas de las fracciones inertes supone una reducción de impactos entre el 27-35% respecto al escenario sin prevención; y una reducción del 60% en las cantidades generadas de envases plásticos supone una reducción de impactos del 15-21%.

Tercera. Con respecto a los impactos adversos producidos por la gestión de los RCD generados, teniendo en cuenta el ciclo de vida completo del residuo (*Opción 1*):

a) Según GWP, los mayores impactos adversos se deben a las fracciones inertes y en segundo lugar a los envases, independientemente de si son reciclados o eliminados. Las fracciones inertes suponen el 50-80% de los impactos totales que, aunque con bajo impacto por tonelada, suponen más del 80% en peso de los RCD totales. Los envases tanto plásticos como de papel y cartón suponen entre el 5-15% de los impactos, debido principalmente a la magnitud de los impactos por tonelada. En cambio, los plásticos, aunque tienen alto impacto por tonelada, apenas contribuyen a los impactos totales porque se generan en cantidad mínima.

b) Según CED, los mayores impactos adversos se deben a los envases plásticos y los RCD cerámicos, tanto si se eliminan como si se reciclan, suponiendo en ambos casos entre el 15-40% de los impactos. Les sigue la fracción de hormigón, siendo su contribución menor del 15%, aun cuando se generan en mayor cantidad que la fracción cerámica.

Cuarta. Con respecto a los impactos beneficiosos producidos por la gestión de los RCD generados, teniendo en cuenta el ciclo de vida completo del residuo (*Opción 1*):

a) Según GWP, apenas se consiguen ahorros mediante la gestión de los RCD generados en las obras. Los ahorros se consiguen por la eliminación de la madera y el reciclaje del aluminio, suponiendo menos del 2% y del 0.5% respectivamente.

b) Según CED, apenas se consiguen ahorros mediante la gestión de los RCD generados en las obras. Los ahorros se consiguen por el reciclaje del aluminio y de los envases de papel y cartón, suponiendo menos del 1% y del 5% respectivamente.

7.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

A partir de esta investigación se podrían llevar a cabo los siguientes estudios:

1. El análisis de la influencia de los factores determinantes detectados en este estudio, como son: la densidad de los RCD, las distancias recorridas hasta las instalaciones de gestión o la composición de los RCD.
2. La adaptación de la metodología propuesta en el presente estudio a obras de reforma o demolición, considerando otras cuestiones como las relacionadas con las hipótesis de composición de los RCD, la viabilidad del reciclaje de ciertas fracciones o la reutilización de elementos.
3. La aplicación de la metodología propuesta y de la herramienta simplificada a otros casos de estudio, por ejemplo: obras de nueva planta de otras tipologías constructivas, en otras localizaciones geográficas, etc.
4. El desarrollo de herramientas basadas en el procedimiento simplificado propuesto que introduzcan variables para adaptar obras que difieran de la obra genérica de referencia, en aspectos como el mix eléctrico, el tipo de vertedero, las distancias de las infraestructuras de gestión, o si la composición de los materiales *pre*-RCD es primaria o mezcla; tal y como contempla la herramienta *WARM* [1].

5. La revisión del *Índice de Aprovechamiento* propuesto en Llatas et al., 2010 [2] mediante la introducción de los *Índices de Reciclaje y Prevención* propuestos y calculados para cada fracción de RCD en este estudio.
6. La aplicación de la herramienta de cálculo propuesta para el diseño de sistemas constructivos que contemplen medidas de prevención teniendo en cuenta los impactos ambientales.
7. La elaboración de valores de referencia para los parámetros de caracterización propuestos (λ , β y φ) para establecer criterios de comparación entre la gestión de los RCD de obras de distintas características.
8. El desarrollo de un Inventario de Ciclo de Vida sobre el reciclaje de las fracciones inertes en particular y de otros procesos de gestión de los RCD en el territorio español en general.
9. La evaluación de la gestión de los RCD desde el punto de vista de la sostenibilidad, considerando los aspectos económicos y sociales, mediante un método de análisis multicriterio [3-5].

7.3. REFERENCIAS

- [1] U.S. Environmental Protection Agency. Office of Resource Conservation and Recovery. *Waste Reduction Model (WARM)*. 2013; Available at: <<http://epa.gov/epawaste/>>. Accessed 09/10, 2013.
- [2] Llatas, C., Bizcocho, N., Huete, R. *Propuesta Metodológica para la obtención de un Índice de Aprovechamiento de Residuos en Obras de Rehabilitación en Andalucía*. Proceedings of the Sustainable Building International Conference 2010; 28-20 Abril, 2010; Madrid; 2010.
- [3] Craighill A, Powell J. *A Lifecycle Assessment and Evaluation of Construction and Demolition Waste*. Centre for Social and Economic Research on the Global Environment, CSERGE Working Paper WM 99-03, University of East Anglia, UK 1999.
- [4] Klang A, Vikman PA, Brattebo H. *Sustainable management of demolition waste - an integrated model for the evaluation of environmental, economic and social aspects*. Resources Conservation and Recycling 2003 JUL;38(4):317-334.
- [5] Roussat N, Dujet C, Mehu J. *Choosing a sustainable demolition waste management strategy using multicriteria decision analysis*. Waste Manage 2009 JAN 2009;29(1):12-20.

BIBLIOGRAFÍA

Normativa sobre Residuos de Construcción y Demolición

Comunidad de Madrid. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Plan Regional de Residuos de Construcción y Demolición (2006-2016). 2006.

Diputación de Sevilla. Ordenanza Marco de Residuos de la Construcción y Demolición de la Mancomunidad de los Alcores; BOP 272, 24 noviembre 2003.

Gobierno de España, Ministerio de la Presidencia. Real Decreto 105/2008, por el que se regula la producción y gestión de los RCD. 2008;BOE 038, 13 febrero 2008.

Gobierno de España, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Plan Nacional Integrado de Residuos para el período 2008-2015. 2009;BOE 049, 26 de febrero de 2009.

Gobierno de España, Ministerio de Medio Ambiente. Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. 2002;BOE 043, 19 febrero 2002.

Gobierno de España, Ministerio de Medio Ambiente. Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición 2001-2006. 2001;BOE 166, 12 julio 2001.

Gobierno de España, Ministerio de Medio Ambiente. Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero; BOE 25, 29 enero 2002, 3507-3521

Gobierno de España. Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. 1998;BOE 096, 22 abril 1998.

Gobierno de España. Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. 2011; BOE 181, 29 julio 2011.

Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca. Decreto 112/2012, de 26 de junio, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. Boletín Oficial del País Vasco 2012; 3 de septiembre de 2012;171.

Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Decreto 73/2012, de 20 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de Residuos de Andalucía. BOJA 81, 26 abril 2012.

Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental. BOJA 143, 20 julio 2007.

Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Decreto 397/2010, de 2 de noviembre, por el que se aprueba el Plan Director Territorial de Residuos No Peligrosos de Andalucía 2010-2019.

Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Decreto 7/2012, de 17 de enero, por el que se aprueba el Plan de Prevención y Gestión de Residuos Peligrosos de Andalucía 2012-2020. BOJA 28, 10 febrero 2012.

Parlamento Europeo. Directiva 1999/31/CE de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos. 1999; Diario Oficial de la Unión Europea L182, 1–19.

Parlamento Europeo. Directiva 2008/98/CE de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. 2008;Diario Oficial de la Unión Europea L312, 0003–0030.

Parlamento Europeo. Directiva 75/442/CEE, de 15 de Julio de 1975, relativa a los residuos. 1975;Diario Oficial n° L 194 de 25/07/1975 p. 0039 – 0041.

Generalidades

European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Roadmap to a Resource Efficient Europe. COM(2011) 571 final 2011.

Gobierno de España, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. 2013; Available at: <<http://prtr-es.es>>, 2013.

Gobierno de España, Ministerio de Fomento. Construcción de edificios 2007-2011. Datos recogidos de las licencias de obra concedidas por los ayuntamientos. 2012.

IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental. Green Building Rating Systems: ¿Cómo evaluar la sostenibilidad en la edificación? 2010.

ISO (International Organization for Standardization). ISO/TS 21929-1:2006 Sustainability in building construction -- Sustainability indicators -- Part 1: Framework for development of indicators for buildings. 2006.

ITEC. Euroconstruct. Available at: <<http://www.itec.es/>>. Accessed 12/04, 2013.

Meadows D, Randers J, Meadows D, Behrens W. The Limits to growth; a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind. New York: Universe Books; 1972.

Ness B, Urbel-Piirsalu E, Anderberg S, Olsson L. Categorising tools for sustainability assessment. Ecol Econ 2007 1/15;60(3):498-508.

REE. El sistema eléctrico español 2012. 2013; Available at: <www.ree.es> .

Unión Europea. Quinto programa comunitario de actuación en materia de medio ambiente: hacia un desarrollo sostenible. 1992-2000. 2000; Available at: <<http://europa.eu/>>.

Unión Europea. Sexto programa de acción de la Comunidad Europea en materia de medio ambiente: Medio ambiente 2010, el futuro está

en nuestras manos. 2001-2012. 2012; Available at: <<http://europa.eu/>>.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs. World Population Prospects, the 2010 Revision. Available at: <<http://esa.un.org/>>. Accessed 12/04, 2013.

World Commission On Environment and Development. Our Common Future. 1987.

Residuos de Construcción y Demolióón

ACR+. Guide: "Towards Sustainable Plastic Construction and Demolition Waste Management in Europe". Life Project APPRICOD. 2006; Available at: <<http://acrplus.org/>>.

Al-Sari MI, Al-Khatib IA, Avraamides M, Fatta-Kassinos D. A study on the attitudes and behavioural influence of construction waste management in occupied Palestinian territory. Waste Manage Res 2012 FEB;30(2):122-136.

Altuncu D, Kasapseçkin MA. Management and recycling of constructional solid waste in Turkey. Procedia Engineering 2011;21(0):1072-1077.

Banias G, Achillas C, Vlachokostas C, Moussiopoulos N, Papaioannou I. A web-based Decision Support System for the optimal management of construction and demolition waste. Waste Manage 2011 12;31(12):2497-2502.

Begum RA, Siwar C, Pereira JJ, Jaafar AH. A benefit-cost analysis on the economic feasibility of construction waste minimisation: The case of Malaysia. Resour Conserv Recycling 2006 7;48(1):86-98.

Bio I.S. Service Contract of Management of Construction and Demolition Waste – SR1. 2011 February 2011.

BRE. SMARTWaste. True Cost of Waste Calculator. Available at: <<http://smartwaste.co.uk/>>, 2013.

CEDEX. Catálogo de residuos. 2011; Available at <<http://cedexmateriales.vsf.es/view/catalogo.aspx>>. Accessed 22/04, 2013.

- Chong WK, Hermreck C. Understanding transportation energy and technical metabolism of construction waste recycling. *Resources Conservation and Recycling* 2010 JUL;54(9):579-590.
- Chung S, Lo CWH. Evaluating sustainability in waste management: the case of construction and demolition, chemical and clinical wastes in Hong Kong. *Resour Conserv Recycling* 2003 1;37(2):119-145.
- Coelho A, de Brito J. Economic analysis of conventional versus selective demolition—A case study. *Resour Conserv Recycling* 2011 1;55(3):382-392.
- da Rocha CG, Sattler MA. A discussion on the reuse of building components in Brazil: An analysis of major social, economical and legal factors. *Resour Conserv Recycling* 2009 12;54(2):104-112.
- Dantata N, Touran A, Wang J. An analysis of cost and duration for deconstruction and demolition of residential buildings in Massachusetts. *Resources Conservation and Recycling* 2005 APR;44(1):1-15.
- DEWAM project. Herramienta DeconRCM. 2009; Available at: <<http://pandora.meng.auth.gr/>>, 2013.
- Dias de Oliveira ME, de Moraes Sales RJ, Sindeaux de Oliveira LA, Bezerra Cabral AE. Generation and composition diagnosis of C&D waste of Fortaleza/CE. *Engenharia Sanitaria E Ambiental* 2011 JUL-SEP;16(3):219-224.
- Ekanayake LL, Ofori G. Building waste assessment score: design-based tool. *Build Environ* 2004 7;39(7):851-861.
- Equipo de Investigación ECO-ARQ. Dpto. Construcciones Arquitectónicas I ETSA de Sevilla. Menos Residuos de Construcción y Demolición es igual a más Ecoeficiencia. Herramienta de Ayuda a la Reducción de Residuos en el Diseño y Construcción de Viviendas en Andalucía. Junta de Andalucía; Consejería de Fomento y Vivienda. Available at: <<http://www.juntadeandalucia.es/fomentoyvivienda>>. 2012.
- Eurogypsum. Waste Policy Paper: Building Value For Society. 2007.
- European Commission. Communication from the Commission on the review of the Community strategy for waste management. Draft Council Resolution on waste policy. COM (96) 399 final, 30 July 1996. 1996
- European Commission. Communication from the Commission to the Council and to Parliament. A Community strategy for waste management. SEC (89) 934 final, 18 September 1989. 1989.
- European Commission. Eurostat. Statistics Database. Available at: <<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/>>, 2013.
- Fernández Casado, S. Reciclaje interno de los residuos en las fábricas. Reutilización del yeso reciclado para la fabricación de placas de yeso laminado. CONAMA10 - Congreso Nacional del Medio Ambiente; 22-26 de noviembre 2010; España.
- Fukino M, Kato Y, Seino S, Ishiko S. Transportation Cost and Crush Processing Cost of Construction Waste Wood. *Mokuzai Gakkaishi* 2008;54(6):352-357.
- Generalitat de Catalunya. Agència de Residus de Catalunya. Modelo catalán de residuos de la construcción. Available at: <http://www20.gencat.cat/>, 2013.
- Gobierno de Cantabria. Consejería de Medio Ambiente. Guía de divulgación para la gestión de los residuos de construcción y demolición en Cantabria. 2010.
- Gobierno de España, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Borrador del Plan Nacional Integrado de Residuos 2007-2015. 2006.
- Gobierno de España, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Informe de Sostenibilidad Ambiental del Plan Nacional Integrado de Residuos para el período 2008-2015. 2007
- Hao JL, Hills MJ, Huang T. A simulation model using system dynamic method for construction and demolition waste management in Hong Kong. *Construction Innovation: Information, Process, Management* 2007;Vol. 7(Iss: 1):7-21.
- IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental. Monografía sobre residuos de construcción y demolición. 2004.

Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya - ITeC. Manual de minimización y gestión de residuos en las obras de construcción y demolición. 2000.

Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya - ITeC. Situación actual y perspectivas de futuro de los residuos de construcción. 2000.

Johnston H, Mincks WR. Cost Effective Waste Minimization for the Construction Manager. Transactions of AACE International 1993;pg. O.2.1.

Llatas C. A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list. Waste Manage 2011 6;31(6):1261-1276.

Llatas Oliver C. Residuos generados en la construcción de viviendas: propuestas y evaluación de procedimientos y prescripciones para su minimización. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla, Departamento de Construcciones Arquitectónicas I; 2000.

Lu W, Yuan H. A framework for understanding waste management studies in construction. Waste Manag 2011 Jun;31(6):1252-1260.

Lu W, Yuan H. Exploring critical success factors for waste management in construction projects of China. Resour Conserv Recycling 2010 12;55(2):201-208.

Manowong E. Investigating factors influencing construction waste management efforts in developing countries: an experience from Thailand. Waste Manage Res 2012 JAN;30(1):56-71.

Marlet C. Ponencia: The European Gypsum Industry and Gypsum Waste Recycling. 17 enero 2013.

Moran del Pozo JM, Juan Valdes A, Aguado PJ, Guerra MI, Medina C. State of the art on construction and demolition wastes management: limitations. Informes De La Construcción 2011 JAN-MAR;63(521):89-95.

Nunes KRA, Mahler CF, Valle R, Neves C. Evaluation of investments in recycling centres for construction and demolition wastes in Brazilian municipalities. Waste Manage 2007;27(11):1531-1540.

Osmani M, Glass J, Price ADF. Architects' perspectives on construction waste reduction by design. Waste Manage 2008;28(7):1147-1158.

Poon CS. Management of construction and demolition waste. Waste Manage 2007;27(2):159-160.

Rogers S. Battling construction waste and winning: lessons from UAE. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering 2011 FEB;164(1):41-48.

Roussat N, Dujet C, Mehu J. Choosing a sustainable demolition waste management strategy using multicriteria decision analysis. Waste Manage 2009 JAN 2009;29(1):12-20.

Roussat N, Mehu J, Dujet C. Indicators to assess the recovery of natural resources contained in demolition waste. Waste Manage Res 2009 MAR;27(2):159-166.

Saghafi MD, Teshnizi ZAH. Building deconstruction and material recovery in Iran: An analysis of major determinants. 2011 International Conference on Green Buildings and Sustainable Cities 2011;21:853-863.

Stenis J. Construction waste management based on industrial management models: a Swedish case study. Waste Manage Res 2005 FEB;23(1):13-19.

Symonds. Construction and demolition waste management practices, and their economic impacts. 1999;Report to DGXI, Final Report.

Todorova V. Construction waste piles even higher. The National Newspaper, 13 April 2009.

Tojo N, Fischer C. Europe as a Recycling Society. European Recycling Policies in relation to the actual recycling achieved. 2011;ETC/SCP working paper 2/2011.

Trankler J, Walker I, Dohmann M. Environmental impact of demolition waste - An overview on 10 years of research and experience. Waste Manage 1996;16(1-3):21-26.

U.S. Environmental Protection Agency. Office of Resource Conservation and Recovery. Estimating

2003 Building-Related Construction and Demolition Materials Amounts. 2009;EPA530-R-09-002.

U.S. Environmental Protection Agency. Office of Solid Waste. Characterization of Building-Related Construction and Demolition Debris in the United States. 1998;EPA530-R-98-010.

Wang JY, Touran A, Christoforou C, Fadlalla H. A systems analysis tool for construction and demolition wastes management. *Waste Manage* 2004;24(10):989-997.

WRAP. Construction products, materials and waste. Available at: <<http://wrap.org.uk/>>, 2013.

Ye G, Yuan H, Shen L, Wang H. Simulating effects of management measures on the improvement of the environmental performance of construction waste management. *Resour Conserv Recycling* 2012 5;62(0):56-63.

Yeheyis M, Hewage K, Alam MS, Eskicioglu C, Sadiq R. An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability. *Clean Technologies and Environmental Policy* 2013 02/01;15(1):81-91.

Yuan F, Shen L, Li Q. Emergy analysis of the recycling options for construction and demolition waste. *Waste Manage* 2011 12;31(12):2503-2511.

Yuan H, Chini AR, Lu Y, Shen L. A dynamic model for assessing the effects of management strategies on the reduction of construction and demolition waste. *Waste Manage* 2012 3;32(3):521-531

Yuan H. A model for evaluating the social performance of construction waste management. *Waste Manage* 2012 JUN;32(6):1218-1228.

Yuan H. A model for evaluating the social performance of construction waste management. *Waste Manage* 2012 JUN;32(6):1218-1228.

Yuan HP, Shen LY, Hao J, Lu WS. A model for cost-benefit analysis of construction and demolition waste management throughout the waste chain. *Resources Conservation and Recycling* 2011 APR;55(6):604-612.

Análisis de Ciclo de Vida

Althaus H, Bauer C, Doka G, Dones R, et al. Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. *Ecoinvent Report n° 3*. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. 2007.

Bare J, Hofstetter P, Pennington D, Haes HU. Midpoints versus endpoints: The sacrifices and benefits. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 2000 11/01;5(6):319-326.

Finnveden G, Hauschild MZ, Ekvall T, Guinee J, Heijungs R, Hellweg S, et al. Recent developments in Life Cycle Assessment. *J Environ Manage* 2009 OCT;91(1):1-21.

Guinée J, Gorrée M, Heijungs R, Huppes G, Kleijn R, de Koning A, et al. Life cycle assessment-an operational guide to the ISO standards - Parts 1, 2 and 3. 2001; Available at: <http://media.leidenuniv.nl>

Huijbregts MA, Rombouts LJ, Hellweg S, Frischknecht R, Hendriks AJ, Van de Meent D, et al. Is cumulative fossil energy demand a useful indicator for the environmental performance of products? *Environ Sci Technol* 2006 Feb 1;40(3):641-648.

Huijbregts MAJ, Hellweg S, Frischknecht R, Hendriks HWM, Hungerbühler K, Hendriks AJ. Cumulative Energy Demand As Predictor for the Environmental Burden of Commodity Production. *Environ Sci Technol* 2010 03/15; 2013/10;44(6):2189-2196.

ISO (International Organization for Standardization). International Standard ISO 14040: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework. Geneva, Switzerland.; 2006.

ISO (International Organization for Standardization). International Standard ISO 14044: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines. Geneva, Switzerland.; 2006

SCLCI (Swiss Centre for Life Cycle Inventories). 2005. Centre, Ecoinvent database v1.2; Available at: <<http://ecoinvent.org>>

ACV de edificios

García Martínez A. Tesis doctoral: Life Cycle Assessment of Buildings. Methodological proposal for the development of Environmental Declarations of Dwellings in Andalusia. 2010.

Kellenberger D, Althaus H-, Jungbluth, N. and Künniger, T. Life Cycle Inventories of Building Products. EcolInvent Report nº 7. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. 2004.

Zabalza Bribián I, Valero Capilla A, Aranda Usón A. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Build Environ* 2011 5;46(5):1133-1140.

ACV aplicado a la gestión de residuos

Finnveden G. Methodological aspects of life cycle assessment of integrated solid waste management systems. *Resour Conserv Recycling* 1999 6;26(3-4):173-187.

Cleary J. The incorporation of waste prevention activities into life cycle assessments of municipal solid waste management systems: methodological issues. *International Journal of Life Cycle Assessment* 2010 JUL 2010;15(6):579-589.

Ekvall T, Assefa G, Bjorklund A, Eriksson O, Finnveden G. What life-cycle assessment does and does not do in assessments of waste management. *Waste Manage* 2007;27(8):989-996.

European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. Supporting Environmentally Sound Decisions for Waste Management – A technical guide to Life Cycle Thinking (LCT) and Life Cycle Assessment (LCA) for waste experts and LCA practitioners. <<http://eplca.jrc.ec.europa.eu/>> 2011;2012.

Gentil EC, Damgaard A, Hauschild M, Finnveden G, Eriksson O, Thorneloe S, et al. Models for waste life cycle assessment: Review of technical assumptions. *Waste Manage* 2010 DEC 2010;30(12):2636-2648.

Gentil EC, Gallo D, Christensen TH. Environmental evaluation of municipal waste prevention. *Waste Manage* 2011 12;31(12):2371-2379.

Gobierno de España, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Prevención y gestión de residuos. El software de simulación SIMUR. 2013; Available at: <<http://magrama.gob.es/>>. Accessed 04/17, 2013.

Güereca Hernández, L. Desarrollo de una metodología para la valoración en el análisis del ciclo de vida aplicada a la gestión integral de residuos municipales. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Projectes d'Enginyeria.

Nessi S, Rigamonti L, Grosso M. Discussion on methods to include prevention activities in waste management LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 2013 08/01;18(7):1358-1373.

Rigamonti L, Grosso M, Giugliano M. Life cycle assessment for optimising the level of separated collection in integrated MSW management systems. *Waste Manag* 2009 Feb;29(2):934-944.

Rigamonti L, Grosso M, Sunseri M. Influence of assumptions about selection and recycling efficiencies on the LCA of integrated waste management systems. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 2009 07/01;14(5):411-419.

Gómez Méndez, MG. Aplicación de técnicas de ciclo de vida al diseño de una sistema de gestión de residuos urbanos para la ciudad de Chihuahua. Tesis doctoral. Universitat Rovira I Virgili, Departamento de Ingeniería Química; 2009.

U.S. Environmental Protection Agency. Office of Resource Conservation and Recovery. Waste Reduction Model (WARM). 2013; Available at: <<http://epa.gov/epawaste/>>. Accessed 09/10, 2013.

ACV aplicado a la gestión de RCD

Aguado A, Josa A, Ormazabal G, Estévez B., y Cardim A. Los requerimientos ambientales en la toma de decisiones sobre estructuras de hormigón. *Hormigón y Acero* 2004;4º trimestre,(234):63-73.

- Alvarez Alves L. Análisis medio ambiental de la gestión de los residuos de la construcción y demolición (RCD's). Enfoque en la perspectiva del análisis de ciclo de vida (ACV). 2010.
- Balazs S, Antonini E, Tarantitni M. Application of Life Cycle Assessment (LCA) methodology for valorization of building demolition materials and products. SPIE – the International Society for Optical Engineering 2001;4193:382-390.
- Blengini GA, Garbarino E. Resources and waste management in Turin (Italy): the role of recycled aggregates in the sustainable supply mix. J Clean Prod 2010 JUL 2010;18(10-11):1021-1030.
- Blengini GA. Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy. Build Environ 2009 FEB 2009;44(2):319-330.
- Coelho A, de Brito J. Influence of construction and demolition waste management on the environmental impact of buildings. Waste Manage 2012 MAR;32(3):532-541.
- Craighill A, Powell J. A Lifecycle Assessment and Evaluation of Construction and Demolition Waste. Centre for Social and Economic Research on the Global Environment, CSERGE Working Paper WM 99-03, University of East Anglia, UK 1999.
- DECCW. Environmental benefits of recycling. 2010.
- Dewulf J, Van der Vorst G, Versele N, Janssens A, Van Langenhove H. Quantification of the impact of the end-of-life scenario on the overall resource consumption for a dwelling house. Resour Conserv Recycl 2009 2;53(4):231-236.
- Grant T, James KL,. Life Cycle Impact Data for resource recovery from C&I and C&D waste in Victoria final report. Melbourne, Victoria, Centre for Design at RMIT university 2005.
- Klang A, Vikman PA, Brattebo H. Sustainable management of demolition waste - an integrated model for the evaluation of environmental, economic and social aspects. Resources Conservation and Recycling 2003 JUL;38(4):317-334.
- La Marca F. Optimization of C&D waste management by the application of Life Cycle Assessment (LCA) methodology: the case of the Municipality of Rome, Italy. Sustainable City Vi: Urban Regeneration and Sustainability 2010;129:497-508.
- Levis JW. A Life-Cycle Analysis of Alternatives for the Management of Waste Hot-Mix Asphalt, Commercial Food Waste, and Construction and Demolition Waste. 2008.
- Marinkovic S, Radonjanin V, Malesev M, Ignjatovic I. Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete. Waste Manage 2010 NOV 2010;30(11):2255-2264.
- Mercante IT, Bovea MD, Ibanez-Fores V, Arena AP. Life cycle assessment of construction and demolition waste management systems: a Spanish case study. International Journal of Life Cycle Assessment 2012 FEB;17(2):232-241.
- Mercante, IT., Bovea Edo, MD., Ibañez-Forés, V., Arena, A. Perfil ambiental de la gestión de los residuos de construcción y demolición. Elaboración de Inventarios de Ciclo de Vida. 3º Simposio
- Ortiz O, Pasqualino JC, Castells F. Environmental performance of construction waste: Comparing three scenarios from a case study in Catalonia, Spain. Waste Manage 2010 APR;30(4):646-654.
- Pasqualino JC, Ortiz O, Castells F. Life Cycle Assessment as a tool for material selection and waste management within the building sector. Proceedings of the PLEA 2008–25th Conference on Passive and Low Energy Architecture,; 22–24 October; Dublin, Ireland.: PLEA Dublin 2008; 2008.
- Rivela B, Hospido A, Moreira T, Feijoo G. Life Cycle Inventory of Particleboard: A Case Study in the Wood Sector. The International Journal of Life Cycle Assessment 2006;11(2):106-113.

GLOSARIO

Agente	Toda empresa que disponga la valorización o la eliminación de residuos por encargo de terceros, incluidos los agentes que no tomen posesión físicamente de los residuos;	Directiva 2008/98/CE
Almacenamiento	El depósito temporal de residuos, con carácter previo a su valorización o eliminación, por tiempo inferior a 2 años o a 6 meses si se trata de residuos peligrosos, a menos que reglamentariamente se establezcan plazos inferiores.	Ley 10/1998
Análisis de Ciclo de Vida (ACV)	Recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de su ciclo de vida.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Análisis de incertidumbre	Procedimiento sistemático para cuantificar la incertidumbre introducida en los resultados de un análisis de inventario de ciclo de vida debido a los efectos acumulativos de la imprecisión del modelo, de la incertidumbre de las entradas y la variabilidad de los datos.	UNE-EN-ISO 14044:2006
Análisis de la incertidumbre	Procedimiento sistemático para cuantificar la incertidumbre introducida en los resultados de un análisis de inventario del ciclo de vida debido a los efectos acumulativos de la imprecisión del modelo, de la incertidumbre de las entradas y de la variabilidad de los datos.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Análisis de sensibilidad	Procedimiento para estimar los efectos sobre el resultado de un estudio de las opciones elegidas en lo que respecta a métodos y datos.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Análisis de sensibilidad	Procedimiento sistemático para estimar los efectos sobre el resultado de un estudio de las opciones elegidas en lo que respecta a métodos y datos.	UNE-EN-ISO 14044:2006
Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV)	Fase del análisis del ciclo de vida que implica la recopilación y la cuantificación de entradas y salidas para un sistema del producto a través de su ciclo de vida.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Asignación	Distribución de los flujos de entrada o de salida de un proceso o un sistema del producto entre el sistema del producto bajo estudio y uno o más sistemas del producto diferentes.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Aspecto ambiental	Elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente	UNE-EN-ISO 14040:2006
Calidad de los datos	Característica de los datos que se relaciona con su capacidad para satisfacer los requisitos establecidos.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Categoría de impacto	Clase que representa asuntos ambientales de interés a la cual se pueden asignar los resultados del análisis del inventario del ciclo de vida.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Ciclo de Vida	Etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema del producto, desde la adquisición de materias primas o de su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final.	UNE-EN-ISO 14040:2006

Coproducto	Cualquier producto de entre dos o más productos provenientes del mismo proceso unitario o sistema del producto.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Criterio de corte	Especificación de la cantidad de flujo de materia o de energía o del nivel de importancia ambiental asociado a los procesos unitarios o al sistema del producto para su exclusión del estudio.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Eliminación	Cualquier operación que no sea la valorización, incluso cuando la operación tenga como consecuencia secundaria el aprovechamiento de sustancias o energía. En el anexo I se recoge una lista no exhaustiva de operaciones de eliminación.	Directiva 2008/98/CE
Eliminación	Cualquier operación que no sea la valorización, incluso cuando la operación tenga como consecuencia secundaria el aprovechamiento de sustancias o energía. En el anexo I se recoge una lista no exhaustiva de operaciones de eliminación.	Ley 22/2011
Emisiones y vertidos	Emisiones al aire y vertidos al agua y suelo.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Energía base	Calor de combustión de una materia prima que no se utiliza como fuente de energía en un sistema del producto, expresado en términos de poder calorífico superior o de poder calorífico inferior.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Energía de proceso	Entrada de energía requerida en un proceso unitario para llevar a cabo el proceso o hacer funcionar el equipo, excluyendo las entradas de energía para la producción y suministro de esta energía.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Entrada	Flujo de producto, de materia o de energía que entra en un proceso unitario.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Entrada auxiliar	Materia que entra y se utiliza en el proceso unitario de obtención del producto, pero que no constituye una parte del producto.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Estación de transferencia	Instalación en la cual se descargan y almacenan los residuos para poder posteriormente transportarlos a otro lugar para su valorización o eliminación, con o sin agrupamiento previo.	Ley 10/1998
Evaluación	Elemento dentro de la fase de interpretación del ciclo de vida que pretende establecer confianza en los resultados del análisis del ciclo de vida.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)	Fase del análisis del ciclo de vida dirigida a conocer y evaluar la magnitud y cuán significativos son los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de todo el ciclo de vida del producto.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Factor de caracterización	Factor que surge de un modelo de caracterización, que se aplica para convertir el resultado del análisis del inventario del ciclo de vida asignado a la unidad común del indicador de categoría.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Flujo de energía	Entrada o salida de un proceso unitario o un sistema del producto, expresada en unidades de energía.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Flujo de producto	Productos que entran o salen de un sistema del producto hacia otro.	UNE-EN-ISO 14040:2006

Flujo de referencia	Medida de las salidas de los procesos, en un sistema del producto determinado, requerida para cumplir la función expresada mediante la unidad funcional.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Flujo elemental	Materia o energía que entra al sistema bajo estudio, que ha sido extraído del medio ambiente sin una transformación previa por el ser humano, o materia o energía que sale del sistema bajo estudio, que es liberado al medio ambiente sin una transformación posterior por el ser humano.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Flujo intermedio	Flujo de producto, de materia o de energía que ocurre entre procesos unitarios del sistema del producto bajo estudio.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Gestión de residuos	La recogida, el transporte y tratamiento de los residuos, incluida la vigilancia de estas operaciones, así como el mantenimiento posterior al cierre de los vertederos, incluidas las actuaciones realizadas en calidad de negociante o agente.	Ley 22/2011
Gestión de residuos	La recogida, el transporte, la valorización y la eliminación de los residuos, incluida la vigilancia de estas operaciones, así como el mantenimiento posterior al cierre de los vertederos, incluidas las actuaciones realizadas en calidad de negociante o agente.	Directiva 2008/98/CE
Gestor de residuos	La persona o entidad, pública o privada, que realice cualquiera de las operaciones que componen la gestión de los residuos, sea o no el productor de los mismos.	Ley 22/2011
Indicador de categoría de impacto	Representación cuantificable de una categoría de impacto.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Interpretación del Ciclo de Vida	Fase del análisis del ciclo de vida en la que los hallazgos del análisis del inventario o de la evaluación del impacto, o de ambos, se evalúan en relación con el objetivo y el alcance definidos, para llegar a conclusiones y recomendaciones.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Límite del sistema	Conjunto de criterios que especifican cuales de los procesos unitarios son parte de un sistema del producto.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Materia prima	Materia primaria o secundaria que se utiliza para elaborar un producto.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Mecanismo ambiental	Sistema de procesos físicos, químicos y biológicos para una categoría de impacto dada, que vincula los resultados del análisis del inventario del ciclo de vida con indicadores de categoría y con puntos finales de categoría.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Negociante	Toda empresa que actúe por cuenta propia en la compra y posterior venta de residuos, incluidos los negociantes que no tomen posesión físicamente de los residuos;	Directiva 2008/98/CE
Parte interesada	Persona o grupo que tiene un interés o está afectado por el desempeño ambiental de un sistema del producto o por los resultados del análisis del ciclo de vida.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Poseedor de residuos	El productor de residuos u otra persona física o jurídica que esté en posesión de residuos.	Ley 22/2011
Poseedor de residuos	El productor de residuos o la persona física o jurídica que esté en posesión de residuos.	Directiva 2008/98/CE

Poseedor de residuos de construcción y demolición	La persona física o jurídica que tenga en su poder los residuos de construcción y demolición y que no ostente la condición de gestor de residuos. En todo caso, tendrá la consideración de poseedor la persona física o jurídica que ejecute la obra de construcción o demolición, tales como el constructor, los subcontratistas o los trabajadores autónomos. En todo caso, no tendrán la consideración de poseedor de residuos de construcción y demolición los trabajadores por cuenta ajena.	Real Decreto 105/2008
Preparación para la reutilización	La operación de valorización consistente en la comprobación, limpieza o reparación, mediante la cual productos o componentes de productos que se hayan convertido en residuos se preparan para que puedan reutilizarse sin ninguna otra transformación previa	Directiva 2008/98/CE
Prevención	Medidas adoptadas antes de que una sustancia, material o producto se haya convertido en residuo, para reducir: a) la cantidad de residuo, incluso mediante la reutilización de los productos o el alargamiento de la vida útil de los productos; b) los impactos adversos sobre el medio ambiente y la salud humana de la generación de residuos, o c) el contenido de sustancias nocivas en materiales y productos;	Directiva 2008/98/CE
Prevención	Conjunto de medidas adoptadas en la fase de concepción y diseño, de producción, de distribución y de consumo de una sustancia, material o producto, para reducir: 1.º La cantidad de residuo, incluso mediante la reutilización de los productos o el alargamiento de la vida útil de los productos. 2.º Los impactos adversos sobre el medio ambiente y la salud humana de los residuos generados, incluyendo el ahorro en el uso de materiales o energía. 3.º El contenido de sustancias nocivas en materiales y productos.	Ley 22/2011
Proceso	Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Proceso unitario	Elemento más pequeño considerado en el análisis del inventario del ciclo de vida para el cual se cuantifican datos de entrada y salida.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Producto	Cualquier bien o servicio	UNE-EN-ISO 14040:2006
Producto intermedio	Salida de un proceso unitario que es entrada de otros procesos unitarios que requiere una transformación adicional dentro del sistema.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Productor de residuos	Cualquier persona física o jurídica cuya actividad produzca residuos (productor inicial de residuos) o cualquier persona que efectúe operaciones de tratamiento previo, de mezcla o de otro tipo, que ocasionen un cambio de naturaleza o de composición de esos residuos. En el caso de las mercancías retiradas por los servicios de control e inspección en las instalaciones fronterizas se considerará productor de residuos al representante de la mercancía, o bien al importador o exportador de la misma.	Ley 22/2011

Productor de residuos de construcción y demolición	1.º La persona física o jurídica titular de la licencia urbanística en una obra de construcción o demolición; en aquellas obras que no precisen de licencia urbanística, tendrá la consideración de productor del residuo la persona física o jurídica titular del bien inmueble objeto de una obra de construcción o demolición. 2.º La persona física o jurídica que efectúe operaciones de tratamiento, de mezcla o de otro tipo, que ocasionen un cambio de naturaleza o de composición de los residuos. 3.º El importador o adquirente en cualquier Estado miembro de la Unión Europea de residuos de construcción y demolición.	Real Decreto 105/2008
Productor de residuos	Cualquier persona cuya actividad produzca residuos (productor inicial de residuos) o cualquier persona que efectúe operaciones de tratamiento previo, de mezcla o de otro tipo que ocasionen un cambio de naturaleza o de composición de esos residuos.	Directiva 2008/98/CE
Punto final de categoría	Atributo o aspecto del entorno natural, la salud humana o los recursos que identifica un asunto ambiental de interés.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Reciclado	Toda operación de valorización mediante la cual los materiales de residuos son transformados de nuevo en productos, materiales o sustancias, tanto si es con la finalidad original como con cualquier otra finalidad. Incluye la transformación del material orgánico, pero no la valorización energética ni la transformación en materiales que se vayan a usar como combustibles o para operaciones de relleno.	Directiva 2008/98/CE
Reciclado	Toda operación de valorización mediante la cual los materiales de residuos son transformados de nuevo en productos, materiales o sustancias, tanto si es con la finalidad original como con cualquier otra finalidad. Incluye la transformación del material orgánico, pero no la valorización energética ni la transformación en materiales que se vayan a usar como combustibles o para operaciones de relleno.	Ley 22/2011
Recogida	Operación consistente en juntar residuos, incluida su clasificación y almacenamiento iniciales con el objeto de transportarlos a una instalación de tratamiento de residuos.	Directiva 2008/98/CE
Recogida	Operación consistente en el acopio de residuos, incluida la clasificación y almacenamiento iniciales para su transporte a una instalación de tratamiento.	Ley 22/2011
Recogida separada	la recogida en la que un flujo de residuos se mantiene por separado, según su tipo y naturaleza, para facilitar un tratamiento específico.	Ley 22/2011
Recogida separada	La recogida en la que un flujo de residuos se mantiene por separado, según su tipo y naturaleza, para facilitar un tratamiento específico.	Directiva 2008/98/CE
Residuo	Cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención o la obligación de desprenderse.	Directiva 2008/98/CE
Residuo	Sustancia u objetos a cuya disposición se procede o se está obligado a proceder	UNE-EN-ISO 14040:2006
Residuo	Cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención o la obligación de desechar.	Ley 22/2011

Residuo de construcción y demolición (RCD)	Aquellos residuos que se generan en una obra, ya sea esta de nueva construcción, rehabilitación, reparación, reforma o demolición.	Real Decreto 105/2008
Residuo inerte	Aquel residuo no peligroso que no experimenta transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas, no es soluble ni combustible, ni reacciona física ni químicamente ni de ninguna otra manera, no es biodegradable, no afecta negativamente a otras materias con las cuales entra en contacto de forma que pueda dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana. La lixiviabilidad total, el contenido de contaminantes del residuo y la ecotoxicidad del lixiviado deberán ser insignificantes, y en particular no deberán suponer un riesgo para la calidad de las aguas superficiales o subterráneas.	Real Decreto 105/2008
Residuo peligroso	Residuo que presenta una o varias de las características peligrosas enumeradas en el anexo III;	Directiva 2008/98/CE
Residuo peligroso	Aquéllos que figuren en la lista de residuos peligrosos, aprobada en el RD 952/1997, así como los recipientes y envases que los hayan contenido. Los que hayan sido calificados como peligrosos por la normativa comunitaria y los que pueda aprobar el Gobierno de conformidad con lo establecido en la normativa europea o en convenios internacionales de los que España sea parte.	Ley 10/1998
Residuo peligroso	Aquel que presenta una o varias de las características peligrosas enumeradas en el anexo III de la Directiva Marco de Residuos.	Real Decreto 105/2008
Residuos urbanos o municipales	Los generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, así como todos aquellos que no tengan la calificación de peligrosos y que por su naturaleza o composición puedan asimilarse a los producidos en los anteriores lugares o actividades. Tendrán también la consideración de residuos urbanos los siguientes: - Residuos procedentes de la limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas. - Animales domésticos muertos, así como muebles, enseres y vehículos abandonados. - Residuos y escombros procedentes de obras menores de construcción y reparación domiciliaria	Ley 10/1998
Resultado del análisis del Inventario del Ciclo de Vida; resultado del ICV	Resultado de un análisis del inventario del ciclo de vida que clasifica los flujos que atraviesan los límites del sistema y que proporciona el punto de partida para la evaluación del impacto del ciclo de vida.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Reutilización	Cualquier operación mediante la cual productos o componentes que no sean residuos se utilizan de nuevo con la misma finalidad para la que fueron concebidos.	Directiva 2008/98/CE
Reutilización	Cualquier operación mediante la cual productos o componentes de productos que no sean residuos se utilizan de nuevo con la misma finalidad para la que fueron concebidos.	Ley 22/2011
Salida	Flujo de producto, de materia o de energía que sale de un proceso unitario.	UNE-EN-ISO 14040:2006

Sistema del producto	Conjunto de procesos unitarios con flujos elementales y flujos del producto, que desempeña una o más funciones definidas, y que sirve de modelo para el ciclo de vida de un producto.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Sostenibilidad	Estado en el cual los componentes del ecosistema y sus funciones son mantenidas para generaciones presentes y futuras	ISO 15392:2008
Tratamiento	Las operaciones de valorización o eliminación, incluida la preparación anterior a la valorización o eliminación	Directiva 2008/98/CE
Unidad funcional	Desempeño cuantificado de un sistema del producto para su uso como unidad de referencia.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Valorización	Cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función, en la instalación o en la economía en general. En el anexo II se recoge una lista no exhaustiva de operaciones de valorización.	Directiva 2008/98/CE
Valorización	Cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales, que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función en la instalación o en la economía en general. En el anexo II se recoge una lista no exhaustiva de operaciones de valorización.	Ley 22/2011
Verificación de coherencia	Proceso realizado antes de llegar a conclusiones, para verificar que las suposiciones, los métodos y los datos se aplican de forma coherente en todo el estudio y están de acuerdo con la definición del objetivo y el alcance.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Verificación de integridad	Proceso para verificar si la información de las fases de un análisis del ciclo de vida es suficientemente completa para llegar a conclusiones, de acuerdo con la definición del objetivo y el alcance.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Verificación del análisis de sensibilidad	Proceso para verificar que la información obtenida de un análisis de sensibilidad es pertinente para extraer conclusiones y formular recomendaciones.	UNE-EN-ISO 14040:2006
Vertedero	Instalación de eliminación que se destine al depósito de residuos en la superficie o bajo tierra.	Ley 10/1998
Vida útil (o vida de servicio) de referencia	Periodo de tiempo después de la instalación durante el cual una obra de construcción o parte de ella satisface o excede los requerimientos de desempeño.	ISO 15392:2008
Vida útil (o vida de servicio) de referencia	Periodo de tiempo conocido o esperado de la vida útil de un producto de construcción bajo un conjunto particular (es decir, un conjunto de referencia) de condiciones de uso, y que puede formar parte de la estimación de la vida útil bajo otras condiciones de uso.	UNE-EN-ISO 21930:2010

ANEXOS

Anexos

A.1. Anexo I: Procedimiento de asignación de cargas	207
A.2. Anexo II: Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida	209
A.3. Anexo III: Modelo de transporte de los RCD	211
A.4. Anexo IV: Herramienta simplificada de cálculo para evaluar la gestión de los RCD en obras	213

ANEXO I: Procedimiento de asignación de cargas

Según la ISO 14040:2006, la asignación de cargas es la distribución de los flujos de entrada o de salida de un proceso o un sistema del producto entre el sistema del producto bajo estudio y uno o más sistemas del producto diferentes [1]. En ocasiones la asignación de cargas es problemática: en los procesos que generan múltiples productos, en los productos generados por múltiples procesos, y cuando existe reciclaje de ciclo abierto [3].

En este estudio, para evitar el problema de asignación asociados al reciclaje, se utiliza el método de “sustitución mediante expansión del sistema” o método de las “cargas evitadas” [3]. Este se basa en que los materiales secundarios obtenidos de las actividades de reciclaje son utilizados en sustitución del correspondiente material primario, lo que genera que se eviten una serie de impactos. Para aplicar este procedimiento es necesario considerar los índices de sustitución de los productos primarios por los productos secundarios (Tabla 4.11).

En los procesos de reciclaje, el problema de asignación de cargas se da cuando el reciclaje es de ciclo abierto. Para abordar esta cuestión, las ISO 14040:2006 y 14044:2006 [1,2], establecen que los cambios en las propiedades inherentes de los materiales deben ser tenidos en cuenta, y distingue entre procedimientos de asignación de ciclo cerrado y de ciclo abierto:

- Procedimiento de asignación de ciclo cerrado: “se aplica a sistemas del producto de ciclo cerrado o a sistemas del producto de ciclo abierto en los cuales no ocurren cambios en las propiedades inherentes del material reciclado. En estos casos, se evita la necesidad de asignación ya que la utilización del material secundario sustituye la utilización de material virgen”.
- Procedimientos de asignación de ciclo abierto: “se aplica a sistemas del producto de ciclo abierto en los que ocurren cambios en las propiedades inherentes del material reciclado. Los procedimientos de asignación en este caso deberían basarse, por orden, en los siguientes parámetros: propiedades físicas, valor económico o el número de usos posteriores del material”.

Para realizar la equivalencia entre el producto secundario que se produce y el producto primario que se evita es necesario tener en cuenta si el sistema de producto es de ciclo cerrado o abierto o si existen cambios en las propiedades inherentes del material reciclado. Basándose en las consideraciones de las ISO 14040:2006 y 14044:2006, Rigamonti et al.,2009a estudian este problema en la gestión de RSU, comparando escenarios bajo hipótesis de ciclo cerrado (índice de sustitución 1:1) y de ciclo abierto (índice de sustitución 1:<1), y recomendando que para el caso de madera, plásticos y papeles, se utilice un índice de sustitución 1:<1, ya que se producen cambios sustanciales en las propiedades inherentes de estos materiales reciclados [4] .

A partir de Rigamonti et al.,2009a se establecen los índices de sustitución necesarios, basados en propiedades físicas o el valor económico de los productos (Tabla 4.12). Para cada fracción se hacen las siguientes consideraciones:

- Inertes: se considera que el material reciclado mantiene sus propiedades inherentes [5].
- Madera: el índice se calcula teniendo en cuenta las diferencias en cuanto a propiedades físicas y mecánicas de los productos secundarios y primarios [4].
- Metales: se considera que el material reciclado mantiene sus propiedades inherentes [4].
- Materiales a partir de yeso: se considera que el material reciclado mantiene sus propiedades inherentes [6].
- Envases de papel y cartón: el índice se obtiene según el deterioro de la calidad del material secundario comparado con el primario, para lo que se tiene en cuenta que la fibra de papel solo admite el reciclaje cinco veces [4].
- Envases plásticos: el índice se halla en función de las diferencias del valor de mercado entre los materiales primario y secundario [4], que según el precio Platts para film plástico en junio de 2013 son 1,90 € / kg y 1,64 € / kg respectivamente [7].

REFERENCIAS

- [1] ISO (International Organization for Standardization). International Standard ISO 14040: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework. Geneva, Switzerland.; 2006.
- [2] ISO (International Organization for Standardization). International Standard ISO 14044: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines. Geneva, Switzerland.; 2006.
- [3] Finnveden G, Hauschild MZ, Ekvall T, Guinee J, Heijungs R, Hellweg S, et al. Recent developments in Life Cycle Assessment. J Environ Manage 2009 OCT;91(1):1-21.
- [4] Rigamonti L, Grosso M, Sunseri M. Influence of assumptions about selection and recycling efficiencies on the LCA of integrated waste management systems. The International Journal of Life Cycle Assessment 2009 07/01;14(5):411-419.
- [5] Mercante IT, Bovea MD, Ibanez-Fores V, Arena AP. Life cycle assessment of construction and demolition waste management systems: a Spanish case study. International Journal of Life Cycle Assessment 2012 FEB;17(2):232-241.
- [6] Eurogypsum. Waste Policy Paper: Building Value For Society. 2007.
- [7] McGraw Hill Financial. Platts. 2013; Available at: <http://platts.com/> .

ANEXO II: Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida

A continuación se describen las categorías de impacto y los métodos de evaluación seleccionados (Tabla 4.12).

Por un lado, se analiza la Demanda de Energía Acumulada (*Cumulative Energy Demand (CED)*), que representa el uso de la energía directa e indirecta a lo largo del ciclo de vida de un producto, incluyendo la energía consumida durante la extracción, fabricación y eliminación de las materias primas y auxiliares [8]. LA CED total está compuesta por CED fósil y la CED de energías nuclear, biomasa, agua, aire y solar [9]. Este método se utiliza desde los años setenta, pero ha sido criticado por centrarse exclusivamente en energía. No obstante, existe una correlación entre sus resultados y los de otros métodos, estando directamente relacionada la combustión de combustibles fósiles con varios de los problemas ambientales [8,9]. Algunos autores [8,10] coinciden en que este método puede servir como criba del desempeño ambiental, pero considerando sus limitaciones y debiendo ser empleado junto con otros métodos.

Por otro lado, se analizan un conjunto de categorías de impacto ambiental. Como se indicó en el apartado 2.3.2.6, las categorías más utilizadas en la literatura revisada son: cambio climático, acidificación, eutrofización, oxidación fotoquímica y agotamiento del ozono estratosférico. El análisis se realiza para estas categorías, a las que se añade la de toxicidad humana. Para la evaluación se emplea el método *CML baseline 2000 V2.05* [11]. Guinee et al., 2001 describe estas categorías del siguiente modo:

- *Cambio climático*: es el impacto de las emisiones humanas en relación al aumento del forzamiento radiativo de la atmósfera. Esto eleva la temperatura de la tierra, lo que se conoce como efecto invernadero. Conlleva una serie de impactos adversos en los ecosistemas, la salud humana y los materiales. El indicador de categoría se expresa en kg de CO_{2 eq} y se calcula según:

$$\text{Calentamiento Global} = \sum \text{GWP}_i \times m_i$$

Donde GWP_i es el potencial de calentamiento global del gas de efecto invernadero i emitido al aire (kg de CO_{2 eq} /kg emisión); y m_i es la masa de la sustancia i (kg).

- *Acidificación*: los contaminantes acidificantes, como el dióxido de azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el amoníaco (NH₃), producen una amplia variedad de impactos en suelo, aguas subterráneas, aguas superficiales, organismos vivos, ecosistemas y materiales. El indicador de categoría se expresa en kg de SO_{2 eq} y se calcula según:

$$\text{Acidificación} = \sum \text{AP}_i \times m_i$$

Donde AP_i es el potencial de acidificación de la sustancia acidificante i emitida al aire (kg de SO_{2 eq} /kg emisión); y m_i es la masa de la sustancia i (kg).

- *Agotamiento del ozono estratosférico*: la disminución de la capa de ozono estratosférico conlleva que una mayor cantidad de radiación solar UV-B llegue a la superficie de la tierra, con los consecuentes impactos en la salud humana, la salud animal, los ecosistemas terrestres y acuáticos, los ciclos bioquímicos y los materiales. Las principales sustancias que agotan la capa de ozono son CFCs, HCFCs, halones, tetracloruro de carbono y bromuro de metilo. El indicador de categoría se expresa en kg CFC-11_{eq} y se calcula según:

$$\text{Agotamiento de la capa de ozono} = \sum_i \text{ODP}_i \times m_i$$

Donde ODP_i es el potencial de disminución de ozono estratosférico de la sustancia i emitida al aire (kg CFC-11_{eq}/kg emisión); y m_i es la masa de la sustancia i (kg).

- *Eutrofización*: el exceso de nutrientes puede provocar efectos adversos, como generar cambios no deseados en la composición de las especies o la contaminación de las aguas para consumo. También genera un aumento de la biomasa en los ecosistemas, lo que a su vez conlleva un aumento de la Demanda Biológica de Oxígeno. Los macronutrientes más importantes son el nitrógeno y el fósforo. El indicador de categoría se expresa en kg de $\text{PO}_{43\text{-eq}}$ y se calcula según:

$$\text{Eutrofización} = \sum_i \text{EP}_i \times m_i$$

Donde EP_i es el potencial de eutrofización de la sustancia eutrofizante i emitida al aire, agua y suelo (kg de $\text{PO}_{43\text{-eq}}$ /kg emisión); y m_i es la masa de la sustancia i (kg).

- *Formación foto-oxidantes*: también conocida como *smog* de verano, es la formación de componentes químicos reactivos, como el ozono o peroxiacetilnitrato, debido a la acción de la luz solar sobre ciertos contaminantes del aire (componentes volátiles orgánicos y monóxidos de carbono en presencia de óxidos de nitrógeno). Estos componentes pueden ser dañinos para la salud humana y los ecosistemas. El indicador de categoría se expresa en kg de etileno_{eq} y se calcula según:

$$\text{Oxidación fotoquímica} = \sum_i \text{POP}_i \times m_i$$

Donde POP_i es el potencial de creación de ozono fotoquímico de la sustancia i (VOC o CO) emitida al aire (kg de etileno_{eq}/kg emisión); y m_i es la masa de la sustancia i (kg).

- *Toxicidad humana*: recoge los impactos sobre la salud humana de las sustancias tóxicas presentes en el medioambiente. El indicador de categoría se expresa en kg 1,4-DCB_{eq} y se calcula según:

$$\text{Toxicidad humana} = \sum_i \sum_{\text{comp}} m_{i,\text{comp}} \times \text{HTP}_{i,\text{comp},t}$$

Donde $\text{HTP}_{i,\text{comp},t}$ es el potencial de toxicidad humana de la sustancia tóxica i emitida toxicidad humana de la sustancia i emitida al compartimento ambiental comp , durante el horizonte de tiempo t (kg de 1,4-DCB_{eq}/kg emisión); y m_i es la masa de la sustancia i (kg).

REFERENCIAS

- [8] Huijbregts MA, Rombouts LJ, Hellweg S, Frischknecht R, Hendriks AJ, Van de Meent D, et al. Is cumulative fossil energy demand a useful indicator for the environmental performance of products? *Environ Sci Technol* 2006 Feb 1;40(3):641-648.
- [9] Huijbregts MAJ, Hellweg S, Frischknecht R, Hendriks HWM, Hungerbühler K, Hendriks AJ. Cumulative Energy Demand As Predictor for the Environmental Burden of Commodity Production. *Environ Sci Technol* 2010 03/15; 2013/10;44(6):2189-2196.
- [10] Althaus H, Bauer C, Doka G, Dones R, et al. Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. *EcolInvent Report n° 3*. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. 2007.
- [11] Guinée J, Gorrée M, Heijungs R, Huppes G, Kleijn R, de Koning A, et al. Life cycle assessment-an operational guide to the ISO standards - Parts 1, 2 and 3. 2001; Available at: <http://media.leidenuniv.nl> .

ANEXO III: Modelo de transporte de los RCD

Como se indica en el apartado 4.2.2, para el cálculo de los impactos debidos al transporte, hay que tener en cuenta una serie de factores como el tipo de camión, la carga y las distancias recorridas, considerando los trayectos que el camión realiza sin carga y la densidad del RCD. Para ello se aplica el modelo de transporte propuesto por European Commission,2011 [12], obteniéndose un factor de corrección para cada fracción de RCD que se aplica a las distancias que intervienen en cada escenario.

European Commission,2011 establecen que el impacto del transporte de 1 tonelada de RCD durante una determinada distancia es

$$I_{\text{TRANSPORTE}} = 1t / \text{carga real} \cdot I_{\text{CAMIÓN}} \cdot D \cdot Z$$

Donde:

- $I_{\text{CAMIÓN}}$ es el impacto que genera el trayecto de un camión cargado al máximo durante 1 kilómetro de distancia, según el tipo de camión. Este dato es tomado de *Ecoinvent*.

- D es la distancia recorrida en kilómetros. Estos datos se obtienen del apartado 3.4.6.

- $Z = (2/3 + 1/3 \cdot LR) + 2/3 \cdot ERR$; siendo:

- LR el ratio de carga, determinado por la relación: carga real/máxima carga, según los datos de carga máxima del camión y la densidad de cada residuo. En algunos casos el límite de carga real vendrá determinado por el peso del residuo (por ejemplo en los inertes), y en otros será debido al volumen (por ejemplo en los plásticos).

- ERR el ratio de retorno vacío, determinado por la relación: distancia que recorre vacío/distancia que recorre cargado. En nuestro caso, se supone que el camión realiza el trayecto desde la obra a la correspondiente planta de tratamiento cargado y luego, directamente, vuelve vacío a la obra, por lo que ERR es 100 %.

Basado en la expresión anterior se calcula para cada fracción de RCD el factor de corrección $\mu = 1t / \text{carga real} \cdot Z$. En algunos escenarios de gestión, el RCD antes de ser transportado se recupera para disminuir su densidad y optimizar el trayecto. Esto se recoge considerando distintas densidades para el cálculo del factor de corrección. La Tabla A.2 muestra los factores de corrección de los RCD sin ningún tipo de recuperación y la Tabla A.3, los de los RCD una vez recuperados. En ambos casos se considera que el camión va completamente cargado, siendo de 16 toneladas en el primer caso y de 32 toneladas en el segundo. El factor de corrección se aplica a cada uno de los trayectos según la Tabla 4.7.

	Densidad (t/m3)	Volumen cuba (m3)	Peso residuo (t)	Carga real (t) (1)	ERR	LR	Z	μ
170101 Hormigón	1.5	8	12	12.8	1	0.914	1.638	0.128
170102/03 Cerámicos	1.2	8	9.6	10.4	1	0.743	1.581	0.152
170106 Mezcla hor. y cerám.	1.2	8	9.6	10.4	1	0.743	1.581	0.152
170201 Madera	0.35	8	2.8	3.6	1	0.257	1.419	0.394
170203 Plástico	0.08	8	0.64	1.44	1	0.103	1.368	0.950
170401 Cobre, bronce, latón	2.77	8	22.16	14 (2)	1	1.000	1.667	0.119
170402 Aluminio	1.8	8	14.4	14 (2)	1	1.000	1.667	0.119
170405 Hierro y acero	5.4	8	43.2	14 (2)	1	1.000	1.667	0.119
170802 Mat. a partir de yeso	0.55	8	4.4	5.2	1	0.371	1.457	0.280
170904 Residuos mezclados	1	8	8	8.8	1	0.629	1.543	0.175
150101 Env. papel y cartón	0.07	8	0.56	1.36	1	0.097	1.366	1.004
150102 Envases de plástico	0.08	8	0.64	1.44	1	0.103	1.368	0.950

(1) Peso del residuo más peso de la cuba

(2) Por peso supera la carga máxima autorizada del camión, por lo que se toma esta como límite.

Tabla A.1. Factor de corrección μ a aplicar a trayectos en los que el RCD no ha sido tratado.

	Densidad (t/m3)	Volumen cuba (m3)	Peso residuo (t)	Carga real (t) (1)	ERR	LR	Z	μ
170201 Madera	0.6	30	18	18	1	0.818	1.606	0.089
170401 Cobre, bronce, latón	8.8	30	22(2)	22	1	0.636	1.545	0.110
170402 Aluminio	2.7	30	22(2)	22	1	0.636	1.545	0.110
170405 Hierro y acero	7.7	30	22(2)	22	1	0.636	1.545	0.110
150101 Env. papel y cartón	0.13	30	3.9	3.9	1	0.177	1.392	0.357

(1) Peso del residuo más peso de la cuba.

(2) Por peso supera la carga máxima autorizada del camión, por lo que se toma esta como límite.

Tabla A.2. Factor de corrección μ a aplicar a trayectos en los que el RCD ha sido previamente recuperado.

REFERENCIAS

[12] European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. *Supporting Environmentally Sound Decisions for Waste Management – A technical guide to Life Cycle Thinking (LCT) and Life Cycle Assessment (LCA) for waste experts and LCA practitioners*. <http://ict.jrc.ec.europa.eu> .2011;2012.

ANEXO IV: Herramienta simplificada para evaluar la gestión de los RCD en obras

El archivo “Anexo IV.xlsx” contiene la herramienta simplificada elaborada en la presente tesis para evaluar la gestión de los RCD generados en obras o sistemas constructivos.

Manual de uso de la herramienta simplificada.

i) Escenarios de gestión. La herramienta permite calcular los siguientes escenarios de obra, descritos en el apartado 6.1.3.1:

Escenario E*: todas las fracciones de RCD se separan en obra y se eliminan en vertedero.

Escenario R*: todas las fracciones de RCD se separan en obra y se reciclan si es posible o se eliminan.

Escenario C*: clasificación en planta y eliminación o reciclaje según cada fracción de RCD.

Escenario P*: se aplican medidas de prevención y se gestionan los RCD generados según el escenario R*.

Escenario O*: escenario particular para cada obra, según la gestión real de los RCD llevada a cabo.

ii) Opciones de cálculo. La herramienta permite aplicar las dos opciones metodológicas descritas en los capítulos 5 y 6 (*Opción 1 y Opción 2*).

iii) Estructura de la herramienta. Cada opción metodológica consta de tres hojas de cálculo:

Opción 1: A (FACTORES DE IMPACTO) B (CÁLCULOS) C (GRÁFICOS)

Opción 2: A (FACTORES DE IMPACTO) B (CÁLCULOS) C (GRÁFICOS)

iii.a) *Hoja A (FACTORES DE IMPACTO):*

En esta hoja se establecen los factores de impacto asociados a cada fracción de RCD e indicador en cada escenario de obra, según los apartados 6.1.3.1 y 6.1.3.2. Son los siguientes:

E: separación en obra y eliminación en vertedero.

R: separación en obra y reciclaje.

CE: separación en planta y eliminación.

CR: separación en planta y reciclaje.

P: prevención

Los factores de impacto han sido calculados según GWP y CED para una obra genérica representativa de las obras de estudio, según se describe en el apartado 6.1.3.2.

	Escenario E*		Escenario R*		Escenario C*		Escenario P*		Escenario O*	
	GWP	CED	GWP	CED	GWP	CED	GWP	CED	GWP	CED
17 01 01 Hormigón	E	2.12E+02	R	2.12E+02	R	2.12E+02	R	2.12E+02		
17 01 02 03 Cerámicos	E	2.12E+02	R	2.12E+02	R	2.12E+02	R	2.12E+02		
17 01 06 Masilla herm. y carám.	E	2.12E+02	R	2.12E+02	R	2.12E+02	R	2.12E+02		
17 01 01 Madera	E	4.12E+02	R	4.12E+02	R	4.12E+02	R	4.12E+02		
17 01 03 Plástico	E	3.00E+03	R	3.00E+03	R	3.00E+03	R	3.00E+03		
17 04 01 Cobre, bronce, latón	E	3.71E+03	R	3.71E+03	R	3.71E+03	R	3.71E+03		
17 04 02 Aluminio	E	3.00E+03	R	3.00E+03	R	3.00E+03	R	3.00E+03		
17 04 03 Hierro y acero	E	2.40E+03	R	2.40E+03	R	2.40E+03	R	2.40E+03		
17 08 02 Mat. a partir de yeso	E	4.80E+02	R	4.80E+02	R	4.80E+02	R	4.80E+02		
17 09 04 Residuos mezclados	E	2.80E+02	R	2.80E+02	R	2.80E+02	R	2.80E+02		
15 01 01 Env. papel y cartón	E	2.12E+02	R	2.12E+02	R	2.12E+02	R	2.12E+02		
15 01 02 Envases de plástico	E	2.40E+02	R	2.40E+02	R	2.40E+02	R	2.40E+02		
15 01 06 Envases mezclados	E	2.80E+02	R	2.80E+02	R	2.80E+02	R	2.80E+02		

En el escenario O*, los factores de impacto deberán introducirse manualmente, según la gestión real de cada fracción llevada a cabo en la obra.

iii.b) Hoja B (CÁLCULOS):

Esta hoja consta de 3 apartados:

- Cantidades de cada fracción de RCD
- Impactos según GWP
- Impactos según CED

Introduciendo las cantidades de RCD generadas, se obtienen los impactos para GWP y CED de cada escenario.

Para cada opción metodológica los cálculos se realizan según se describe en los apartados 6.1.2.2 y 6.1.2.3.

En ambas opciones metodológicas se introducen manualmente las cantidades generadas de cada fracción de RCD en los escenarios sin prevención y en los escenarios de prevención.

Para obtener valores de impacto en el escenario O*, previamente se han debido introducir los factores de impacto correspondiente en la hoja A.

En el resto de escenarios los impactos se obtienen directamente.

iii.c) Hoja C (GRÁFICOS):

Esta hoja ofrece una comparación gráfica de los resultados de los escenarios, según los indicadores GWP y CED.

