

“Estudio en la intensidad de utilización de materiales y economía circular en Colombia para la Misión de Crecimiento Verde”



Producto 1. Diagnóstico de eficiencia en el uso de materiales y cierre de ciclos en los sectores manufacturero y de construcción en Colombia: contraste frente a experiencias internacionales

Versión: 2
Responsable: TECNALIA
Fecha: 28/11/2017

Índice

1.	Resumen	14
2.	Introducción a la economía circular y sus beneficios	22
3.	Objetivo y alcance del informe	23
4.	Selección y análisis de materiales clave	24
4.1.	Definición y cuantificación de criterios de selección de materiales.....	24
4.2.	C1: Valor agregado de las actividades manufactureras a la macroeconomía colombiana 26	
4.3.	C2: Impacto en las importaciones	31
4.4.	C3: Volumen de residuos generados	34
4.4.1.	Biomaterial primario.....	34
4.4.2.	Cemento y concreto.....	37
4.4.3.	Polímeros	38
4.4.4.	Celulosa y papel	41
4.4.5.	Metales: acero	44
4.4.6.	Textil.....	46
4.4.7.	Resumen de valores asociados al C3	48
4.5.	C4: Distancia a objetivo de máximo potencial de reincorporación de recursos materiales reciclados49	
4.5.1.	Biomaterial primario.....	49
4.5.2.	Cemento y concreto.....	50
4.5.3.	Polímeros	52
4.5.4.	Celulosa y papel	53
4.5.5.	Metales: acero	55
4.5.6.	Textil.....	56
4.5.7.	Resumen de valores asociados al C4	57

4.6.	C5: Impacto ambiental evitado.....	58
4.7.	C6: Impacto económico	60
4.8.	Descripción de la metodología AHP y etapas de la misma	61
4.9.	Ponderación de criterios.....	63
4.10.	Priorización de materiales aplicando metodología AHP.....	64
4.11.	Conclusiones	66
5.	Diagramas de flujo de los materiales clave seleccionados	67
5.1.	Biomaterial primario.....	68
5.1.1.	El azúcar como material exponente de la generación de residuos orgánicos industriales.....	69
5.1.2.	Producción, importación y exportación de azúcar	70
5.1.3.	Productos y subproductos en ingenios azucareros.	70
5.1.4.	Productos y subproductos en destilería: bioetanol.....	73
5.1.5.	Visión general de los principales flujos de la cadena de valor de la caña de azúcar.	75
5.2.	Cemento y concreto.....	77
5.2.1.	Visión general de los principales flujos de la cadena de valor del cemento en Colombia.....	78
5.2.2.	Flujos de productos de cemento en Colombia	80
5.2.3.	Aplicaciones y consumo de cemento.....	82
5.2.4.	Residuos de Construcción y Demolición.....	85
5.3.	Polímeros	86
5.3.1.	Visión general de los principales flujos de la cadena de valor del plástico en Colombia.....	87
5.3.2.	Producción, importación y exportación de polímeros	88
5.3.3.	Transformación de polímeros y etapa de uso	91
5.3.4.	Generación de residuos post-industriales y post-consumo	93
5.3.5.	Residuos post-industriales y post-consumo	95
5.4.	Acero.....	98
5.4.1.	Visión general de los principales flujos de la cadena de valor del acero en Colombia.....	100
5.4.2.	Producción de acero	102

5.4.3.	Importaciones y exportaciones de productos de acero y sus insumos	105
5.4.4.	Consumo aparente de acero en Colombia	106
5.4.5.	Generación y recogida de chatarra.....	107
5.5.	Celulosa y papel	110
5.5.1.	Visión general de los principales flujos de la cadena de valor del papel y cartón en Colombia	110
5.5.2.	Producción de celulosa y papel	111
5.5.3.	Importaciones y exportaciones	113
5.5.4.	Generación de residuos	114
5.6.	Análisis de Resultados:.....	117
5.6.1.	Biomaterial primario.....	117
5.6.2.	Cemento y concreto.....	120
5.6.3.	Polímeros	124
5.6.4.	Acero.....	129
5.6.5.	Celulosa y papel	131
5.6.6.	Resumen de resultados	133
6.	Análisis de ciclo de vida	136
6.1.	Objetivo y alcance de la tarea.....	136
6.2.	Selección de productos.....	137
6.2.1.	Criterios de selección.....	137
6.2.2.	Ponderación de criterios.....	138
6.2.3.	Listado inicial de productos	139
6.2.4.	Evaluación de productos.....	141
6.2.5.	Productos seleccionados	142
6.3.	Metodología de ACV	142
6.3.1.	Alcance y Objetivo	142
6.3.2.	Ámbito de decisión	142
6.3.3.	Aplicabilidad de los resultados	143
6.3.4.	Unidad funcional.....	144
6.3.5.	Métodos de asignación de cargas ambientales.....	144
6.3.6.	Alcance geográfico, temporal y tecnológico.....	146

6.3.7.	Fuentes y calidad de datos	147
6.3.8.	Límites del sistema.....	147
6.3.9.	Metodología de Evaluación de Impactos.....	147
6.4.	Análisis de Ciclo de Vida de Concreto premezclado	149
6.4.1.	Resumen del alcance del estudio	149
6.4.2.	Producción	150
6.4.3.	Reciclaje y fin de vida.....	152
6.4.4.	Resultados y conclusiones	152
6.5.	Análisis de Ciclo de Vida de Botella de PET	156
6.5.1.	Resumen del alcance del estudio	156
6.5.2.	Producción	157
6.5.3.	Recogida pos-consumo y reciclaje	158
6.5.4.	Resultados y conclusiones	159
6.6.	Análisis de Ciclo de Vida de Barra de acero corrugado	162
6.6.1.	Resumen del alcance del estudio	163
6.6.2.	Recogida post-consumo y reciclaje.....	165
6.6.3.	Resultados y conclusiones	165
6.7.	Análisis de Ciclo de Vida de Cartón de Embalaje 100% Reciclado.....	169
6.7.1.	Cartón de Embalaje 100% Reciclado	169
6.7.2.	Resumen del alcance del estudio	169
6.7.3.	Producción	170
6.7.4.	Recogida pos-consumo y reciclaje	170
6.7.5.	Resultados y conclusiones	171
6.8.	Conclusiones	174
7.	Análisis de factores de gobernanza, técnicos-tecnológicos, económico-financieros, de mercado y sociales	179
7.1.	Contextualización.....	179
7.2.	Aspectos de gobernanza.....	179
7.3.	Aspectos técnico-tecnológicos y logísticos, buenas prácticas y tecnologías disponibles 186	
7.4.	Aspectos económico-financieros y de mercado	190

7.5.	Aspectos sociales y académicos.....	194
7.6.	Aspectos medioambientales.....	195
7.7.	Conclusiones	196
8.	Análisis de 5 experiencias internacionales de implementación de modelos de economía circular	200
8.1.	Conclusiones de clave de éxito en avance hacia modelos de economía circular derivadas de la revisión de 5 experiencias internacionales.....	200
9.	Conclusiones finales	201
10.	Bibliografía.....	205
11.	Anejo I. Experiencias internacionales.....	212
11.1.	El 1: Marco de Economía Circular en la Unión Europea (UE)	212
11.1.1.	Descripción básica de la Unión Europea.....	212
11.1.2.	Marco de acción para la economía circular	214
11.1.3.	Plan de acción y medidas aplicadas	215
11.1.4.	Áreas prioritarias	217
11.1.5.	Instrumentos financieros para fomentar la economía circular dentro de la UE	218
11.1.6.	Aspectos socioeconómicos	219
11.1.7.	Seguimiento de los avances hacia una economía circular: principales indicadores.	220
11.1.8.	Conclusiones	223
11.2.	El 2: Cierre de ciclos de materiales de construcción en la región del País Vasco (España) 224	
11.2.1.	Descripción básica de la Comunidad Autónoma del País Vasco.....	224
11.2.2.	Ordenamiento legislativo y normativo histórico de la gestión de corrientes residuales industriales y de construcción	225
11.2.3.	Diagnóstico y planificación	229
11.2.4.	Selección en origen.....	231
11.2.5.	Tecnología disponible	232
11.2.6.	Fomento del uso material de agregados reciclados de RCD	237
11.2.7.	Instrumentos económico-financieros para fomentar la economía circular de RCD	239
11.2.8.	Control y seguimiento.....	241

11.2.9. Aspectos sociales	241
11.2.10. Estimación de dotación económica a la corriente de RCD.....	241
11.2.1. Conclusiones relativas al cierre de materiales de RCD en el País Vasco	241
11.3. E3: El 2: Cierre del ciclo de los plásticos en los Países Bajos (Europa)	242
11.3.1. Descripción básica de los Países Bajos.....	243
11.3.2. Sistema de gestión de los residuos en los Países Bajos	243
11.3.3. Planificación histórica de los residuos plásticos	246
11.3.4. Tecnologías de reciclaje y valorización de plásticos en Europa.....	247
11.3.5. Programa de Economía Circular en los Países Bajos: Plásticos	250
11.3.6. Esfuerzos en curso para la Economía Circular de los plásticos.....	252
11.3.7. Acciones planificadas para cerrar el ciclo de los plásticos.....	255
11.3.8. Conclusiones relativas al cierre del ciclo de los plásticos en los Países Bajos	257
11.4. E4: Recomendaciones globales de ecodiseño y gestión para la circularidad del papel .	258
11.4.1. Proceso productivo del papel	258
11.4.2. Descripción básica de la problemática del reciclaje	259
11.4.3. Ciclo de vida del papel	260
11.4.4. Recomendaciones de eco-diseño	261
11.4.5. Recomendaciones de gestión	262
11.4.6. Conclusiones relativas a la mejora de la circularidad del papel	262
11.5. E5: Cierre de ciclos de recursos materiales del sector siderúrgico en la región del País Vasco (España).....	262
11.5.1. Situación geográfica y ámbito legislativo y de planificación marco	263
11.5.2. Tecnología disponible	264
11.5.3. Ordenamiento legislativo y normativo histórico: Decreto 34/2003 y situación actual en País Vasco.....	269
11.5.4. Fomento del uso material.....	271
11.5.5. Instrumentos económico-financieros para fomentar la economía circular de los subproductos siderúrgicos.....	275
11.5.6. Control y seguimiento.....	275
11.5.7. Aspectos sociales	275
11.5.8. Conclusiones relativas al cierre de ciclos de subproductos siderúrgicos en el País Vasco.....	275

Listado de Figuras

FIGURA 1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE MANUFACTURA DEL AZÚCAR Y ETANOL A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR. ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE INFORMACIÓN DE (CAPURRO, 2016) (CENICAÑA, 2004) (CENICAÑA, 2008) (BECERRA-QUIROZ, 2016) (CUE, 2012)	35
FIGURA 2: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE MANUFACTURA DEL ACEITE DE PALMA. ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE INFORMACIÓN DE (GONZÁLEZ-TRIANA, 2013) Y (ELBERSEN, 2013)	36
FIGURA 3. BALANCE DE MASAS PARA LA PRODUCCIÓN DE 1 TON DE CEMENTO PORTLAND CONVENCIONAL	37
FIGURA 4. BALANCE DE MASAS PARA LA PRODUCCIÓN DE 1 TON CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS METÁLICAS DE DENSIDAD 2300 KG/M ³	38
FIGURA 5. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE POLÍMEROS (NO INCLUYE FIBRAS SINTÉTICAS). FUENTE: PLASTICS EUROPE (PEMRG) / CONSULTIC.....	39
FIGURA 6. DEMANDA DE PLÁSTICOS POR POLÍMERO Y SEGMENTO DE MERCADO EN EUROPA 2015. FUENTE: PLASTICS EUROPE (PEMRG) / CONSULTIC / MYCEPPI	40
FIGURA 7. BALANCE DE MASAS PARA LA PRODUCCIÓN DE 1 TON DE PRODUCTO PLÁSTICO.....	41
FIGURA 8. ESQUEMA GENERAL DE LA PRODUCCIÓN DE PAPEL Y CARTÓN Y BALANCES DE MATERIA APROXIMADOS.....	42
FIGURA 9. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE PASTA PAPELERA (A) Y PAPEL-CARTÓN (B) A NIVEL GLOBAL (CEPI, KEY STATISTICS 2016 - EUROPEAN PULP AND PAPER INDUSTRY, 2017)	43
FIGURA 10. FLUJO DE MATERIALES EN SIDERURGIA.	45
FIGURA 11. CONSUMO MUNDIAL DE FIBRAS. FUENTE (TEXTIL, 2014).	47
FIGURA 12. ESQUEMA TIPO DE LAS ETAPAS GENERALES DE PRODUCCIÓN TEXTIL PARA LA FABRICACIÓN DE PRENDAS	47
FIGURA 13. RESULTADOS POR CRITERIOS EN LA EVALUACIÓN DE MATERIALES.....	65
FIGURA 14. MAPA SIMPLIFICADO DEL CLÚSTER DEL AZÚCAR EN COLOMBIA (ASOCAÑA SECTOR AZUCARERO COLOMBIANO, 2015)	69
FIGURA 15. DIAGRAMA DE FLUJOS DE LOS INGENIOS AZUCAREROS EN COLOMBIA	73
FIGURA 16. DIAGRAMA DE FLUJOS DE LA PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR EN COLOMBIA	75
FIGURA 17. DIAGRAMA DE FLUJOS DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS DE LA CADENA DE VALOR DE CAÑA DE AZÚCAR EN COLOMBIA ...	76
FIGURA 18. ETAPAS DE LA CADENA DE VALOR (DNP, 2006)	77
FIGURA 19. PRINCIPALES FLUJOS DE MATERIALES EN EL CICLO DE CEMENTO Y SUS DERIVADOS EN COLOMBIA	79
FIGURA 20. PRINCIPALES FLUJOS DE CEMENTO Y CLÍNKER EN COLOMBIA (I: IMPORTADO, E: EXPORTADO)	82
FIGURA 21. APLICACIONES Y CONSUMO DE CEMENTO EN COLOMBIA	85
FIGURA 22. GENERACIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS DE CEMENTO Y HORMIGÓN EN COLOMBIA	86
FIGURA 23. FLUJO DE LOS PRINCIPALES POLÍMEROS EN LA ECONOMÍA COLOMBIANA.....	88
FIGURA 24. PRINCIPALES FLUJOS DE RESINAS EN COLOMBIA.	90
FIGURA 25. PRINCIPALES FLUJOS EN LA TRANSFORMACIÓN DE POLÍMEROS EN COLOMBIA.....	93
FIGURA 26. APROXIMACIÓN A LA COMPOSICIÓN DE LA CORRIENTE DE RESIDUOS PLÁSTICOS INDUSTRIALES, CON BASE EN DATOS DE CONSUMO.....	94
FIGURA 27. POLÍMEROS REICLADOS COMPRADOS POR LAS EMPRESAS (ACOPLÁSTICOS, 2017b)	97
FIGURA 28. FLUJO DE LOS PRINCIPALES POLÍMEROS EN LA ETAPA DE TRANSFORMACIÓN Y FIN DE VIDA.	98
FIGURA 29. ETAPAS DE LA CADENA DE VALOR (AKTIVA SERVICIOS FINANCIEROS, 2013).....	99
FIGURA 30. PRINCIPALES PRODUCTOS Y ETAPAS DE LA CADENA DE VALOR PRESENTES EN COLOMBIA (IDOM, 2013)	99
FIGURA 31. FLUJO DE MATERIALES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN DE ACERO EN LA ECONOMÍA COLOMBIANA	101
FIGURA 32. PRINCIPALES FLUJOS DE MATERIALES EN LA PRODUCCIÓN DEL ACERO.....	105
FIGURA 33. PRINCIPALES FLUJOS DE MATERIALES EN LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS TERMINADOS DE ACERO	107
FIGURA 34. FLUJO DE CHATARRA DE ACERO	109
FIGURA 35: FLUJOS ASOCIADOS A LA PULPA, EL PAPEL Y EL CARTÓN EN LA ECONOMÍA COLOMBIANA.....	110

FIGURA 36. PRODUCCIÓN DE PULPA EN COLOMBIA (TONELADAS), 2015. ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DEL INFORME DE SOSTENIBILIDAD DE LA CÁMARA DE PULPA, PAPEL Y CARTÓN DE ANDI (CÁMARA DE LA INDUSTRIA DE PULPA, PAPEL Y CARTÓN DE ANDI, 2015)	112
FIGURA 37: DISTRIBUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE PAPEL Y CARTÓN EN COLOMBIA (TONELADAS), 2015. ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DEL INFORME DE SOSTENIBILIDAD DE LA CÁMARA DE PULPA, PAPEL Y CARTÓN DE ANDI (CÁMARA DE LA INDUSTRIA DE PULPA, PAPEL Y CARTÓN DE ANDI, 2015)	112
FIGURA 38: CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS AUXILIARES (TONELADAS), 2015. ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE DISTINTAS FUENTES (ASPAPPEL, 2016), (CÁMARA DE LA INDUSTRIA DE PULPA, PAPEL Y CARTÓN DE ANDI, 2015) Y (BAJPAI, 2015)	113
FIGURA 39: IMPORTACIONES Y EXPORTACIONES EN EL SECTOR PAPELERO (TONELADAS), 2015. ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE (CÁMARA DE LA INDUSTRIA DE PULPA, PAPEL Y CARTÓN DE ANDI, 2015).....	113
FIGURA 40: CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS GENERADOS EN EL SECTOR DE PULPA, PAPEL Y CARTÓN (TONELADAS), 2015. ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE (ASPAPPEL-ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE PASTA, PAPEL Y CARTÓN, 2007) (CÁMARA DE LA INDUSTRIA DE PULPA, PAPEL Y CARTÓN DE ANDI, 2015)	114
FIGURA 41: TRATAMIENTOS DE LOS RESIDUOS, 2015. ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE (CÁMARA DE LA INDUSTRIA DE PULPA, PAPEL Y CARTÓN DE ANDI, 2015)	115
FIGURA 42. TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS POST-CONSUMO EN EUROPA (PLASTICS RECYCLERS EUROPE, 2016)	126
FIGURA 43: CONTRIBUCIÓN DE CADA CRITERIO A LA DECISIÓN	138
FIGURA 44: LÍMITES DEL SISTEMA DE LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO PREMEZCLADO	150
FIGURA 45: IMPACTOS AMBIENTALES DE LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO PREMEZCLADO EN LOS ESCENARIOS ACTUAL Y DE ECONOMÍA CIRCULAR	154
FIGURA 46: VARIACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO PREMEZCLADO EN EL ESCENARIO DE ECONOMÍA CIRCULAR RESPECTO AL ESCENARIO ACTUAL. SE REPRESENTA COMO PORCENTAJE DE REDUCCIÓN IDENTIFICADO EN CADA CATEGORÍA DE IMPACTO	154
FIGURA 47: LÍMITES DEL SISTEMA DE LA PRODUCCIÓN DE ENVASES DE PET RECICLADO	157
FIGURA 48: IMPACTOS AMBIENTALES DE LA PRODUCCIÓN DE ENVASE DE PET RECICLADO EN LOS ESCENARIOS ACTUAL Y DE ECONOMÍA CIRCULAR	161
FIGURA 49: VARIACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES EN LA PRODUCCIÓN DE ENVASES DE PET RECICLADO EN EL ESCENARIO DE ECONOMÍA CIRCULAR RESPECTO AL ESCENARIO ACTUAL.....	161
FIGURA 50: LÍMITES DEL SISTEMA DE LA PRODUCCIÓN DE BARRAS DE ACERO CORRUGADO	163
FIGURA 51: IMPACTOS AMBIENTALES DE LA PRODUCCIÓN DE BARRAS DE ACERO CORRUGADO EN LOS ESCENARIOS ACTUAL Y DE ECONOMÍA CIRCULAR	167
FIGURA 52: VARIACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES EN LA PRODUCCIÓN DE BARRAS DE ACERO CORRUGADO EN EL ESCENARIO DE ECONOMÍA CIRCULAR RESPECTO AL ESCENARIO ACTUAL.....	168
FIGURA 53: LÍMITES DEL SISTEMA DE LA PRODUCCIÓN DE CARTÓN DE EMBALAJE 100% RECICLADO.....	170
FIGURA 54: IMPACTOS AMBIENTALES DE LA PRODUCCIÓN DE CARTÓN DE EMBALAJE 100% RECICLADO EN LOS ESCENARIOS ACTUAL Y DE ECONOMÍA CIRCULAR	173
FIGURA 55: VARIACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES EN LA PRODUCCIÓN DE CARTÓN DE EMBALAJE 100% RECICLADO EN EL ESCENARIO DE ECONOMÍA CIRCULAR RESPECTO AL ESCENARIO ACTUAL	174
FIGURA 56: REDUCCIÓN GLOBAL DE CO ₂ (EQ) Y DE AGOTAMIENTO DE RECURSOS EN ESCENARIO DE ECONOMÍA CIRCULAR	176
FIGURA 57: FLUJO DE INFORMACIÓN EN MATERIA DE RESIDUOS PELIGROSOS.	182
FIGURA 58: MARCO INSTITUCIONAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS.....	184
FIGURA 59: ESTADOS MIEMBROS DE LA UE (FUENTE: WIKIPEDIA.ORG)	213
FIGURA 60. SITUACIÓN GEOGRÁFICA DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DEL PAÍS VASCO (ESPAÑA)	224
FIGURA 61. EVOLUCIÓN DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS NO PELIGROSOS EN LA CAPV 2000-2009.....	226
FIGURA 62. EVOLUCIÓN DE LA GESTIÓN DE RCD EN LA CAPV 2005-2009, A PARTIR DE LA ELABORACIÓN DE LOS PRIMEROS INVENTARIOS	227

FIGURA 63. CONSOLIDAR OFERTA DE RECURSOS ALTERNATIVOS (GESTIÓN Y RECUPERACIÓN DE RECURSOS PROCEDENTES DE RESIDUOS) Y ESTIMULAR LA DEMANDA (INCORPORACIÓN DE MATERIA PRIMA RECUPERADA A NUEVOS PROCESOS INDUSTRIALES)	228
FIGURA 64. INSTRUMENTOS PRIORIZADOS EN EL PAÍS VASCO PARA ESTIMULAR LA ECONOMÍA CIRCULAR	228
FIGURA 65. ILUSTRACIÓN DE LA RETIRADA SELECTIVA DE ESTRUCTURAS DE MADERA DE UN EDIFICIO	232
FIGURA 66. SISTEMA DE SEPARACIÓN AUTOMÁTICA POR INFRARROJOS (SEPARACIÓN DE YESOS Y METALES EN EL PROCESO DE RECICLAJE DE RCD).....	235
FIGURA 67. SEPARACIÓN AUTOMÁTICA BASADA EN TECNOLOGÍA HÍPER-ESPECTRAL CAPAZ DE SEPARAR AL MISMO TIEMPO CONCRETO, CERÁMICOS E IMPUREZAS	235
FIGURA 68. TECNOLOGÍA HEATING-AIR CLASSIFICATION SYSTEM (HAS) BY TUDELFT	236
FIGURA 69. PORTADA DE LA ORDEN 507 DE 2015: REGULACIÓN DE USO DE AGREGADOS RECICLADOS	237
FIGURA 70. PORTADA DEL ANEJO 5 DE LA NORMA DE DIMENSIONAMIENTO DE FIRMES DE LA RED DE CARRETERAS DEL PAÍS VASCO QUE REGULA EL USO DE AGREGADOS RECICLADOS ENCAPAS ESTRUCTURALES DE CARRETERAS	238
FIGURA 71. CIFRAS DE APOYO A LA ECO-INNOVACIÓN Y DEMOSTRACIÓN DE CIERRE DE CICLOS GESTIONADOS POR IHOBE Y VICECONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE	239
FIGURA 72 SITUACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS PAÍSES BAJOS (EUROPA).	243
FIGURA 73 JERARQUÍA DE RESIDUOS.	244
FIGURA 74 TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS EN EUROPA EN 2014 (FUENTE: PLASTICS EUROPE 2016).	247
FIGURA 75 EQUIPO DE LIBS PORTÁTIL MATECH (IZQUIERDA) Y EQUIPO LIBS DE LABORATORIO FIBERLIBS (DERECHA)	249
FIGURA 76: MEDIDAS QUE FAVORECEN LA TRANSICIÓN A UNA ECONOMÍA CIRCULAR.....	250
FIGURA 77: INSTRUMENTOS DEL GOBIERNO DE LOS PAÍSES BAJOS PARA APOYAR LA ECONOMÍA CIRCULAR.....	251
FIGURA 78 PARTES DE LA CADENA DE VALOR DE LOS PLÁSTICOS (FUENTE: PLASTICSEUROPE)	254
FIGURA 79: CICLO DE VIDA DEL PAPEL (FUENTE: (WORLD ECONOMIC FORUM, 2016)).....	261
FIGURA 80: DETALLE DEL VERTIDO DE LA ESCORIA EN LA PISCINA	265
FIGURA 81: DETALLE DEL PROCESO DE ENFRIAMIENTO DE LA ESCORIA NEGRA	265
FIGURA 82: AMPLIACIÓN DEL PUERTO DE BILBAO.....	272
FIGURA 83: PORTADA DEL ANEJO 3 DE LA NORMA DE DIMENSIONAMIENTO DE FIRMES DE LA RED DE CARRETERAS DEL PAÍS VASCO QUE REGULA EL USO DE ÁRIDOS SIDERÚRGICOS DE HORNO ELÉCTRICO EN MEZCLAS BITUMINOSAS PARA CARRETERAS	274

Listado de Tablas

TABLA 1. DESGLOSE DE ACTIVIDADES DEL SECTOR MANUFACTURERO EN COLOMBIA Y VALOR AGREGADO DESGLOSADO (DANE, 2015A).....	28
TABLA 2. IDENTIFICACIÓN DE CATEGORÍAS DE MATERIALES ASOCIADOS A CADA ACTIVIDAD PRIORIZADA.....	29
TABLA 3. IDENTIFICACIÓN DE CATEGORÍAS DE MATERIALES ASOCIADOS A CADA ACTIVIDAD PRIORIZADA.....	30
TABLA 4. ESTIMACIÓN DE IMPORTACIÓN DE MATERIALES PARA PRODUCCIÓN DE BIENES.	32
TABLA 5. PRODUCCIÓN AGRARIA EN COLOMBIA EN LOS AÑOS 2011 Y 2012 (PROVISIONAL) (SAC. SOCIEDAD DE AGRICULTORES DE COLOMBIA, 2012)	35
TABLA 6. RESIDUOS ASOCIADOS AL PROCESADO DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS	36
TABLA 7. RESIDUOS ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO, CONCRETO Y RCDS	38
TABLA 8. GENERACIÓN ESTIMADA DE RESIDUOS PLÁSTICOS POST-INDUSTRIALES Y POST-CONSUMO (ESTIMACIÓN PROPIA Y DANE, 2017b).....	40
TABLA 9. RESIDUOS PRINCIPALES GENERADOS EN LA INDUSTRIA DEL PAPEL Y CARTÓN (ESTIMACIONES A PARTIR DE ANDI, 2017).....	44
TABLA 10. RESIDUOS PRINCIPALES GENERADOS EN LA PRODUCCIÓN DE ACERO (ESTIMADOS A PARTIR DE VIVAS MUNAR, 2008 Y UNESID, 2017).	46
TABLA 11. VOLUMEN DE RESIDUOS GENERADOS	48
TABLA 12. CÁLCULO DE LA DISTANCIA OBJETIVO AL MÁXIMO POTENCIAL DE REINCORPORACIÓN DE LOS BIOMATERIALES PRIMARIOS .	50
TABLA 13. CÁLCULO DE LA DISTANCIA OBJETIVO AL MÁXIMO POTENCIAL DE REINCORPORACIÓN DE LOS RECURSOS MINERALES NO METÁLICOS (SUPONIENDO MAYORÍA DE CONCRETO, FUENTE (LOTFI ET AL., 2014)).	52
TABLA 14. CÁLCULO DE LA DISTANCIA OBJETIVO AL MÁXIMO POTENCIAL DE REINCORPORACIÓN DE LOS RECURSOS PLÁSTICOS.....	53
TABLA 15. CÁLCULO DE LA DISTANCIA OBJETIVO AL MÁXIMO POTENCIAL DE REINCORPORACIÓN DE LOS RECURSOS DE CELULOSA (FUENTE: CPPYC, 2015)	55
TABLA 16. CÁLCULO DE LA DISTANCIA OBJETIVO AL MÁXIMO POTENCIAL DE REINCORPORACIÓN DE LOS RECURSOS SIDERÚRGICOS Y DE FUNDICIÓN (VALOR PONDERADO SEGÚN VOLUMEN DE RESIDUOS, FUENTE: (UNESID, 2017)	55
TABLA 17. CÁLCULO DE LA DISTANCIA OBJETIVO AL MÁXIMO POTENCIAL DE REINCORPORACIÓN DE LOS RECURSOS TEXTILES.....	57
TABLA 18. RESUMEN DE LOS VALORES DEL CRITERIO C4	57
TABLA 19. IMPACTO DE CO ₂ EQUIVALENTE EVITADO ASOCIADO A LA RECUPERACIÓN DE CADA MATERIAL.....	59
TABLA 20. PRECIO DE LOS MATERIALES OBTENIDOS POR CADA CORRIENTE RESIDUAL (ESTIMACIONES A PARTIR DE IHOBE, 2016 Y CONSIDERACIONES INDICADAS EN ESTE APARTADO).	61
TABLA 21. COMPARACIÓN POR PARES PARA EL CÁLCULO DE LA MATRIZ DE DECISIÓN (LOSADA, 2006)	61
TABLA 22. ÍNDICES DE CONSISTENCIA ALEATORIA DE LAS MATRICES DE DECISIÓN SEGÚN SU ORDEN (LOSADA, 2006)	63
TABLA 23. MATRIZ DE DECISIÓN Y VECTOR DE PESOS SEGÚN PREFERENCIAS DEL EQUIPO TECNALIA	63
TABLA 24. VALORES DE CONSISTENCIA DE LA MATRIZ DE COMPARACIÓN DEL EQUIPO TECNALIA.	64
TABLA 25. VALORES DE LOS CRITERIOS PARA LAS 6 CATEGORÍAS DE MATERIALES.....	64
TABLA 26. VALORES NORMALIZADOS A PARTIR DE LOS MÁXIMOS DE CADA CRITERIO PARA LAS 6 CATEGORÍAS DE MATERIALES	65
TABLA 27. VALORES GLOBALES OBTENIDOS EN LA PRIORIZACIÓN MULTICRITERIO	66
TABLA 28. ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS Y SU GESTIÓN (DANE, 2015).....	68
TABLA 29. PRODUCCIÓN AGRARIA EN COLOMBIA EN LOS AÑOS 2011 Y 2012 (PROVISIONAL) (SAC. SOCIEDAD DE AGRICULTORES DE COLOMBIA, 2012)	69
TABLA 30. BALANCE DE AZÚCAR EN COLOMBIA 2015 (CAPURRO, 2016).....	70
TABLA 31. PRINCIPALES MATERIAS PRIMAS CONSUMIDAS POR LOS INGENIOS AZUCAREROS DE COLOMBIA	71
TABLA 32. PRINCIPALES SALIDAS DE LOS INGENIOS AZUCAREROS EN COLOMBIA Y SU DESTINO.....	72
TABLA 33. PRINCIPALES SALIDAS DE LOS INGENIOS AZUCAREROS EN COLOMBIA POR APLICACIÓN.....	72

TABLA 34. PRINCIPALES MATERIAS PRIMAS CONSUMIDAS EN COLOMBIA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR (CUE, 2012).....	74
TABLA 35. PRINCIPALES SALIDAS DE LOS INGENIOS AZUCAREROS EN COLOMBIA Y SU DESTINO.....	74
TABLA 36. PRINCIPALES DATOS DEL MERCADO DEL CEMENTO EN COLOMBIA	80
TABLA 37. PRINCIPALES INSUMOS PRIMARIOS EN LA PRODUCCIÓN DE CLÍNKER Y CEMENTO	81
TABLA 38. RESIDUOS INCORPORADOS EN CEMENTERA (CALCULADOS A PARTIR DE LOS DATOS FACILITADOS POR LAS EMPRESAS CONSULTADAS Y EXTRAPOLADOS A LA PRODUCCIÓN NACIONAL)	81
TABLA 39. SECTORES DE DESTINO DEL CEMENTO EN COLOMBIA	82
TABLA 40. CONSUMO ANUAL POR LOS CLIENTES INDUSTRIALES DE CEMENTO	83
TABLA 41. ESTIMACIÓN DE PRODUCCIÓN ANUAL DE DERIVADOS DEL CEMENTO	83
TABLA 42. PRINCIPALES INSUMOS EN CONCRETERAS	84
TABLA 43. OTROS RCDs INCORPORADOS EN EL CICLO DEL CEMENTO Y SUS DERIVADOS (FUENTE CEMA, 2015).	86
TABLA 44. CONSUMO APARENTE DE LAS PRINCIPALES RESINAS PLÁSTICAS (ACOPLÁSTICOS, 2017c).....	87
TABLA 45. CAPACIDAD INSTALADA PARA LA PRODUCCIÓN DE RESINAS PLÁSTICAS EN COLOMBIA (ACOPLÁSTICOS, 2017c)	89
TABLA 46. BALANCE DE CONSUMO, IMPORTACIÓN, EXPORTACIÓN E IMPORTACIÓN DE RESINAS EN ORIGEN, EXCLUYENDO PRODUCTOS FABRICADOS Y SEMIFABRICADOS. (ACOPLÁSTICOS, 2017c)	89
TABLA 47. PRINCIPALES SECTORES CONSUMIDORES DE MATERIALES PLÁSTICAS. (ACOPLÁSTICOS, 2017c).....	91
TABLA 48. PRINCIPALES PROCESOS A LOS QUE SE DESTINAN LOS POLÍMEROS EN EL PAÍS. (ACOPLÁSTICOS, 2017c).....	91
TABLA 49. ESTIMACIÓN DEL FLUJO INTERNACIONAL DE POLÍMEROS EN LOS PRODUCTOS SEMITERMINADOS Y TERMINADOS	92
TABLA 50. GENERACIÓN ESTIMADA DE RESIDUOS POST-INDUSTRIALES Y POST-CONSUMO.....	93
TABLA 51. CONTRIBUCIÓN RELATIVA DE LOS DIFERENTES MATERIALES RECOGIDOS	95
TABLA 52. ESTIMACIÓN DE RESIDUOS POST-INDUSTRIALES Y POST-CONSUMO	95
TABLA 53. FLUJO INTERNACIONAL DE RESIDUOS PLÁSTICOS (ACOPLÁSTICOS, 2017A)	96
TABLA 54. TABLA ADAPTADA REFERENTE AL FLUJO INTERNACIONAL DE RESIDUOS PLÁSTICOS.....	96
TABLA 55. PRINCIPALES PRODUCTORES DE ACERO EN COLOMBIA (NARANJO, PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE ACERO EN COLOMBIA 2005-2016., 2017)	102
TABLA 56. DATOS DE PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS SEMITERMINADOS DE ACERO EN COLOMBIA (ANDI, 2014)	103
TABLA 57 PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS TERMINADOS EN COLOMBIA (ANDI, 2014).....	103
TABLA 58. PRINCIPALES ENTRADAS Y SALIDAS DE MATERIALES EN LA PRODUCCIÓN DE PALANQUILLA (JOINT RESEARCH CENTRE OF THE EUROPEAN COMMISSION, 2013).....	104
TABLA 59 PRINCIPALES IMPORTACIONES DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS DE ACERO EN COLOMBIA (NARANJO, IMPORTACIONES COLOMBIANAS DE ACERO MATERIAS PRIMAS SIDERÚRGICAS, 2014)	105
TABLA 60. CONSUMO APARENTE DE ACERO EN COLOMBIA (ANDI - COMITÉ COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE ACERO, 2014) (ANDI, 2014)	106
TABLA 61. APLICACIONES DE LOS ACEROS LARGOS	106
TABLA 62. PRINCIPALES FUENTES DE CHATARRA (FUENTES INDUSTRIALES DE CHILE, MURASSO GRANDELA, 2010)	108
TABLA 63. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS EN ESPAÑA (ASPAPPEL, 2016)	115
TABLA 64. TASA DE RECICLAJE DE LOS MATERIALES ORGÁNICOS EN LA CADENA DE VALOR DEL AZÚCAR	118
TABLA 65. DATOS CLAVE REFERENTES AL FLUJO DE DIFERENTES CORRIENTES DE RESIDUOS DE BIOMATERIALES (CÁLCULOS PROPIOS A PARTIR DE LAS REFERENCIAS MENCIONADAS EN EL APARTADO 5.1)	120
TABLA 66. TASA DE RECICLAJE EN LA CADENA DE VALOR DEL CEMENTO	121
TABLA 67. TASA DE RECICLAJE EN LA CADENA DE VALOR DEL CEMENTO	121
TABLA 68. DATOS CLAVE REFERENTES AL FLUJO DE RESIDUOS POST-CONSUMO DE CONCRETO Y CEMENTO	123
TABLA 69. ASPECTOS RELEVANTES PARA IMPLEMENTAR LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LAS CORRIENTES RESIDUALES ANALIZADAS	124
TABLA 70. TASA DE RECICLAJE EN LA CADENA DE VALOR DEL PLÁSTICO.....	125
TABLA 71. DATOS CLAVE REFERENTES AL FLUJO DE DIFERENTES CORRIENTES DE RESIDUOS POLIMÉRICOS	128
TABLA 72. ASPECTOS RELEVANTES PARA IMPLEMENTAR LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LOS RESIDUOS POLIMÉRICOS	129

TABLA 73. TASA DE RECICLAJE EN LA CADENA DE VALOR DEL ACERO	129
TABLA 74. TASA DE RECICLAJE EN LA CADENA DE VALOR DEL ACERO	130
TABLA 75. DATOS CLAVE REFERENTES AL FLUJO DE DIFERENTES CORRIENTES DE RESIDUOS DE ACERO	131
TABLA 76. DATOS CLAVE REFERENTES AL FLUJO DE DIFERENTES CORRIENTES RESIDUOS DE LA CADENA DE VALOR DEL LA CELULOSA Y EL PAPEL EN COLOMBIA	133
TABLA 77. PRINCIPALES RESIDUOS ENVIADOS A DISPOSICIÓN FINAL DE ACUERDO AL ANÁLISIS REALIZADO	134
TABLA 78. TASAS DE RECICLAJE DE LAS PRINCIPALES CORRIENTES RESIDUALES	135
TABLA 79: DEFINICIÓN DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN	138
TABLA 80: LISTADO INICIAL DE PRODUCTOS.....	140
TABLA 81: RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE PRODUCTOS APLICANDO LA METODOLOGÍA AHP	141
TABLA 82: RESUMEN DE LAS HIPÓTESIS CONSIDERADAS EN LOS ESCENARIOS OPTIMIZADOS	143
TABLA 83: RESIDUOS APROVECHABLES COMO MATERIAS PRIMAS SECUNDARIAS EN LA PRODUCCIÓN DE CLÍNKER.....	151
TABLA 84: RESIDUOS APROVECHABLES COMO MATERIAS PRIMAS SECUNDARIAS EN LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO	151
TABLA 85: RESIDUOS APROVECHABLES COMO MATERIAS PRIMAS SECUNDARIAS EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO	151
TABLA 86: TASAS DE RECICLAJE DE RESIDUOS DE CEMENTO Y CONCRETO POST-CONSUMO EN EL ESCENARIO ACTUAL Y EN EL DE ECONOMÍA CIRCULAR	152
TABLA 87: IMPORTACIONES DE PET PARA ENVASES EN COLOMBIA (ACOPLÁSTICOS, 2017c)	158
TABLA 88: DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS A PARTIR DE PET RECICLADO (ENKA, 2017).....	158
TABLA 89: ORIGEN DE LAS IMPORTACIONES DE ACERO EN COLOMBIA (NARANJO, 2016)	164
TABLA 90: DESTINO DE LOS RESIDUOS EVALUADOS EN LOS ESCENARIOS ACTUAL Y DE ECONOMÍA CIRCULAR	165
TABLA 91: RESIDUOS GENERADOS EN LA PRODUCCIÓN DE EMBALAJE CON POTENCIAL PARA SU APROVECHAMIENTO COMO MATERIAS PRIMAS SECUNDARIAS	171
TABLA 92: EVALUACIÓN DE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO ₂ EN LOS ESCENARIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR ESTUDIADOS RESPECTO A LOS ESCENARIOS ACTUALES	174
TABLA 93: POLÍTICA Y MARCO JURÍDICO QUE APLICAN AL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS	181
TABLA 94: SITUACIÓN DE GOBERNANZA EN COLOMBIA Y RECOMENDACIONES DE MEJORA.....	186
TABLA 95: SITUACIÓN TÉCNICO-TECNOLÓGICA Y LOGÍSTICA EN COLOMBIA Y RECOMENDACIONES DE MEJORA.	188
TABLA 96: SITUACIÓN TECNOLÓGICA EN COLOMBIA, COMPARADA CON LAS MEJORES PRÁCTICAS INTERNACIONALES	190
TABLA 97: SITUACIÓN ECONOMICO-FINANCIERO Y DE MERCADO EN COLOMBIA Y RECOMENDACIONES DE MEJORA.....	193
TABLA 98: SITUACIÓN SOCIAL Y ACADÉMICA EN COLOMBIA Y RECOMENDACIONES DE MEJORA	194
TABLA 99: SITUACIÓN MEDIOAMBIENTAL EN COLOMBIA Y RECOMENDACIONES DE MEJORA	196
TABLA 100: PRINCIPALES RECURSOS ENVIADOS A DISPOSICIÓN FINAL DE ACUERDO AL ANÁLISIS REALIZADO	202
TABLA 101: CUESTIONES RELACIONADAS CON EL PROGRESO HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR.....	220
TABLA 102: INDICADORES RELACIONADOS CON LOS INSUMOS DE MATERIALES.	221
TABLA 103: INDICADORES RELACIONADOS CON EL ECO-DISEÑO.....	221
TABLA 104: INDICADORES RELACIONADOS CON LA PRODUCCIÓN.	222
TABLA 105: INDICADORES RELACIONADOS CON EL CONSUMO.	222
TABLA 106: CUESTIONES E INDICADORES RELACIONADOS CON EL RECICLAJE DE RESIDUOS.	223
TABLA 107 TECNOLOGÍAS DE SEPARACIÓN CONVENCIONAL Y EQUIPOS	248
TABLA 108 TECNOLOGÍAS DE IDENTIFICACIÓN/SEPARACIÓN AVANZADA.....	248
TABLA 109 PROGRAMA PARA FOMENTAR LA ECONOMÍA CIRCULAR DE LOS PLÁSTICOS EN LOS PAÍSES BAJOS.....	252
TABLA 110 ACCIONES QUE SE DESARROLLAN BAJO EL ACUERDO DE LA CADENA DE VALOR DE LOS PLÁSTICOS.....	255

1. Resumen

El presente informe presenta, analiza y discute la información relativa al diagnóstico de eficiencia en el uso de materiales de actividades manufactureras y de la construcción priorizadas. Asimismo, se recopila el análisis de 5 experiencias internacionales de implementación de buenas prácticas dirigidas a engranar paradigmas de economía circular en los sectores objeto de estudio.

El informe se articula, principalmente, en torno a las siguientes líneas de actuación:

Identificación y priorización de los materiales clave para los sectores de la manufactura y de la construcción en Colombia. La metodología adoptada se basa en el análisis de seis criterios que abarcan características fundamentales de diagnóstico y transición a modelos efectivos de cierre de ciclos y simbiosis industrial. Dichas consideraciones incluyen la relevancia de actividades económicas a la riqueza del país (valor agregado y necesidades de importación), generación de residuos y subproductos industriales y de construcción, tasa de valorización actual y distancia objetivo hacia un escenario de alta eficiencia de recuperación de recursos materiales dentro de una misma actividad industrial o de forma simbiótica entre diversos sectores industriales, consideraciones de impacto evitado y contribución a mitigar el cambio climático, así como el valor económico latente de la propia recuperación de los recursos materiales. Los criterios se cuantifican a partir de la información recopilada a través de estadísticas, diagnóstico en campo y fuentes primarias disponibles en el país, así como del análisis de documentación internacional para dibujar los escenarios óptimos de metabolización de recursos. A la luz de la aplicación de la metodología multicriterio (AHP), los materiales priorizados en el estudio son: ***polímeros; acero; biomateriales procedentes de la transformación de recursos agroforestales; textil; cemento & concreto, así como materiales de base celulosa para la fabricación de productos de papel y cartón.*** De entre los materiales priorizados, se decide hacer énfasis en aquellos que cuentan con mayor soporte técnico e información disponible, toda vez que representan un mayor abanico de actividades manufactureras y de construcción. Bajo esta premisa, se descarta el análisis exhaustivo de los recursos textiles, en favor de los otros 5 materiales anteriormente citados.

Análisis de flujos de materiales en Colombia. A partir de la información disponible en Colombia, así como del análisis de entrevistas sectoriales realizadas en el país, se construyen los flujos de materiales para cada uno de los 5 materiales priorizados. Dicho análisis permite alumbrar el escenario de partida, en cuanto a cierre de ciclos de los polímeros, acero y sus subproductos, biomateriales, materiales bases cemento y sus constituyentes principales, así como materiales celulósicos y subproductos derivados. Se concluye que ***el acero presenta tasas de recuperación (85%) alineadas con las mejores prácticas internacionales; no así, en lo relativo a la metabolización de los subproductos*** generados en la fabricación de acero y papel/cartón que necesitan de la aplicación de prácticas de simbiosis industrial con otras actividades productivas, tal es el caso de la fabricación de materiales de construcción (gravas, cemento, concreto u otros). En el caso de *los biomateriales generados en los procesos de transformación de recursos agroforestales, algunos*

sectores como el del azúcar también apuntan altos porcentajes de aprovechamiento (cerca del 90%). **La recuperación de materiales celulósicos y subproductos del papel (55-73%),** aunque elevada, tiene margen para mejorar sus resultados. Igualmente se deben buscar y registrar destinos para los subproductos de la industria papelera en otras industrias. Por su parte, el cierre de ciclos de los materiales y **productos poliméricos revela un escenario (20% de recuperación de los recursos poliméricos disponibles en el país) de manifiesta mejora con respecto a las mejores prácticas internacionales** que alcanzan tasas de recuperación en torno **al 40%** de los recursos poliméricos disponibles. Finalmente, **los recursos materiales procedentes de los residuos de construcción y demolición (RCD), que están constituidos principalmente (más del 75%) por fracciones minerales, revelan tasas de aprovechamiento inferiores al 2% a nivel de país y ponen de manifiesto la urgencia de diversas acciones para catalizar mayor número de cierre de ciclos en dicho sector.** Todo ello, a pesar que la industria del cemento y el concreto metabolizan cantidades notables de recursos minerales procedentes de otros sectores industriales, aplicando criterios de simbiosis industrial.

Análisis de ciclo de vida. A continuación se resumen las conclusiones más relevantes del Análisis de Ciclo de Vida de los productos analizados:

CONCRETO PREMEZCLADO

- Los beneficios ambientales de la incorporación de RCDs varían en función de la etapa de producción en la que se adicionan, y principalmente, del material al que sustituyen.
- La incorporación de residuos en la cementera, sustituyendo a materiales de alto valor añadido como el clínker o el mineral de hierro (que se asocian a importantes impactos en su producción) conlleva una reducción de impactos significativa. Por tonelada de cemento se consigue una reducción de entre el 3% y el 25% de los impactos. A modo de ejemplo, por tonelada de cemento se estima una reducción de 40 kg de CO₂, lo que extrapolado al global de la producción en Colombia, daría lugar a la reducción de aproximadamente 400.000 toneladas de CO₂ al año.
- La sustitución del yeso por yeso sintético también permite reducir impactos, aunque de forma más limitada. La reducida cantidad de yeso sintético incorporada por tonelada de cemento hace que el uso de este material secundario sea responsable tan solo de menos del 5% de la reducción global alcanzada.
- Las concreteras permiten metabolizar 1 tonelada de agregados gruesos por m³. Teniendo en cuenta que el material sustituido no conlleva un impacto importante, la ventaja ambiental alcanzada es limitada. En este punto el transporte juega un papel muy relevante, ya que en caso de transportes mayores a 100 km (considerando transporte a planta de pretratamiento y posteriormente a la planta cementera) no se observa beneficio ambiental, ya que el impacto del transporte sería superior al del material evitado.
- La principal ventaja ambiental alcanzada en la optimización del flujo circular de materiales en la producción de hormigón está asociada al aumento de la tasa de reciclaje hasta llegar

al 50%. Esto permite reducir los impactos de la disposición final (considerando el transporte y las operaciones de un depósito controlado), así como la obtención de nueva materia prima para su incorporación a posteriores ciclos de vida.

BOTELLAS DE PET

- El principal impacto del ciclo de vida de la botella está asociado con el consumo de material, es decir, el PET, que proviene principalmente de terceros países.
- El escenario propuesto permitiría aumentar el contenido de PET reciclado en la botella hasta el 50%, reduciendo la cantidad de resina virgen y las emisiones en su transporte, al tratarse de material principalmente importado.
- En este contexto, el aumento en un 20% de la tasa de reciclaje (hasta alcanzar el 50%) y la producción de botellas con un 50% de contenido en PET reciclado permiten evitar la emisión de 580 kg de CO₂ por tonelada de botellas.
- Para aumentar la tasa de reciclaje (indispensable para contar con el material reciclado suficiente en el mercado) es clave aumentar la tasa de recogida. Teniendo en cuenta que solamente en la planta de reciclaje pueden perderse alrededor del 25% de los materiales¹, sería necesario alcanzar una tasa de recogida del 60%. Un adecuado pretratamiento, acompañado por la involucración de recolectores formados, permite mejorar la calidad de la corriente que entra en la planta de reciclaje, reduciendo pérdidas de material.
- El ecodiseño también permitiría mejorar la reciclabilidad del residuo final, diseñando botellas con materiales compatibles para el reciclaje o fácilmente separables. Sin embargo, este aspecto es de muy difícil cuantificación.

BARRA DE ACERO CORRUGADO

- La mejora ambiental que se identifica en el escenario de economía circular propuesto en este informe viene determinada principalmente por el aumento del reciclaje de chatarra aún posible en Colombia, excepto para las categorías de impacto “Toxicidad Humana, cancerígenos” y “Ecotoxicidad aguas continentales”. La eliminación del depósito final de residuos siderúrgicos es prácticamente el responsable único de la reducción de las emisiones de sustancias tóxicas.
- La mejor gestión de los residuos siderúrgicos contribuye en un 20% aproximadamente a la reducción que se da en la categoría de impacto “Uso del Suelo” a lo largo de todo el ciclo de vida. Ello se debe a la menor ocupación de los vertederos y la menor demanda de recursos.

¹ Fuentes industriales Colombianas y Europeas.

- Para el resto de las categorías de impacto, la mejora de la gestión de los residuos siderúrgicos aporta entre el 1 y el 5% de la mejora alcanzada en todo el ciclo de vida de las barras corrugadas de acero.
- La categoría de impacto denominada “Toxicidad Humana (efectos no cancerígenos)” muestra un ligero aumento del 17%, ya que las fuentes de datos utilizadas asocian un aumento de las emisiones de algunos metales en la producción de acero a partir de chatarra en comparación con la producción a partir de mineral. Teniendo en cuenta que en el estudio no ha sido posible contar con datos específicos de emisiones en las siderurgias colombianas, estos valores deberían validarse de cara al análisis de resultados y a revisiones futuras.
- En el estudio se ha asumido que el aumento del reciclaje está asociado a una mayor capacidad de producción nacional y menor consumo de acero importado. De acuerdo a las bases de datos de Análisis de Ciclo de Vida utilizadas, y considerando también los datos relativos a las operaciones de transporte del material, el acero nacional que se produciría en el escenario de economía circular (con un ligero aumento de acero a partir de chatarra) tiene aún menor impacto que la producción media internacional (Ecoinvent 3.3), aunque para poder validar este dato sería necesario realizar análisis más exhaustivos.

CARTÓN DE EMBALAJE 100% RECICLADO

- La mejora ambiental conseguida procede principalmente del aprovechamiento energético de las corrientes residuales de lodos de la producción del cartón de embalaje 100% reciclado y del posterior aprovechamiento como materia prima secundaria de las cenizas de la combustión de dichos lodos en la industria de fabricación de clínker.
- Aunque en la actualidad la tasa de reciclaje de papel y cartón en Colombia está en el 55%, hay margen de mejora para alcanzar las tasas de los países más desarrollados. En el escenario de una economía circular en Colombia, esto se ha tenido en cuenta de tal manera que, la tasa de reciclaje considerada fue del 81%, equivalente a la de España, país de referencia en este sentido.
- Considerando las propiedades físicas y químicas de las cenizas generadas en la combustión de los lodos, éstas presentan unas propiedades similares a las del clínker más puzolánico, con lo que si se considera una tasa de sustitución 1 a 1, el aprovechamiento de las mencionadas cenizas podría evitar la producción de aproximadamente 5.000 toneladas anuales de clínker.
- La antedicha valorización energética supone un ahorro en el consumo de combustibles fósiles ya que se plantea realizar dicho aprovechamiento en la misma planta de producción del cartón de embalaje 100% reciclado.

Análisis de factores de gobernanza, técnico-tecnológicos, económico-financieros y de mercado, así como sociales. A partir del análisis de la gobernanza actual, relativa a la legislación y regulación del manejo de residuos y de los recursos materiales asociados, así como del análisis de información recopilada en entrevistas con instituciones públicas, cámaras sectoriales y empresas del sector manufacturero priorizado y del sector de la construcción, se enumeran los principales aspectos del diagnóstico actual y se enuncian recomendaciones de mejora hacia los modelos de economía circular.

Sobre los **aspectos de gobernanza** frente al manejo de residuos, con una visión integral, se evidencia:

- El manejo de residuos sólidos se rige por la Ley 142 de 1994 que reglamenta la prestación del servicio público de aseo y sus decretos reglamentarios, en los cuales el tratamiento y procesos de valorización no han sido regulados. Se requiere armonización normativa frente al sector de la gestión de materiales y residuos con potencial de recuperación para los diversos flujos económicos.
- La Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos - CONPES 3874 plantea la transición hacia un modelo de economía circular buscando fortalecer el reciclaje y la valorización económica. Sin embargo, se evidencia una ausencia de planificación estratégica, con acciones específicas y dotación de recursos económicos.
- En términos globales, se evidencia una ausencia integral de planificación estratégica armonizada en cuanto a la gestión de recursos materiales del sector manufacturero y de construcción bajo paradigma de cierre de ciclos. Se requiere reforzar los instrumentos de gobernanza que consoliden el ciclo de los materiales; especialmente, instrumentos de planificación y seguimiento que establezcan objetivos, acciones, indicadores de seguimiento y doten de los recursos suficientes al despliegue de las diferentes acciones priorizadas.
- El sector institucional asociado está representado en varias entidades con diferentes roles y competencias. Se requieren esfuerzos para mejorar la coordinación y unidad de criterios en el sector institucional.
- Se detecta inconsistencia en las estadísticas, oficiales y las estimaciones sectoriales, acerca de la generación de residuos. Asimismo, no se ha identificado un procedimiento de recogida de información armonizado para los diferentes flujos de residuos. Los flujos de información que nutren la estadística se encuentran segregados entre diferentes departamentos. Se identifica, por ende, la necesidad de armonizar criterios frente a las estadísticas y crear sistemas ágiles de información que permitan estimar, como mínimo, la generación y niveles de recuperación de los recursos materiales embebidos en los residuos manufactureros y de construcción priorizados. Adicionalmente, se recomienda que la recogida y seguimiento de información estadística la centralice aquel departamento que más responsabilidad manifieste en cuanto a la consecución de objetivos de cierre de ciclos de recursos materiales.
- Escaso control administrativo en cuanto a tareas de selección en origen. Para ello, se requiere potenciar soluciones administrativas para incrementar el control de la información y reducir la informalidad en las etapas de selección en origen de recursos materiales post-consumo y opciones de gestión asociadas tras la recogida en origen.

En cuanto a los **aspectos técnicos-tecnológicos**:

- Insuficiente retorno de recursos desde la etapa post-consumo a los procesos manufactureros; significativamente, para los materiales de construcción, poliméricos y celulósicos con origen en productos papel/cartón. Resulta necesario articular las señales del sector de prestación del servicio público de aseo con las requeridas para fortalecer las infraestructuras y actividades de recolección en origen y separación de materiales en su etapa post-consumo; preferentemente, productos poliméricos, de naturaleza celulósica (papel-cartón) y materiales de construcción asociados a obra menor en un ámbito de recogida urbana.
- Ausencia de infraestructuras para recuperación de recursos materiales de residuos de construcción y bajo nivel tecnológico para el cierre de ciclos de recursos materiales poliméricos. Niveles tecnológicos más universales en cuanto a cierre de ciclos de acero y celulósicos para producir papel/cartón. Se requiere avanzar en infraestructuras e incremento del nivel tecnológico asociado, principalmente, a la transformación y reciclaje de materiales de naturaleza polimérica y de construcción que garanticen un suministro estable y de mayor calidad de dichos recursos hacia las correspondientes actividades manufactureras.
- Escasa información sobre el aprovechamiento de subproductos para el sector del acero y el papel y ausencia de experiencias de simbiosis industrial para concatenar cierre de ciclos. Se recomienda impulsar actividades y negocios de simbiosis industrial que permitan concatenar el cierre de ciclos en determinados sectores productivos. Esto es aplicable, preferentemente, entre el sector del acero y el sector de la construcción, a partir de los subproductos generados por la actividad del primero, así como entre el sector primario y el sector del papel con objetivos de simbiosis industrial, encadenando cierre de ciclos entre sectores.
- Los productos actuales no se diseñan con criterios de fin de vida. Se identifica, como estímulo a la demanda de materiales recuperados, la necesidad de promover la aplicación de criterios de eco-diseño en las actividades industriales y de la construcción que permitan una mejor segregación de los diferentes recursos materiales y su ulterior recuperación en los diferentes ciclos productivos, así como identificar estrategias que permitan señales de mercado más estables.

Frente a los **estímulos económico-financieros y de mercado**:

- El marco tarifario actual (Resolución 720 de 2015) es una barrera para incorporar tratamientos previos, toda vez que establece que se podrán emplear alternativas a relleno sanitario, siempre y cuando el costo a trasladar a los usuarios en la tarifa no exceda el Costo de Disposición Final definido. Se requiere revisar la metodología tarifaria para incorporar costos de infraestructura y de operación de tratamientos para recuperar materiales.
- Fallas de logística inversa y de suministro. El suministro de material a la industria transformadora no es estable, lo cual incide sobre la viabilidad de negocios y las decisiones de inversión. Asimismo, se evidencian altos costos logísticos, asociados a la infraestructura vial del país. Se requiere del diseño de estrategias para resolver fallas de mercado,

fortaleciendo la selección en origen, profesionalizando las actividades de logística inversa y priorizando inversiones para recuperación de materiales de mayor valor añadido.

- Los presupuestos públicos de inversión de infraestructura para la gestión de residuos se destinan, principalmente, a depósitos sanitarios y por ende, se siguen priorizando recursos económicos hacia paradigmas de economía lineal. Existe la necesidad de planificar inversiones estratégicas que contribuyan a mejorar la oferta de recursos materiales recuperados desde la recogida post-consumo hasta el tratamiento de los residuos para la producción de recursos materiales intermedios. La prioridad de dotación económica pública se debería canalizar hacia sistemas de recogida post-consumo de recursos poliméricos, celulósicos (papel/cartón) y materiales de construcción de ámbito urbano. Asimismo, cabe plantear la posibilidad de colaboración público-privada para la inversión de infraestructura de tratamiento de RCD o plantas automáticas de separación de polímeros post-consumo por familia.
- Se registran deficiencias en los esquemas de financiación dirigidos a las regiones y municipios. Se realizan de forma aislada y sin adecuados mecanismos de seguimiento. Se observa la necesidad de mayor articulación y unidad de políticas sectoriales.
- Ausencia de incentivos a la inversión privada en infraestructura y logística de recuperación de materiales que permita la tecnificación de la industria. Se requieren estudios que soporten los costos evitados al reincorporar materiales en nuevos ciclos productivos que reconozcan los costos y beneficios económicos, sociales y ambientales; no exclusivamente los costos financieros (Internalización de costos).
- Inexistencia de un mercado para subproductos siderúrgicos, lodos papeleros y determinadas familias de polímeros. Se recomienda elaborar estudios específicos de viabilidad tecno-económicas que establezcan las bases de negocio para con estos recursos de las actividades manufactureras de acero, papel e industria de fabricación de productos plásticos.
- Existencia de mercado demandante de recursos minerales; sin embargo hace falta la oferta de recursos minerales procedentes del cierre de ciclos de materiales base cemento, así como recursos minerales procedentes de otras industrias. Se recomienda priorizar la inversión de infraestructuras y estimular estudios de viabilidad de simbiosis industrial entre el sector de la construcción y el sector manufacturero. Existe la necesidad de conectar a los diferentes agentes de la cadena de valor y dotar al mercado de las infraestructuras necesarias. Adicionalmente se requieren estudios de profundidad sobre la incorporación de impuestos e incentivos combinados para promover la recuperación de materiales considerando valores agregados en aspectos sociales y ambientales.
- Actualmente existe un modelo de responsabilidad extendida a productor, el cual se considera incompleto, por lo tanto se hace necesario profundizar en el mismo.
- Existen instrumentos financieros de exención por implantación de tecnologías limpias. Sin embargo, se requiere optimizar el trámite de accesos a las exenciones por tecnologías limpias, así como considerar la ampliación de ítems a ser considerados frente a las necesidades de implementar tecnologías de producción más limpia y de recuperación eficiente de recursos de materiales que puedan retornar al ciclo productivo con total garantía.

- Ausencia de programas de subvención pública que estimulen la investigación y demostración de soluciones de economía circular de los materiales objetivo. Se recomienda asignar dotación económica específica para este instrumento que contribuya a ayudar al sector privado a sentar las bases de viabilidad cierre de ciclos de los recursos materiales priorizados. Se recomienda priorizar en aquellas corrientes que parten de un diagnóstico más desfavorecido: cierre de ciclos de RCD y materiales base cemento. A medida que se vayan cerrando fallas en la parte de oferta, se priorizarán planteamientos dedicados a estimular la demanda sobre materiales de mayor valor en el mercado (polímeros, metales y celulósicos).

En cuanto a los **aspectos socio-culturales**:

- Fallas culturales que dificultan una verdadera separación de productos por tipología material en actividades post-consumo. Se recomienda articular campañas de formación y capacitación a diferentes niveles: i) divulgación a la ciudadanía; ii) formación a recolectores; iii) formación sectorial específica en materia de cierre de ciclos de los diferentes recursos materiales (políticas, tendencias, nichos de oportunidad, procedimientos administrativos, logística inversa, tecnología, manipulación y uso efectivo de materias primas recuperadas en productos manufactureros o de construcción).
- Alta informalidad en la recogida de recursos en corrientes post-consumo. Visibilizar y regularizar la masa laboral que se encuentra en la actualidad en actividades de economía sumergida. Generación y registro de nuevos empleos asociadas a actividades y servicios de recuperación de recursos materiales.

Revisión de experiencias internacionales de implementación de modelos de economía circular.

Como resumen global de las experiencias se obtienen las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Incorporación de la economía circular en la visión y planes estratégicos de países
- Priorización de corrientes que más importancia manifiestan en cuanto a resolución de cierre de ciclos. En Europa, se tienen priorizadas las siguientes: **Plásticos**, **Materiales Críticos**, **Residuos de Construcción y Demolición**, **Biomasa y bioproductos** y residuos alimentarios. Tres de las corrientes priorizadas en Europa coinciden con las priorizadas en el presente estudio.
- **La economía circular presenta retos de parte de la oferta** (desde la recogida del residuo industrial o de construcción hasta la recuperación/reciclaje de nueva materia prima aprovechable) **y de la demanda** (incorporación de materiales reciclados en los nuevos ciclos productivos, incluido el ecodiseño). **En la mayoría de las experiencias internacionales se ha avanzado, notablemente, en facilitar instrumentos que ordenen la oferta de la cadena de valor, alcanzando tasas de recuperación y reciclaje superiores al 50% en los residuos manufactureros y de construcción objeto en cada experiencia.** El gran reto lo constituye la estimulación de la oferta para garantizar el cierre efectivo de los ciclos. **El ordenamiento de la oferta puede implicar plazos entre 15 y 20 años en países con PIB medio-alto.**
- **Claves para articular el funcionamiento de la oferta:** i) planificación sectorial de gestión de residuos y planes específicos; ii) normativa ambiental y técnica específica; iii) control de

acciones a cargo de un único departamento gubernamental; iv) métodos estadísticos consolidados para los diferentes períodos de planificación; v) acuerdos público-privados para invertir en infraestructuras de recogida y reciclaje; vi) directrices de selección en origen; vii) incorporación del I+D en mejora de tecnología y estudio de usos; viii) existencia de instrumentos de subvención y desgravación fiscal; ix) demostración y experiencia piloto de cierre de ciclos. Por encima de todo, prohibir el vertido de materiales aprovechables, penalizar la mezcla en origen y favorecer soluciones de gestión de reutilización, de remanufactura y reciclaje frente a la disposición final.

- **Claves para articular la demanda:** i) eco-diseño; ii) compra pública verde e innovadora; iii) acuerdos público-privados para facilitar el cierre de ciclos en procesos; iv) subvenciones de proyectos demostración; v) desarrollo de nuevos instrumentos financieros (ej.: reducir impuestos a uso de materiales reciclados); vi) campañas de divulgación y capacitación sectoriales.

2. Introducción a la economía circular y sus beneficios

En el último siglo, el cambio de un cada vez mayor número de países de bajos a altos niveles de desarrollo de bienestar ha traído como consecuencia un incremento, sin precedentes, en el uso de recursos naturales. Impulsado en sus inicios por el desarrollo económico de Europa y Norte América, el Producto Interior Bruto (PIB) global ha experimentado un crecimiento 25 veces el existente en 1900, que a su vez ha originado un incremento en la extracción de recursos globales 10 veces superior al existente en los albores del SXX. Estas tendencias se espera continúen las próximas décadas, en la medida que los grandes núcleos poblacionales de Asia y Centro-Sur América adopten los modelos de consumo de las regiones más desarrolladas. Se estima que el uso de recursos, a escala global, se duplique hacia 2030 (SERI, 2013), circunstancia tal que podría causar conflictos globales por el acceso a determinados recursos naturales, toda vez que pone en riesgo la competitividad, sostenibilidad y bienestar social de aquellas regiones altamente dependientes de la importación de recursos materiales y energéticos.

Los nuevos paradigmas de economía circular están eclosionando como respuesta a los grandes desafíos globales de escasez de recursos ante escenarios de sobreexplotación de los límites abióticos y bióticos globales, preservación de ecosistemas y bienestar social, incremento de la competitividad y contribución a la lucha contra el Cambio Climático.

En esencia, un modelo de economía circular representa una alternativa fundamental a los paradigmas económicos lineales, predominantes en la actualidad, caracterizados por la secuencia clásica de “extraer-producir-consumir para finalmente eliminar”. Los modelos lineales parten de la premisa que los recursos naturales son abundantes, fáciles de conseguir y baratos de eliminar. Dicho modelo es insostenible en tanto en cuanto las dinámicas globales avanzan hacia escenarios de colapso en el acceso y regeneración de dichos recursos.

La Fundación Ellen MacArthur (EMF, 2015) define una economía circular como aquella que sea restaurativa y se oriente hacia mantener la utilidad y valor de materiales, productos y componentes.

Este enfoque contribuye, por lo tanto, a minimizar la necesidad de nuevos insumos de materiales y energía, toda vez que reduce las presiones medioambientales asociadas a la extracción de recursos, emisiones y disposición de residuos en rellenos sanitarios. Dicho concepto o escenario pretende hacer énfasis no sólo en la gestión del residuo, sino en la gestión de la eficiencia de los materiales a lo largo de todo el ciclo de vida. Para ello, las actuaciones de ecodiseño, prevención, reparación y remanufactura, reutilización, compartición de productos o soluciones de reciclaje de mayor valor agregado en contraposición de las de menor valor (“upcycling” versus “downcycling”, en la terminología inglesa) han de considerarse, en igualdad de condiciones, en una determinada cadena de valor productiva.

Las regiones más avanzadas en la definición de diagnósticos y políticas dirigidas a la consecución de modelos de economía circular, en un horizonte temporal priorizado, reconocen la necesidad de cambios simultáneos en diferentes áreas del actual sistema socio-económico, con especial énfasis a factores que coadyuvan a catalizar y guiar el proceso de transición.

3. Objetivo y alcance del informe

El presente informe tiene como objetivo principal sentar las bases del diagnóstico de los sectores manufacturero y de la construcción colombianos, en cuanto a la eficiencia de cierre de los recursos materiales. Por extensión, se analiza el metabolismo del país en torno a 5 flujos materiales priorizados considerando ciclos de vida completos que abarcan las siguientes etapas de ciclo de vida: fin de vida (post-consumo), recuperación post-consumo, transformación de recursos, producción industrial y consumo de producto y activos de construcción.

El diagnóstico se articula en torno al siguiente planteamiento en cascada: **i)** recopilación de información primaria a través de estadísticas y documentación disponible en Colombia; **ii)** entrevistas sectoriales y empresariales realizadas en el país; **iii)** priorización de materiales y productos aplicando el método multicriterio (AHP); **iv)** análisis de flujo de recursos materiales a partir de la información recopilada, así como asumiendo supuestos de producción sobre la base del conocimiento internacional publicado, para aquellas etapas del flujo manufacturero o constructivo donde se carece de datos publicados; **v)** análisis de ciclo de vida realizado sobre cuatro productos de diversa naturaleza material a fin de abarcar el mayor abanico de casuísticas productivas representativas del país; **vi)** identificación de las principales barreras institucionales, normativas, tecnológicas, económicas y de mercado y sociales; **vii)** identificación de las principales claves de éxito para dinamizar modelos de economía circular en la industria y construcción a partir de la revisión de 5 casos de éxito internacionales; **viii)** análisis cruzado de conclusiones y validación de las mismas, a partir de la ejecución de un taller de trabajo con diversos agentes público-privados colombianos a fin de que contribuyan a completar las claves de la coyuntura de partida en cuanto al tema objeto de estudio; **ix)** corolario final sobre barreras y oportunidades de economía circular de recursos materiales en los sectores manufacturero y de construcción en Colombia.

A la luz de las principales conclusiones, se construirán las principales líneas de acción e indicadores asociados en las etapas ulteriores del presente estudio.

4. Selección y análisis de materiales clave

4.1. Definición y cuantificación de criterios de selección de materiales

A fin de priorizar los materiales, a partir de los cuales se articula el estudio de intensidad de uso de los materiales y economía circular en Colombia, el presente apartado y sub-apartados asociados recopilan: la descripción del espíritu de la metodología de priorización establecida; la definición de los seis (6) criterios que regirán el proceso de priorización; el análisis de información asociada a cada uno de los criterios; así como el método de análisis multicriterio adoptado para seleccionar los materiales más relevantes dentro de la actividad manufacturera y construcción colombiana bajo paradigmas de economía circular.

La metodología adoptada se basa en el análisis de seis criterios que abarcan características fundamentales de diagnóstico y transición hacia modelos efectivos de cierre de ciclos y simbiosis industrial. Dichas consideraciones incluyen: **i)** la relevancia de actividades económicas a la riqueza del país (valor agregado); **ii)** necesidades de importación; **iii)** generación de residuos y subproductos industriales y de construcción; **iv)** tasa de valorización actual y distancia objetivo hacia un escenario de alta eficiencia de recuperación de recursos materiales dentro de una misma actividad industrial o de forma simbiótica entre diversos sectores industriales; **v)** consideraciones de impacto evitado y contribución a mitigar el cambio climático; **vi)** así como el valor económico latente de la propia recuperación de los recursos materiales.

Dentro de las principales ramas de actividad de la economía colombiana, **la actividad manufacturera ha contribuido**, históricamente (REBOLLEDO, 2013), **entre un 14 y 15% del PIB nacional**, mientras que la contribución del **sector de la construcción ha oscilado entre un 4 y 5,5%**, con un crecimiento relevante durante los últimos años sobre el resto de actividades. En cuanto a la cadena de valor del sector de la construcción, cabe diferenciar entre la etapa más industrial asociada a la extracción de minerales y ulterior transformación en materiales y productos de construcción y la etapa de ejecución de edificios e infraestructuras donde se integran los anteriormente referidos materiales y productos de construcción. Esta aclaración resulta fundamental a la hora de entender y discernir el origen de la información estadística tratada en lo concerniente a los criterios de análisis de valor agregado e importaciones. Así, las estadísticas relativas a la actividad manufacturera incluyen la sub-actividad de fabricación de productos minerales no metálicos. Dichos productos minerales no metálicos se refieren a vidrio, artículos de cerámica no estructural, ladrillo, cemento, yeso, productos de concreto, mármol, etc. (PROCOLOMBIA, 2016). De los diferentes productos minerales no metálicos, el cemento, concreto, cales y yeso representan en torno al 60% del total (REBOLLEDO, 2013). Por otro lado, el desglose en sub-actividades, en lo relativo a la actividad de construcción, incluye construcción, reparación y mantenimiento de edificios, así como construcción de obra civil. Las actividades de construcción recopilarán, por ende, todo aquel valor agregado asociado a operaciones destinadas a la ejecución de nueva edificación e infraestructura civiles, así como al mantenimiento de

las mismas. La construcción de tales activos requerirá de productos minerales no metálicos y metálicos suministrados por la actividad manufacturera. Por tanto, el análisis del valor agregado de los principales productos y materiales para el sector de la construcción (productos minerales no metálicos tales como el cemento o concreto, metales y plásticos) se debe abordar a partir de estadísticas de la actividad manufacturera.

La estimación de la generación de principales corrientes residuales se articula a partir de los principales flujos de residuos originados en cada actividad industrial y considerando cierre de ciclos post-consumo de los principales productos y activos (edificios e infraestructuras para el sector de la construcción) asociados a los materiales priorizados. La cuantificación de los mismos se realiza a partir de fuentes estadísticas públicas (DANE, 2015b), así como a partir de estimaciones, debidamente justificadas, para aquellos casos donde las estadísticas oficiales no aportan la información requerida.

Análogamente, en el apartado de análisis de escenarios de alta eficiencia para la recuperación de recursos materiales, se analizan cierres de ciclos dentro de un mismo tipo de actividad y entre diferentes actividades para cada uno de los potenciales recursos embebidos en los diferentes flujos residuales/subproductos generados en los procesos industriales objeto de estudio. Adicionalmente, se aborda un planteamiento integral que abarca las etapas post-consumo y la ulterior recuperación potencial de los recursos materiales para las industrias referidas.

El impacto evitado se refiere a la mitigación del dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq.) por el hecho de aplicar acciones de cierre de ciclos de cada uno de los materiales. Se decide basar el cálculo en torno al CO₂ equivalente por tonelada de material por su especial contribución al cambio climático.

Finalmente, se contempla el correspondiente análisis del valor económico de los diversos recursos recuperados para su uso en un nuevo ciclo productivo.

Con todo lo anterior, se establece la siguiente metodología para la selección de los materiales que mayor relevancia evidencian en la actual y futura coyuntura económica del país:

- Definición de los 6 criterios, recopilación, análisis de información asociada y cuantificación de los mismos. Los seis criterios aglutinan consideraciones económicas (macro y micro) y ambientales **C1)** Actividades manufactureras (incluidas actividades de fabricación de productos de construcción) con contribución de valor agregado superior al 2% del total exhibido en Colombia y asociación de materiales clave para cada actividad; **C2)** Impacto en las importaciones y relación con los materiales por actividad; **C3)** Volumen de residuos industriales generados; **C4)** Distancia al objetivo de máximo potencial de valorización de los residuos de manufactura y construcción asociados; **C4)** Impacto evitado asociado a CO₂ equivalente por tonelada de material; **C6)** Impacto económico asociado al cierre de ciclo de los recursos materiales recuperados.

- Aplicación del método multicriterio AHP (*Analytic Hierarchy Process* - Proceso de Jerarquía Analítica) para la ponderación de los criterios, mediante comparación por pares y determinación de los pesos, y posterior priorización de los materiales

Los siguientes sub-apartados presentan, discuten y cuantifican cada uno de los 6 criterios adoptados para seleccionar y priorizar las categorías de materiales que mayor potencial puedan exhibir en un paradigma de economía circular en Colombia.

4.2. C1: Valor agregado de las actividades manufactureras a la macroeconomía colombiana

El criterio 1 (C1) se define como el “valor agregado de las actividades manufactureras (incluidas actividades industriales de producción de materiales de construcción) a la macroeconomía colombiana”. A partir de las últimas estadísticas actualizadas del Departamento Nacional de Planeación DANE (DANE, 2015a) relativas a la actividad manufacturera de Colombia, se ha analizado la contribución del valor agregado de 56 actividades al global del sector manufacturero colombiano. Atendiendo a los valores absolutos de valor agregado, se han determinado las contribuciones relativas, expresadas en porcentaje (%), ordenando las actividades de mayor a menor contribución porcentual. Se decide profundizar en aquellas actividades que contribuyen **en más de un 2%** al valor agregado global.

Nº	Tipo de actividad	Valor agregado (miles de pesos)	Porcentaje relativo al valor agregado total (%)
1	Fabricación de productos de la refinación del petróleo	9.332.906.769,0	10,88
2	Elaboración de bebidas	8.277.936.870,0	9,65
3	Fabricación de otros productos químicos	7.470.450.226,0	8,71
4	Fabricación de productos minerales no metálicos n.c.p.	6.634.093.458,0	7,74
5	Elaboración de otros productos alimenticios	5.184.863.717,0	6,05
6	Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos de uso farmacéutico	3.855.527.875,0	4,50
7	Fabricación de productos de plástico	3.661.484.323,0	4,27
8	Confección de prendas de vestir, excepto prendas de piel	3.401.615.788,0	3,97
9	Elaboración de productos lácteos	3.097.177.663,0	3,61
10	Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón	2.987.334.140,0	3,48
11	Procesamiento y conservación de carne, pescado, crustáceos y moluscos	2.912.129.635,0	3,40
12	Elaboración de azúcar y panela	2.484.781.347,0	2,90
13	Fabricación de sustancias químicas básicas,	2.324.859.168,0	2,71

Nº	Tipo de actividad	Valor agregado (miles de pesos)	Porcentaje relativo al valor agregado total (%)
	abonos y compuestos inorgánicos nitrogenados, plásticos y caucho sintético en formas primarias		
14	Industrias básicas de hierro y de acero	2.198.276.223,0	2,56
15	Elaboración de productos de molinería, almidones y productos derivados del almidón	1.710.666.340,0	2,00
16	Actividades de impresión y actividades de servicios relacionados con la impresión	1.378.559.751,0	1,61
17	Fabricación de otros productos elaborados de metal y actividades de servicios relacionadas con el trabajo de metales	1.242.719.370,0	1,45
18	Fabricación de vehículos automotores y sus motores	1.176.732.859,0	1,37
19	Elaboración de productos de café	1.174.805.589,0	1,37
20	Elaboración de aceites y grasas de origen vegetal y animal	1.149.372.457,0	1,34
21	Elaboración de alimentos preparados para animales	1.093.179.760,0	1,27
22	Otras industrias manufactureras n.c.p.	1.066.795.928,0	1,24
23	Fabricación de otros productos textiles	980.654.559,0	1,14
24	Preparación, hilatura, tejeduría y acabado de productos textiles	926.910.395,0	1,08
25	Fabricación de productos metálicos para uso estructural, tanques, depósitos y generadores de vapor	884.881.920,0	1,03
26	Fabricación de vidrio y productos de vidrio	876.048.678,0	1,02
27	Fabricación de maquinaria y equipo de uso general	863.923.659,0	1,01
28	Fabricación de muebles	778.794.615,0	0,91
29	Fabricación de motores, generadores y transformadores eléctricos y de aparatos de distribución y control de la energía eléctrica	595.173.388,0	0,69
30	Fabricación de calzado	546.835.213,0	0,64
31	Fabricación de aparatos de uso doméstico	538.604.125,0	0,63
32	Fabricación de otros tipos de equipo de transporte n.c.p.	472.191.792,0	0,55
33	Fabricación de maquinaria y equipo de uso especial	452.287.002,0	0,53
34	Fabricación de partes, piezas (autopartes) y accesorios (lujos) para vehículos automotores	385.149.620,0	0,45
35	Fabricación de carrocerías para vehículos automotores; fabricación de remolques y semirremolques	359.291.632,0	0,42
36	Fabricación de colchones y somieres	342.867.387,0	0,40
37	Industrias básicas de metales preciosos y de metales no ferrosos	338.103.762,0	0,39
38	Fabricación de hilos y cables aislados y sus dispositivos	253.914.137,0	0,30
39	Fabricación de hojas de madera para	252.962.684,0	0,30

Nº	Tipo de actividad	Valor agregado (miles de pesos)	Porcentaje relativo al valor agregado total (%)
	enchapado; fabricación de tableros contrachapados, tableros laminados, tableros de partículas y otros tableros y paneles		
40	Procesamiento y conservación de frutas, legumbres, hortalizas y tubérculos	248.800.861,0	0,29
41	Curtido y recurtido de cueros; fabricación de artículos de viaje, bolsos de mano y artículos similares, y fabricación de artículos de talabartería y guarnicionería, adobo y teñido de pieles	243.232.663,0	0,28
42	Fabricación de pilas, baterías y acumuladores eléctricos	235.859.709,0	0,28
43	Fabricación de instrumentos, aparatos y materiales médicos y odontológicos (incluido mobiliario)	226.411.896,0	0,26
44	Fabricación de productos de caucho	214.974.823,0	0,25
45	Fabricación de joyas, bisutería y artículos conexos	129.096.792,0	0,15
46	Fabricación de productos de hornos de coque	118.778.886,0	0,14
47	Aserrado, acepillado e impregnación de la madera	108.158.358,0	0,13
48	Fabricación de equipos eléctricos de iluminación	107.835.460,0	0,13
49	Fabricación de juegos, juguetes y rompecabezas	105.214.693,0	0,12
50	Fabricación de artículos de punto y ganchillo	97.200.438,0	0,11
51	Fabricación de otros tipos de equipo eléctrico n.c.p.	77.237.348,0	0,09
52	Fabricación de partes y piezas de madera, de carpintería y ebanistería para la construcción	66.618.928,0	0,08
53	Fabricación de recipientes de madera	33.711.648,0	0,04
54	Fabricación de otros productos de madera; fabricación de artículos de corcho, cestería y espartería	27.106.250,0	0,03
55	Fabricación de artículos y equipo para la práctica del deporte	22.870.091,0	0,03
56	Fundición de metales	16.887.995,0	0,02
	TOTAL	85.744.860.663,0	100

Tabla 1. Desglose de actividades del sector manufacturero en Colombia y valor agregado desglosado (DANE, 2015a)

Las 14 actividades priorizadas, con contribuciones superiores al 2% del valor agregado manufacturero global, **concentran en torno al 75% del valor agregado de la actividad manufacturera del país**. A cada una de las 14 actividades se le asocia una categoría del material más representativo que se utiliza en dicha actividad, tal y como se recoge en la Tabla 2. Adicionalmente, se incluyen, de forma agrupada, todas las actividades generadoras de residuos eléctricos y electrónicos, como oportunidades de negocio asociadas a recuperación de recursos embebidos en productos actualmente importados. Se comprueba que su porcentaje relativo al valor agregado manufacturero total resulta inferior al de otras actividades.

Nº	Tipo de actividad	Porcentaje relativo al valor agregado manufacturero total (%)	Categoría de material asociado
1	Fabricación de productos de la refinación del petróleo	10,88	Hidrocarburos
2	Elaboración de bebidas	9,65	Biomaterial sector primario
3	Fabricación de otros productos químicos	8,71	Polímeros: poli olefinas, PVC, PET [los más relevantes de acuerdo a (ACOPLÁSTICOS, 2013)]
4	Fabricación de productos minerales no metálicos n.c.p.	7,74	Cemento, concreto, cal y yeso (constituyen más del 59%) de los productos minerales no metálicos
5	Elaboración de otros productos alimenticios	6,05	Biomaterial primario
6	Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos de uso farmacéutico	4,50	Polímeros
7	Fabricación de productos de plástico	4,27	Polímeros: poli olefinas, PVC, PET
8	Confección de prendas de vestir, excepto prendas de piel	3,97	Textil
9	Elaboración de productos lácteos	3,61	Biomaterial sector primario
10	Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón	3,48	Biomaterial-celulosa
11	Procesamiento y conservación de carne, pescado, crustáceos y moluscos	3,40	Biomaterial sector primario
12	Elaboración de azúcar y panela	2,90	Biomaterial sector primario
13	Fabricación de sustancias químicas básicas, abonos y compuestos inorgánicos nitrogenados, plásticos y caucho sintético en formas primarias	2,71	Polímeros
14	Industrias básicas de hierro y de acero	2,56	Metales: fundición y acero
15	Actividades generadoras de residuos eléctricos y electrónicos	2,08	Suma de metales no férreos, polímeros, composites, metales férreos

Tabla 2. Identificación de categorías de materiales asociados a cada actividad priorizada

Finalmente, se reagrupan las actividades en torno a una misma categoría de material, tal y como se desglosa en la Tabla 3:

Nº	Tipo de actividad	Porcentaje relativo al valor agregado manufacturero total (%)	Material asociado
1	Manufactura de alimentos varios: Elaboración de bebidas + Elaboración de otros productos alimenticios + Elaboración de productos lácteos+ Procesamiento y conservación de carne, pescado, crustáceos y moluscos+ Elaboración de azúcar y panela	$9,65+6,05+3,61+3,40+2,9=25,61$	Biomaterial sector primario
2	Fabricación de otros productos químicos + Fabricación de sustancias químicas básicas, abonos y compuestos inorgánicos nitrogenados, plásticos y caucho sintético en formas primarias	$8,71+2,71= 11,42$	Polímeros: poli olefinas, PVC, PET [los más relevantes de acuerdo a (ACOPLÁSTICOS, 2013)]

Nº	Tipo de actividad	Porcentaje relativo al valor agregado manufacturero total (%)	Material asociado
3	Fabricación de productos de la refinación del petróleo	10,88	Hidrocarburos
4	Fabricación de productos minerales no metálicos n.c.p.	7,74	Minerales no metálicos: cemento, concreto, cal y yeso (constituyen más del 59%) de los productos minerales no metálicos
5	Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos de uso farmacéutico	4,50	Polímeros y otros químicos
6	Fabricación de productos de plástico	4,27	Plásticos: poli olefinas, PVC, PET
7	Confección de prendas de vestir, excepto prendas de piel	3,97	Textil (fibras orgánicas y sintéticas)
8	Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón	3,48	Biomaterial-celulosa
9	Industrias básicas de hierro y de acero	2,56	Metales: fundición y acero

Tabla 3. Identificación de categorías de materiales asociados a cada actividad priorizada

Es del caso mencionar que en el numeral 2 de la Tabla 3, la categoría de plásticos se refiere a la producción de los polímeros a partir de sus monómeros, tratándose de un proceso químico. Por su parte, el numeral 6 se refiere a la transformación de los polímeros en forma de grana para fabricar productos plásticos.

A tenor de los resultados recogidos en la Tabla 3, se puede concluir que los principales materiales en la actividad manufacturera colombiana (incluida la actividad industrial del sector de construcción) son: **biomateriales asociados al sector primario** de transformación de cultivos para producir alimentos de naturaleza vegetal o animal, **hidrocarburos, polímeros** (poli olefinas, PVC y PET, principalmente), **cemento y concreto, fibras orgánicas o sintéticas** para producir textiles, **material celulósico** (principalmente, para el sector pasta, papel y cartón), así como **metales de fundición y acero**. Con relación a los procesos de refinación para obtener **hidrocarburos, la revisión de experiencias internacionales revela que aquellos constituyen procesos lo suficientemente optimizados y por ende, se decide apartarlos del análisis** (EOI, 2012). Por otro lado, las actividades ligadas a producción de fármacos y medicinas suelen generar notables cantidades de sustancias peligrosas que se han de gestionar bajo políticas específicas, dificultando así la incorporación en nuevos ciclos productivos. A la luz de los argumentos anteriores, el equipo consultor, junto con la anuencia del equipo técnico del DNP de Colombia y Banco Mundial, decide apartar dichas actividades y materiales asociados del análisis multicriterio.

4.3. C2: Impacto en las importaciones

El segundo criterio (C2) se define como “el valor económico de las importaciones necesarias para la producción de los materiales”. Partiendo de los datos de importaciones por subactividad recogidos en Colombia, según clasificación CIU revisión 3., se realiza un ejercicio de distribución (Tabla 4) en millones de dólares de las importaciones principales por cada una de las categorías de materiales ya apuntadas en el sub-apartado anterior.

Importaciones	Millones de dólares	Bio	Cem&Concreto	Polímeros	Papel	Acero	Textil	Madera	Vidrio	Otros metales	Cuero	Otros
Productos alimenticios y bebidas	1.535,3	1.535,35										
Productos de tabaco	17,7	17,72										
Fabricación de productos textiles	474,8						474,84					
Fabricación de prendas de vestir	159,7						151,72				7,99	
Cuero y sus derivados; calzado	172,9			8,65			8,65				155,62	
Industria maderera	97,4							97,40				
Papel, cartón y sus productos	287,2				287,18							
Actividades de edición e impresión	51,8				51,76							
Fabricación de productos de la refinación del petróleo	1.654,6											1.654,64
Fabricación de sustancias y productos químicos	3.729,7			3.729,69								
Fabricación de productos de caucho y plástico	710,6			710,56								

Importaciones	Millones de dólares	Bio	Cem&Concreto	Polímeros	Papel	Acero	Textil	Madera	Vidrio	Otros metales	Cuero	Otros
Productos minerales no metálicos	324,7		180,00 ²									
Fabricación de productos metalúrgicos básicos	958,2					958,21						
Productos elaborados de metal	363,9					327,54				36,39		
Fabricación de maquinaria y equipo	1.846,0			92,30		1.661,40				92,30		
Fabricación de maquinaria de oficina	459,0			114,76		114,76		22,95	22,95	91,80		91,80
Fabricación de maquinaria y aparatos eléctricos	591,7			295,83		147,92				147,92		
Fabricación de equipos de telecomunicaciones	1.274,6			318,64		318,64				637,29		
Fabricación de instrumentos médicos	576,8			144,21		144,21				288,41		
Fabricación de vehículos	1.488,8			253,10		1.042,19	44,67			134,00	14,89	
Fabricación de otros tipos de transporte	892,3			151,69		624,63	26,77			80,31	8,92	
Fabricación de muebles; industrias manufactureras	245,8					12,29	6,15	221,25	6,15			
		1.553,07	180,00	5.819,43	338,94	5.351,77	712,78	341,59	29,10	1.508,42	187,42	1.746,44

Tabla 4. Estimación de importación de materiales para producción de bienes.

²Tomado de: <http://trade.nosis.com/es/Comex/Importacion-Exportacion/Colombia/cemento--cementos-hidraulicos-comprensidos-los-cementos-sin-pulverizar-o-clinker-incluso-coloreados/CO/2523>

Se observa cómo, además de los 6 grupos de materiales considerados para el C1, aparecen otros materiales con reducido peso específico en el total de las importaciones, excepto para el caso de los metales no férricos. Se decide, no obstante, mantener los 6 grupos de materiales identificados en la cuantificación del criterio C1, habida cuenta del alto número de metales no férricos a considerar (oro, plata, cobre, aluminio, estaño, plomo, zinc, níquel, magnesio, manganeso, cobalto, titanio...) y la escasa o nula información de forma individualizada para con éste y otros criterios. Con todo, esta categoría ***visualiza flujos de materiales críticos para tecnología electrónica que pueden considerarse como estratégicos de cara a reducir la dependencia exterior en cuanto a dichos metales críticos. Cabría monitorizarla en el apartado de acciones y validación con los agentes implicados.*** La parte correspondiente a hidrocarburos se ha asignado a “otros materiales”. Tal y como se ha declarado en el C1, no serán considerados.

4.4. C3: Volumen de residuos generados

El criterio 3 (C3) se define como “volumen de residuos primarios generados por la actividad manufacturera de Colombia”. A partir de los flujos de materiales y las estimaciones de generación, se asocian los tipos de residuos a las actividades anteriormente priorizadas, excluyendo los procesos de refinería y de producción de fármacos por los motivos explicados en el apartado 3.1 e incluyendo los residuos de construcción y demolición por su importancia en el cierre de ciclos del sector de la construcción.

4.4.1. Biomaterial primario

La industria manufacturera colombiana asociada al procesamiento de productos agrícolas tiene un fuerte impacto en su economía, representando hasta un 25% del total de la contribución del sector manufacturero al producto interior bruto del país. De acuerdo con las estadísticas publicadas por la Sociedad de Agricultores de Colombia, la producción agrícola (Sociedad de Agricultores, 2012) correspondiente a los años 2011 y 2012 (provisional) resultó ser tal y como se desglosa en la Tabla 5.

CULTIVO	2011 (ton)	2012PR (ton)	2011 (%)	2012PR (%)
Caña Azúcar (material verde)	22.728.758	20.823.629	38,2127%	35,6055%
Caña Panelera (material verde)	12.202.774	12.507.843	20,5159%	21,3867%
Palma de Aceite (Fruto)	4.580.930	4.652.552	7,7017%	7,9552%
Frutales	3.305.049	3.364.540	5,5566%	5,7529%
Plátano	2.828.259	3.084.723	4,7550%	5,2744%
Papa	2.638.900	2.788.050	4,4366%	4,7672%
Arroz	2.283.981	2.175.538	3,8399%	3,7199%
Yuca	1.871.217	1.907.210	3,1460%	3,2611%
Maíz	1.681.258	1.825.737	2,8266%	3,1218%
Hortalizas	1.710.943	1.767.379	2,8765%	3,0220%
Banano Export	1.709.216	1.635.556	2,8736%	2,7966%
Café	468.540	464.640	0,7877%	0,7945%
Ñame	396.613	407.459	0,6668%	0,6967%
Flores	282.277	288.065	0,4746%	0,4926%
Fríjol	129.672	128.200	0,2180%	0,2192%
Plátano Export	117.263	123.126	0,1971%	0,2105%
Coco	112.380	114.038	0,1889%	0,1950%
Soya	81.022	88.802	0,1362%	0,1518%
Arracacha	76.611	78.397	0,1288%	0,1340%
Sorgo	73.015	51.275	0,1228%	0,0877%
Cacao	44.241	49.509	0,0744%	0,0847%
Semilla de Algodón	51.264	46.426	0,0862%	0,0794%
Algodón Fibra	35.530	32.929	0,0597%	0,0563%

CULTIVO	2011 (ton)	2012PR (ton)	2011 (%)	2012PR (%)
Fique	22.026	22.891	0,0370%	0,0391%
Trigo	20.455	22.743	0,0344%	0,0389%
Tabaco Rubio	9.790	11.665	0,0165%	0,0199%
Cebada	5.475	8.288	0,0092%	0,0142%
Tabaco Negro	6.170	7.015	0,0104%	0,0120%
Maní	4.385	4.385	0,0074%	0,0075%

Tabla 5. Producción agraria en Colombia en los años 2011 y 2012 (provisional) (SAC. Sociedad de Agricultores de Colombia, 2012)

Como se puede observar, la industria de la caña de azúcar y panelera, así como la industria de la palma de aceite representaron, aproximadamente, el 65% de la producción agrícola colombiana en el año 2012. Además, ambas industrias requieren de importantes procesos manufactureros para conseguir el producto final a comercializar, a diferencia de la mayoría de los cultivos identificados. Teniendo esto en cuenta, el análisis de los procesos manufactureros generadores de fuentes de **biomaterial primario se centrará en la industria de elaboración de azúcar y panela y la industria de la palma**. Las industrias de elaboración de azúcar y panela parten de la caña de azúcar, cultivada y recolectada, que es sometida a una serie de procesos hasta obtener diversos productos y subproductos entre los que cabe destacar el azúcar (blanco y crudo), los jugos y mieles de caña, la melaza, el bagazo, la cachaza, el melote y la vinaza; algunos de los cuales sirven, además, como materia prima de otros procesos de manufactura de mayor valor añadido tal es el caso de la fabricación de bebidas, alcohol, dulces y confites, etc. La Figura 1 ilustra, de manera muy simplificada, los flujos de materias primas y productos/subproductos intermedios del proceso de manufactura del azúcar (y de producción de etanol a partir de caña de azúcar), siendo el de producción de panela muy similar.

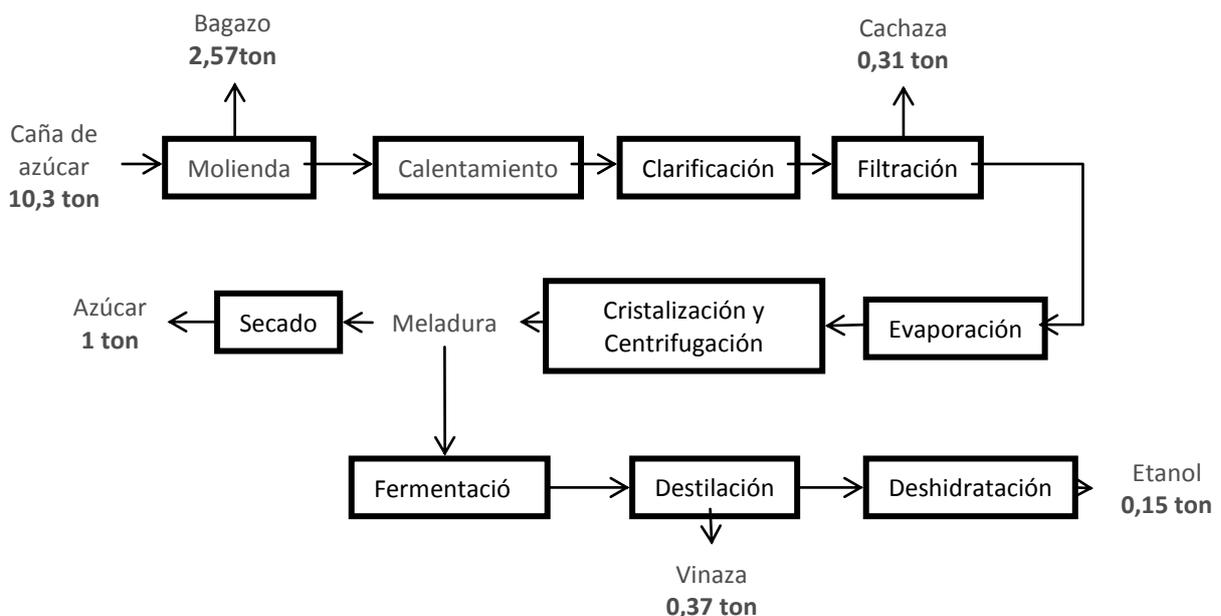


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de manufactura del azúcar y etanol a partir de caña de azúcar. Elaboración propia a partir de información de (CAPURRO, 2016) (CENICAÑA, 2004) (CENICAÑA, 2008) (BECERRA-QUIROZ, 2016) (CUE, 2012)

Tal y como se esboza en el diagrama de la Figura 1, los principales residuos generados en el proceso son el bagazo, la cachaza, el melote y la vinaza. El bagazo es el residuo resultante de la molienda de la caña, constituido por dos tipos de tejidos, uno fibroso y otro llamado meollo o bagacillo. La cachaza es un subproducto de la fabricación de panela que resulta de la limpieza del jugo mediante la utilización de plantas como el cadillo balso blanco guasito. El melote es un subproducto de la caña que se obtiene tras la deshidratación de la cachaza. Dicho producto es espeso y denso, el cual se puede conservar por periodos superiores a un mes en condiciones adecuadas de almacenamiento y manejo. Finalmente, la vinaza es el residuo que se genera en la producción de etanol a partir de la melaza y miel B producida en la manufactura del azúcar de caña. Es un residuo líquido con alto contenido en materia orgánica.

En cuanto a la industria de la palma, la Figura 2 esboza los principales procesos, productos y residuos generados.

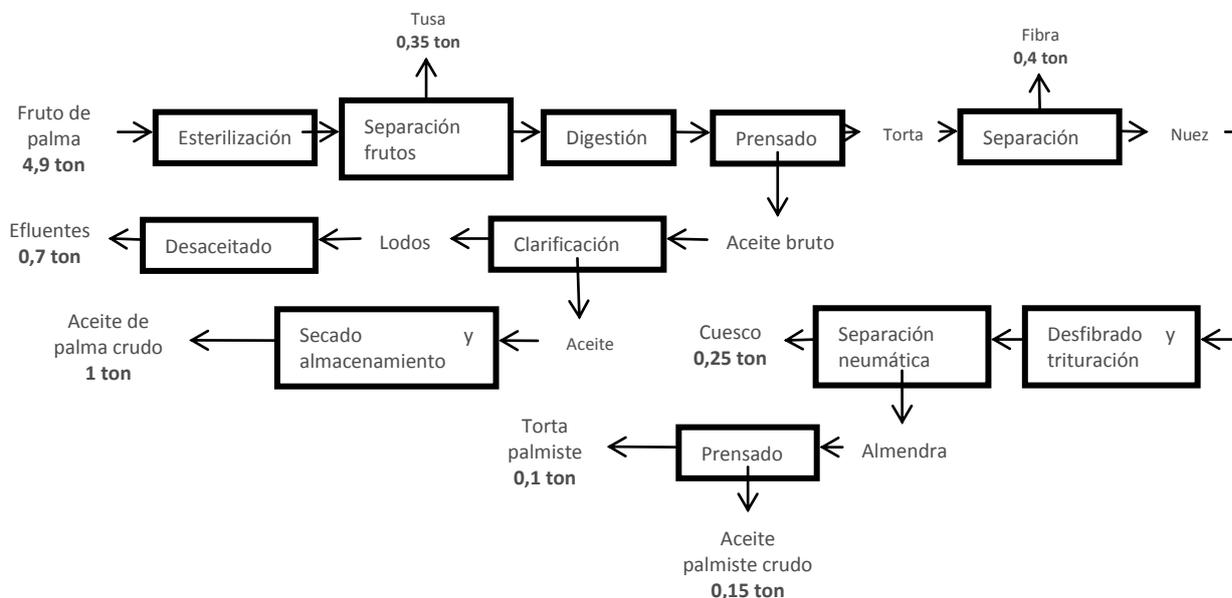


Figura 2: Diagrama de flujo del proceso de manufactura del aceite de palma. Elaboración propia a partir de información de (GONZÁLEZ-TRIANA, 2013) y (ELBERSEN, 2013)

Residuos principales asociados al procesado de productos agrícolas	Volumen generado 2015 (ton)
Azúcar de caña	$24.205.089 * (2,57 + 0,31 + 0,37) / 10,3 = 7.637.528$
Panela	$14.538.939 * (2,5 + 0,3) / 10,0 = 4.070.903$
Palma de aceite	$6.212.902 * (0,35 + 0,4 + 0,25 + 0,7) / 4,9 = 2.163.287$
Subtotal (65% sector)	13.871.917
Total (100% sector)	21.341.711

Tabla 6. Residuos asociados al procesado de productos agrícolas

4.4.2. Cemento y concreto

En Colombia, la industria de la construcción consume el 40% de la energía, genera el 30% del CO₂ y el 40% de los residuos (MADSweb, 2017). Consume el 60% de los materiales extraídos de la tierra y genera, anualmente, más de **22 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición** (RCDs). Si bien la tasa de reciclaje de RCD en Colombia es relativamente baja en la actualidad, con tasas comprendidas entre el 5-10% en algunas ciudades (CASTAÑO, 2013) y **de media en el país inferiores al 2%**, el propio sector de la construcción manifiesta un alto potencial de metabolización no sólo de sus propios residuos, sino también de los residuos generados en otras actividades manufactureras, aplicando principios de simbiosis industrial y de cierre de ciclos entre sectores.

La **cadena de valor de la construcción** abarca las siguientes etapas: **1)** Extracción de minerales bien de yacimientos naturales, bien de procesos de reciclaje de los RCD u otros subproductos industriales; **2)** Producción de los materiales de construcción, de los cuales los materiales base cemento predominan sobre el resto; **3)** Manufactura de productos de sistemas de construcción de diferente naturaleza material; **4)** Ejecución de edificios e infraestructuras; **5)** uso y mantenimiento de dichos activos construidos; **6)** Fin de vida, deconstrucción y recuperación de recursos. De entre las diferentes etapas constructivas, **la producción de materiales y productos de base cemento, así como en las etapas de ejecución de infraestructura civil, se revelan como clave para garantizar un cierre efectivo de los recursos materiales embebidos en los propios residuos del sector**, así como de otros sectores industriales. La producción anual de cemento en Colombia alcanzó en 2016 la cifra de 12,4 millones de toneladas (DANE, 2017). En este contexto, se aborda el potencial de metabolización de los materiales base cemento, universales: cemento y concreto.

De forma muy simplificada, el proceso de producción de un cemento Portland convencional (tipo I) consta de tres etapas principales: 1) molienda y homogenización de la materia prima para producir el crudo; 2) proceso de clinkerización; 3) molienda final del clínker con el yeso o/y otras adiciones hasta la obtención del cemento comercial.

El clínker de cemento Portland está compuesto por cal, sílice, alúmina y óxido de hierro. Estos componentes se obtienen principalmente a partir de un crudo, debidamente dosificado, roca caliza, marga y arcillas, así como, mineral de hierro en las proporciones adecuadas. La Figura 3 representa un diagrama simplificado del flujo de materiales para la producción de 1 tonelada de cemento, en la que no hay residuos significativos.

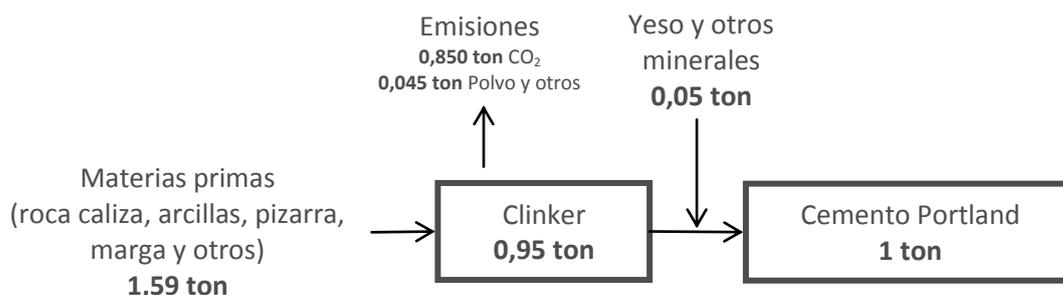


Figura 3. Balance de masas para la producción de 1 ton de cemento Portland convencional

Para la obtención de concreto se mezclan cemento, agregados, otros materiales apropiados y agua. En el marco del presente análisis, se ha considerado un concreto reforzado con fibras. Estas fibras pueden ser de dos naturalezas metálicas y sintéticas. Las fibras metálicas se añaden al concreto en cantidades en torno al 60 kg /m³, mientras que con las fibras sintéticas se alcanzan porcentajes del 12 kg/m³. La Figura 4 ilustra un balance de masa simplificado para la producción de 1 tonelada de concreto, en la que no hay residuos significativos.

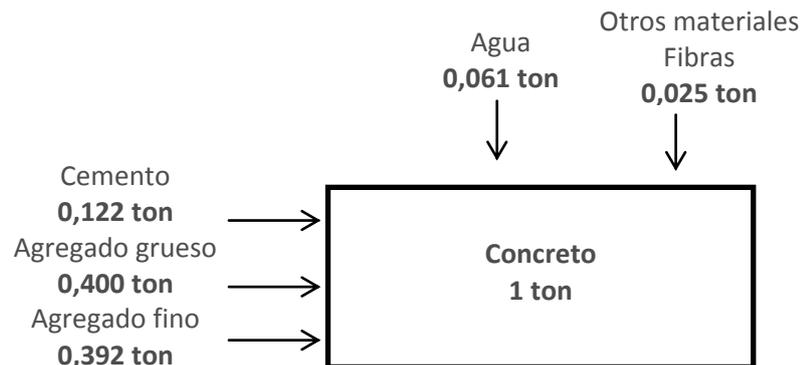


Figura 4. Balance de masas para la producción de 1 ton concreto reforzado con fibras metálicas de densidad 2300 kg/m³

En una planta de concreto, la generación de residuos se considera prácticamente despreciable. Tan sólo se obtienen residuos provenientes de las limpiezas de las cubas y excedentes de concreto que sobra o es rechazado después de su distribución (CEDEX, 2007). El residuo generado durante la producción de cemento y concreto sería de aproximadamente **881.248 toneladas anuales**.

Residuos asociados a la producción de cemento, concreto y RCDs	Volumen generado 2012 (ton)
Producción	881.248
Residuos de construcción y demolición (RCDs)	>22.000.000
Fracción pétreo de los RCDs (75%)	22.000.000*0,75 = 16.500.000
Total	17.381.248

Tabla 7. Residuos asociados a la producción de cemento, concreto y RCDs

4.4.3. Polímeros

De partida, este apartado no considera la producción de hidrocarburos en las plantas de refinería, puesto que los procesos se encuentran muy optimizados y en consecuencia se puede considerar que los residuos sólidos generados son muy reducidos o despreciables. En las plantas más optimizadas, los residuos sólidos generados representan 10 toneladas por cada millón de toneladas de crudo y la producción de polímeros tan sólo representa el 4% del petróleo y gas utilizados (Martín, 2010). Aplicando esta tasa de generación de residuo, se obtiene que el residuo generado por cada tonelada de polímero resulta ser de 1 kg y por ende, despreciable.

La producción mundial de polímeros exhibe una tendencia creciente (PLASTICS EUROPE, 2016), tal y como se ilustra en la Figura 5. América Latina representa el 4.4% en la producción global de materiales plásticos.

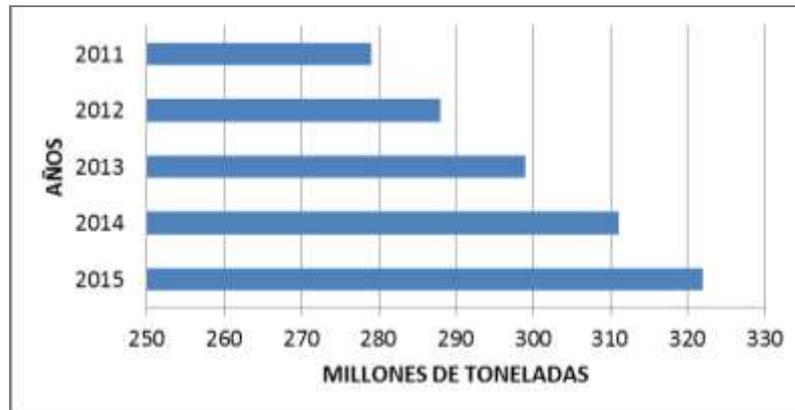


Figura 5. Producción mundial de polímeros (no incluye fibras sintéticas). Fuente: PlasticsEurope (PEMRG) / Consultic

En Colombia, los polímeros más utilizados según aplicación son el polietileno de baja densidad, el poli(etiléntereftalato), el poli(cloruro de vinilo), el polipropileno y el poliestireno (ACOPLÁSTICOS, 2013). Las principales aplicaciones de estos polímeros se detallan a continuación:

- **Polietileno de baja densidad (LDPE):** las aplicaciones principales son bolsas reutilizables, bandejas y contenedores, film de agricultura, film de embalaje para alimentación. El sector de aplicación principal de este polímero es el **embalaje flexible**.
- **Poli(etiléntereftalato) (PET):** el principal uso es la fabricación de botellas. Por tanto, su principal sector de aplicación es el **embalaje rígido**.
- **Poli(cloruro de vinilo) (PVC):** se utiliza principalmente para marcos de ventana, revestimientos de suelos y paredes, tubería, cables aislantes, mangueras, piscinas inflables, etc. Por tanto, el sector de actividad principal de este **material es la construcción**.
- **Polipropileno (PP):** se emplea principalmente en **envases de alimentación**, envoltorios de dulces y snacks, recipientes para microondas, tuberías, elementos de automoción, etc. Por lo tanto, este polímero no está destinado de forma mayoritaria a un sector, sino que las aplicaciones principales se dividen entre embalaje rígido y flexible y actividades varias.
- **Poliestireno (PS):** su principal aplicación son la **fabricación de envases, aislantes térmicos para construcción y artículos diversos por moldeo por inyección**. Su principal sector de aplicación es el embalaje rígido.

El gráfico de la Figura 6 ilustra el tipo de aplicaciones principales de estos polímeros para Europa, pudiendo ser este resultado perfectamente extrapolable a otras regiones.

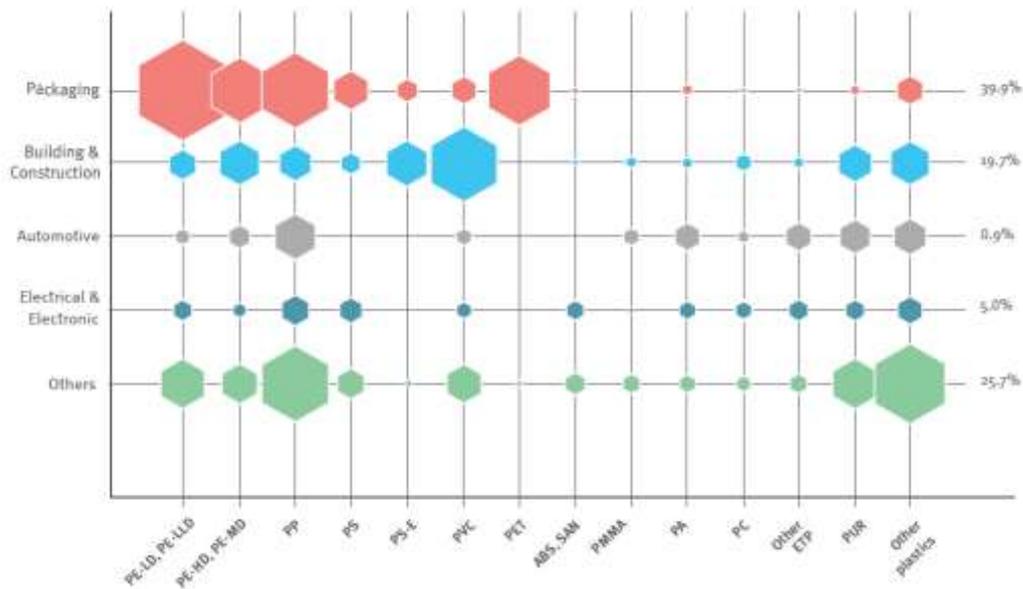


Figura 6. Demanda de plásticos por polímero y segmento de mercado en Europa 2015. Fuente: PlasticsEurope (PEMRG) / Consultic / myCeppi

Estos plásticos generan anualmente una gran cantidad de residuos. No existe un inventario oficial de generación de residuos plásticos post-consumo o post-industria. En el marco de este estudio se estima la siguiente generación de residuos plásticos (incluyendo cargas y aditivos).

Residuos plásticos generados	ton/año
Post-industrial	7.042
Post-consumo	1.401.737
Total	1.408.779

Tabla 8. Generación estimada de residuos plásticos post-industriales y post-consumo (estimación propia y DANE, 2017b)

Estos valores se han calculado analizando diversas fuentes de datos y estimaciones existentes, tal y como se resume a continuación. Ante la ausencia de información detectada, se ha optado por asimilar la cantidad de residuo post-consumo generada a la cantidad de plásticos producidos (incluyendo potenciales aditivos, fibras y cargas), con lo que se estima que se generan 1.401.737 toneladas de residuos.

En cuanto a los residuos post-industriales, las estadísticas de DANE reflejan que los residuos plásticos generados por la industria manufacturera en 2014 fueron 7.042 toneladas (DANE, 2017b), si bien esta cifra varía sustancialmente de datos de años anteriores (98.911 toneladas en 2013 según DANE, 2015).

A continuación se presenta un balance de masas sobre el diagrama de flujo del proceso de producción de productos plásticos.

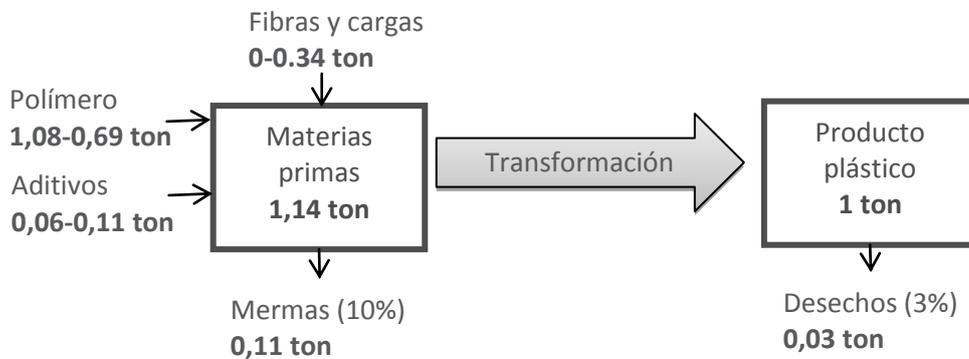
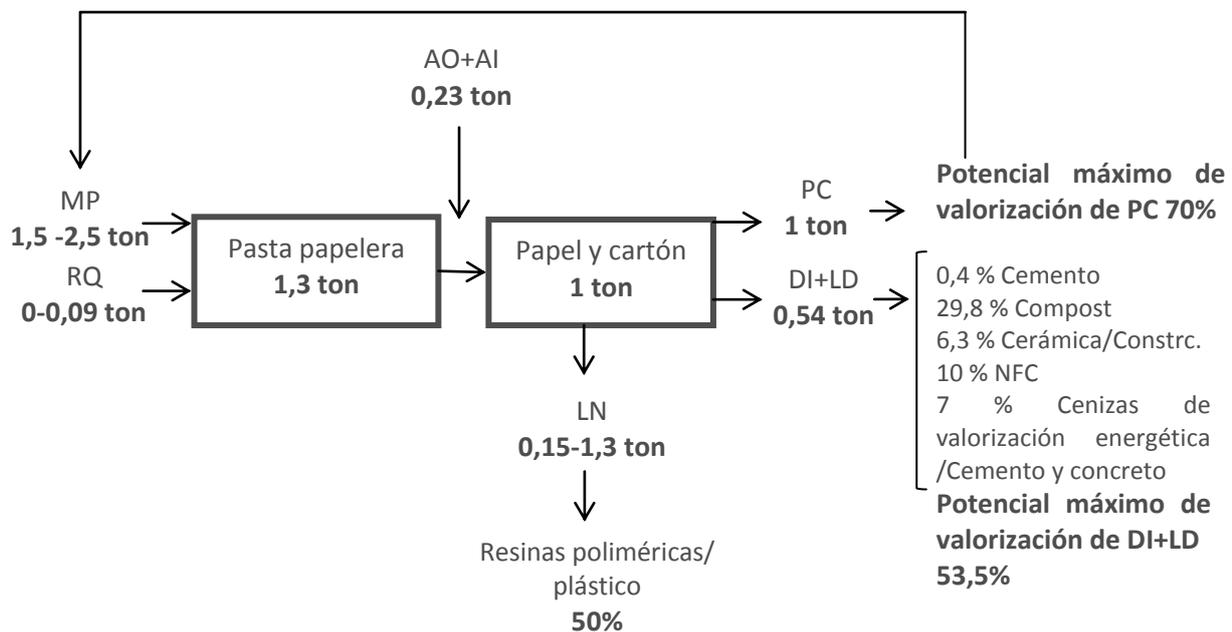


Figura 7. Balance de masas para la producción de 1 ton de producto plástico

Se estima que en Colombia se reciclaron a nivel global 330.000 toneladas de residuos plásticos, lo que equivale al 27,5% del consumo aparente de resinas plásticas vírgenes consumidas en el país (ALUNA CONSULTORES LIMITADA, 2011).

4.4.4. Celulosa y papel

El sector papelerero incluye empresas de producción de pasta (a menudo denominadas “pasteras”) y empresas que producen papel (empresas “papeleras”). Dichos procesos pueden implantarse de forma descentralizada o en continuo. Las primeras producen la pasta de papel a partir de madera u otros recursos vegetales, mientras que las últimas emplean esta pasta para producir distintos tipos de papel y cartón. Conjuntamente los dos tipos de empresas, junto a otras menores dedicadas a la transformación del papel, conforman el sector pastero-papelerero (“en inglés “Pulp&Paper”). El ciclo sostenible del papel y el sector de la recuperación y reciclaje de este material se consideran paradigmáticos en cuanto a los nuevos criterios y enfoques económicos de economía circular. La Figura 8 ilustra con datos generales esta relación.



Legendas:

MP: Materia Prima - Madera, plantas anuales, residuos agroforestales o papel recuperado; **RQ:** Reactivos Químicos - NaOH, Na₂S, H₂SO₃...; **AO:** Aditivos Orgánicos - epíclorhidrina, polietilenimina, almidón...; **AI:** Aditivos Inorgánicos - CaCO₃, arcillas, TiO₂...; **LN:** Licores negros - lignina, azúcares, reactivos químicos...; **DI:** Desechos Inertes - Rechazos del proceso productivo y, en algunos casos, de la materia prima; **LD:** Lodos de Depuración de aguas de proceso y destintado; **PC:** Residuo Post-Consumo=Papel Recuperado; **NFC:** Nanofibras de Celulosa; Todas las cantidades son en peso seco.

* Estimaciones en base a datos reales para el sector papelero de España (ASPAPPEL, 2016), excepto "PC" cuya estimación se ha efectuado en base a la tasa europea de reciclaje (CEPI, 2016) y "Bioresinas poliméricas" y "NFC", que, a falta de datos reales, son estimaciones propias.

** Multisectorial: Papel, Plástico, Construcción, Salud, Pinturas, Cosmética, etc.

Figura 8. Esquema general de la producción de papel y cartón y balances de materia aproximados

La variabilidad en los números atiende a la existencia de dos tipos de procesos de producción de pasta muy diferentes: el proceso mecánico, que produce una pasta papelera de menor calidad pero con un rendimiento que puede incluso superar el 90%, así como los procesos químicos que producen pastas de mucha calidad aunque a unos rendimientos en torno al 50% (UMP y Colciencias, 2014). Los primeros apenas generan residuos si bien el consumo energético resulta elevado, siendo comunes en países en los que la energía es barata (el mejor ejemplo es Canadá), mientras que los últimos manifiestan un menor coste energético pero generan una mayor cantidad de residuos esencialmente, en forma de desechos inertes o lodos de depuración de aguas y destintado. Dado que la industria química es muy antigua, todos los procesos han sido optimizados década tras década resultando por ejemplo en un autoconsumo a menudo integral de estos residuos derivados del proceso de pasteado: los reactivos químicos son recuperados mediante procesos químicos y los componentes naturales son derivados a calderas de combustión en las que se aprovecha su elevada capacidad calorífica para generar parte de la energía que consume la propia planta industrial.

La siguiente figura ilustra: a) la producción de pasta papelera y b) la producción de los diferentes tipos de papel y cartón desglosada por regiones. Los dos principales países de Latinoamérica con capacidad productiva son Brasil y Chile, mientras que la *Confederation of European Paper Industries* (CEPI, 2016), por sus siglas en inglés, agrupa a 18 países europeos.

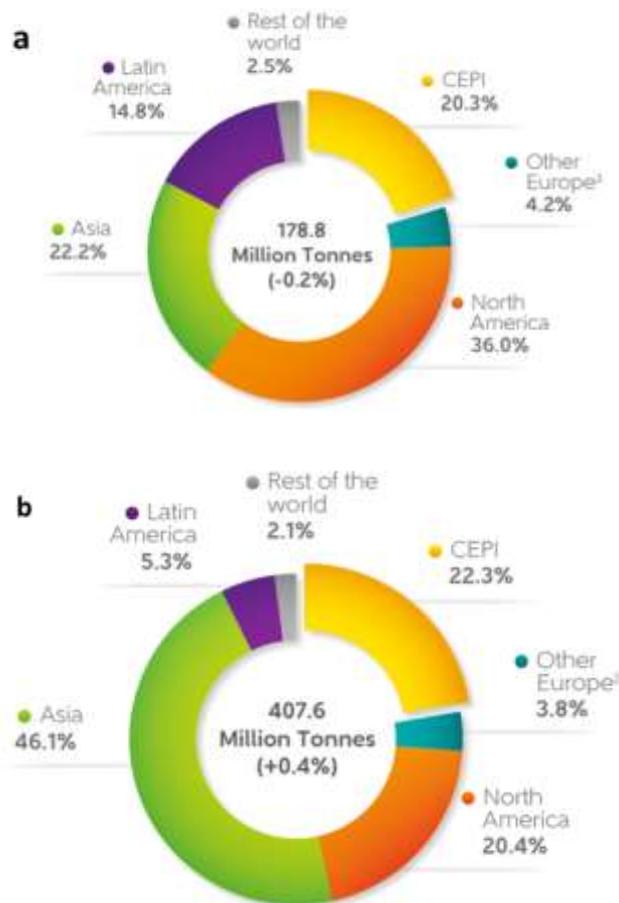


Figura 9. Producción mundial de pasta papelera (a) y papel-cartón (b) a nivel global (CEPI, Key statistics 2016 - European pulp and paper industry, 2017)

La tipología de los papeles producidos en las diferentes plantas papeleras resulta ser muy variada. La Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón de la ANDI (CPPYC), lanzó el primer Informe de Sostenibilidad de la Industria Papelera (ANDI, 2017) en Colombia. El documento ilustra una completa radiografía de la industria que, en 2015, produjo **1.218.646 toneladas de papel, de las cuales el 49% se destinaron a la fabricación de empaques, 32% para imprenta y escritura, 17% para papel higiénico y 2% en otros productos**. Adicionalmente, en Colombia se importan 386.377 toneladas de papel, por lo que el consumo aparente del país **en el año 2015 fue de 1.609.906 toneladas**. En dicho informe de sostenibilidad de la cámara, se indica que el volumen de residuos generados en la industria papelera en dicho año ascendió a **561.380 toneladas**, de las cuales se valorizan **el 73%**:

- el 6% en compostaje,
- el 3% como materia prima en otras industrias,
- el 64% valorizado en otros destinos. Este acápite debería ser objeto de profundización con el sector.
- el 27% acaba en sitios de disposición final de residuos.

Finalmente, cabe destacar que una parte del papel producido y consumido no llega a relleno sanitario: por ejemplo, el utilizado en la edición de libros que no se tiran a la basura.

Residuos principales de la fabricación de papel y cartón	Volumen generado 2016 (ton)
Residuos de fabricación (lodos de depuración y destintado, fibras, licores negros)	561.380
Papel post-consumo	355.000
Total	916.380,00

Tabla 9. Residuos principales generados en la industria del papel y cartón (estimaciones a partir de ANDI, 2017)

4.4.5. Metales: acero

La industria siderúrgica colombiana está compuesta por una planta integrada que utiliza como materias primas mineral de hierro, carbón y caliza, además de un porcentaje de acero reciclado. Adicionalmente, cuenta con cuatro plantas siderúrgicas semi-integradas que utilizan principalmente chatarra. La producción anual de acero se estima en **1,2 millones de toneladas con consumo anual de chatarra de 1 millón de toneladas**. El consumo anual es de 3,57 millones de toneladas (DINERO, 2017).

Las plantas integradas operan tres etapas del proceso siderúrgico: reducción, refinado y laminación. Las plantas semi-integradas operan dos etapas: refinado y laminación. La siderúrgica en Colombia produce casi exclusivamente aceros largos, destacando la barra corrugada usada en construcción.

La siderúrgica integrada es Acerías Paz del Río S.A., con una capacidad de producción instalada de 600.000 toneladas por año. Las semi-integradas colombianas poseen una capacidad de producción instalada que va desde las 120.000 hasta las 420.000 toneladas por año (VIVAS MUNAR, 2008). Adicionalmente, el sector se complementa por pequeñas acerías que producen menos de 20.000 toneladas de acero por año. Estas acerías de tamaño menor se caracterizan por contar con hornos de inducción eléctrica que no sobrepasan las 2.5 toneladas de capacidad por hora.

En el único horno alto existente se produce el arrabio mediante la reducción del mineral de hierro por medio del carbón de coque. El arrabio es principalmente hierro metálico pero con un contenido alto en impurezas que hace inviable su utilización directa. Junto con el arrabio, se produce una escoria característica en una proporción de 200 a 250 kg por tonelada de arrabio producido.

Para fabricar acero a partir de arrabio se utiliza el convertidor con oxígeno, mientras que partiendo de chatarra como única materia prima se utiliza casi exclusivamente el horno de arco eléctrico. En ambos procesos, se generan escorias en diferentes cantidades (100-200kg por tonelada de acero) y composiciones.

Los principales residuos generados en los procesos siderúrgicos son:

- Polvos de acería: Material peligroso que ha de tratarse mediante procesos particulares (Waelz u otros). Se trata de un material granular ultrafino captado en chimenea. Contiene metales pesados como cromo, cadmio, mercurio y plomo. Actualmente, la única alternativa

para su manejo en Colombia es la disposición final en rellenos de seguridad con las condiciones técnicas adecuadas. Existe tecnología madura para tratar los polvos de acería (tecnología Waelz). Adicionalmente, se están desarrollando otras tecnologías de tratamiento in situ. (DIGIMET, 2017).

- Laminilla o cascarilla: Es una delgada capa de metal compuesta de hierro y óxidos de hierro. Normalmente se genera en los procesos de recalentamiento para laminación. Se puede reciclar casi al 100% como materia prima en la siderurgia integral o para otros usos (contrapesos en transporte y electrodomésticos, remediación de suelos, etc.) (UNESID, 2017).
- Escoria: Es un residuo sólido del proceso siderúrgico que, en su estado líquido, es una espuma que captura la mayor parte de las impurezas presentes en el acero. De acuerdo con la etapa del proceso en la que se generen, las escorias se clasifican como negras –resultantes del proceso de fusión- o blancas –generadas en el afino-. Actualmente en Colombia las escorias no han sido caracterizadas como peligrosas según los criterios contenidos en la normatividad ambiental vigente en el Decreto 4741 de 2005. En Europa, la mayor parte de las escorias siderúrgicas se consideran subproductos con potencial cierre de ciclos hacia la fabricación de cemento y concreto. Aunque existen estudios relativos a sus aplicaciones en Colombia (SÁNCHEZ ABRIL, 2014), su uso aún no está extendido. El esquema de flujo de materiales del sector siderúrgico se ilustra a continuación:

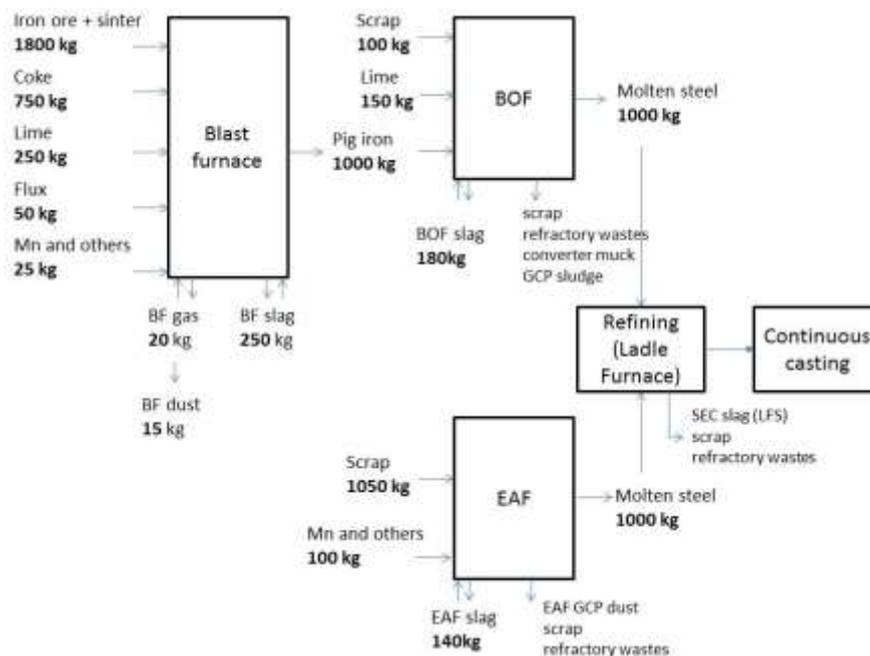


Figura 10. Flujo de materiales en siderurgia.

Residuos principales de la fabricación de arrabio y acero	Volumen generado 2015 (ton)
Chatarra	1.000.000
Escorias BF	$323.000 * 0,250 = 81.000$
Escorias negras EAF	$900.000 * 0,200 = 180.000$
Escorias Convertidor	$323.000 * 0,18 = 58.000$
Cascarilla	$1.200.000 * 0,020 = 60.000$
Total	1.379.000

Tabla 10. Residuos principales generados en la producción de acero (estimados a partir de VIVAS MUNAR, 2008 y UNESID, 2017).

Más detalles sobre los flujos de acero se incluyen en el apartado 5.4.

4.4.6. Textil

El sector textil es una de las cadenas industriales más largas y complejas de los sectores productivos existentes, debido a que se trata de un sector muy fragmentado y heterogéneo con numerosos subsectores que comprenden desde las materias primas (fibras naturales y sintéticas) a los productos elaborados (hilos, tejidos para indumentarias, textil hogar o textiles técnicos por ejemplo) cuya demanda tiene su origen en tres usos principalmente: confección de prendas, ropa de hogar, y aplicaciones industriales o técnicas. La confección de prendas es, sin duda, la parte más visible y apreciable del sector, pero en cualquier caso es necesario tener en cuenta los procesos y tecnologías implicadas en la transformación de hilo/fibra a tejido y del tejido a la confección de prendas. Fundamentalmente y desde el punto de vista de la naturaleza de la materia prima se distinguen dos tipos de fibra:

- Fibras naturales: Se trata de fibras de origen natural que requieren tratamientos de purificación, limpieza e hilatura en función de su calidad y del origen del material. El máximo exponente de este grupo es el algodón. Se trata de la fibra natural más empleada en el sector textil de confección de prendas. Además de esta se utilizan otro tipo de fibras como lana, cáñamo, yute, etc.
- Fibras sintéticas: se trata de fibras artificiales generadas a partir procesos de transformación químicos donde se sintetizan distintas tipologías de materiales poliméricos. La variedad y evolución de las tecnologías ha permitido desarrollar materiales con muy diversas capacidades por lo que se han convertido en el grupo de fibras más utilizado en el sector textil. Entre las fibras más utilizadas se pueden citar sobre todo el poliéster, aunque también otras como por ejemplo la poliamida, aramida, acrílicos, etc.

En cuanto al consumo de *fibras textiles*, es necesario señalar que el consumo mundial a aumentado de manera exponencial, pasando de 9,6 millones de toneladas en 1950 a 56 millones de toneladas en 2004. En detalle, se observa que pese a que hasta mediados de los años 70 el algodón era la fibra que mayor consumo experimentaba, a partir de la siguiente década fue sobrepasada principalmente por una fibra sintética; el poliéster. Según determinadas previsiones el consumo mundial de *fibra textiles* crecerá en una tasa media anual de 2,8% hasta alcanzar 87 millones de toneladas en 2020.

De esa cantidad, se espera que las fibras sintéticas superen ampliamente la mitad de dicha producción (OBSERVATORIO INDUSTRIAL SECTOR TEXTIL, 2014).



Figura 11. Consumo mundial de fibras. Fuente (TEXTIL, 2014).

En lo referente a la procedencia, se pueden destacar claramente dos tipos: residuos textiles post industriales y los residuos de origen post-consumo. Esta diferenciación se considera un aspecto crítico ya que, dependiendo de su origen, presentará unas características que limitarán su tratamiento y posterior aprovechamiento de los materiales. En general, cabe destacar que **los residuos textiles post-consumo suponen un volumen mucho mayor y presentan una complejidad más elevada debido a la presencia de insertos metálicos (botones, cremalleras) y su heterogeneidad**. El coste asociado a las etapas de tratamiento y la baja calidad de la materia prima recuperada limita en muchas ocasiones la viabilidad de los procesos de reciclado. Así, que es muy habitual que parte de esos residuos terminen como vertido/valorización energética por la escasa viabilidad económica del proceso.

En cuanto al proceso productivo propiamente dicho, cabe destacar que las diferentes operaciones difieren en función de la materia prima (fibra), la aplicación final y de la maquinaria disponible para realizar los procesos. No obstante, de forma simplificada, se pueden destacar las siguientes etapas en la cadena de producción textil/confección:

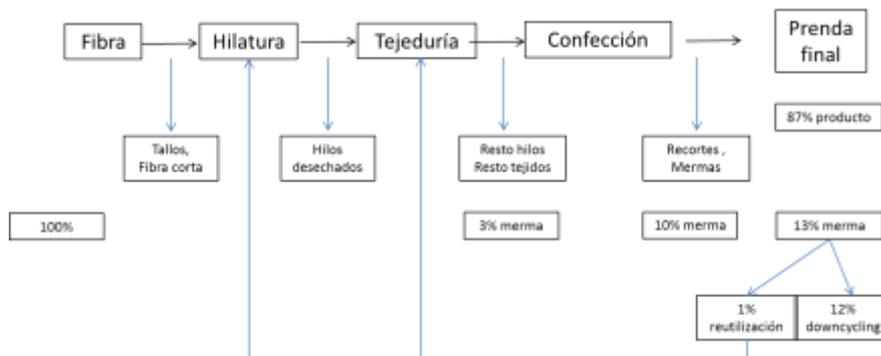


Figura 12. Esquema tipo de las etapas generales de producción textil para la fabricación de prendas

El esquema que se presenta en la Figura 12 corresponde a un esquema general, ya que dependiendo del tipo de fibra (natural/sintética) se pueden añadir o eliminar algunas operaciones.

La hilatura es el proceso donde se obtienen hilo o filamentos a partir de las fibras. Tiene como objetivo transformar las fibras químicas y naturales en hilados, aquí se llevan a cabo operaciones como cardado, peinado y bobinado de los hilos. De esta fase, se obtienen la gran mayoría de hilados para fabricar tejidos o géneros de punto. Algunos de los residuos que se pueden generar en estas fases; tallos, fragmentos de fibra corta e hilos desechados.

En la etapa de tejeduría, el hilo se teje y se crea la estructura tejida. Los residuos que se pueden generar en esta etapa son restos de hilo y restos de tejido. **La etapa de la tejeduría conlleva un porcentaje de residuo que puede rondar el 3% en peso de la producción.** Entre la etapa de tejeduría y confección también puede darse la etapa de acabado y pretratamiento, donde mediante determinados tratamientos químicos y mecánicos se adecuan los tejidos a las características del producto final. En esta fase se genera muy poca merma textil, siendo principalmente efluvios (aguas industriales, tintes y otros productos químicos) los residuos obtenidos. Una vez acondicionados los tejidos se pasa a la etapa de confección, donde se ensamblan los tejidos para obtener la prenda final, se llevan a cabo operaciones como costura y corte. **En la fase confección se puede generar una merma de tejido aproximada entre un 8-12% en forma de recortes, excedentes, etc.** Se ha estimado una merma de un 10% de material para esta fase en el diagrama de flujo.

4.4.7. Resumen de valores asociados al C3

A partir de las consideraciones previas y de los datos recogidos en el DANE, se estiman los siguientes volúmenes de residuos como valores asociados al criterio C3.

Nº	Recurso material	Tipo de residuo asociado a la actividad	Generación (ton/año)
1	Biomaterial	Orgánicos: bagazo, cachaza, melote, tusa, fibra	21.341.711,00 ¹
2	Cemento, concreto	Otros no metálicos: RCDS	17.381.248,00 ¹
3	Biomaterial-celulosa	Papel y cartón Fibras de celulosa, lodos de depuración y destintado y licores negros	916.380,00 ¹
4	Metales: hierro y acero	Metálicos y no metálicos: escorias, cascarilla, chatarra	1.321.000,00 ¹
5	Polímeros	Plásticos	1.408.779,00 ¹
6	Textil	Textiles	1.836,42 ²

¹Cálculos propios incluidos en los subapartados 4.3, además de las estadísticas del DANE² para la generación industrial

²(DANE, 2015b)

Tabla 11.Volumen de residuos generados

Se puede correlacionar de manera consistente cada tipo de corriente residual con la categoría de material priorizado en el apartado anterior, con un enfoque de cierre de ciclos dentro de la propia actividad. Cabe destacar algunos matices a la hora de enfrentar las categorías oficiales de residuos de

la actividad manufacturera con las categorías de materiales priorizadas a un enfoque de cierre de ciclos dentro de su propio sector. *Si bien los termoplásticos, papel-cartón, textiles, minerales de construcción y metales pueden erigirse como paradigmáticos a la hora de retornar a su ciclo natural, los residuos orgánicos del sector primario no se conciben como fuente para nuevos cultivos, a excepción de la aplicación asociada a compost-abono.* A fin de dotar de la suficiente consistencia al procedimiento, *los biomateriales orgánicos resultantes del sector primario se concebirán, a efectos de esta primera parte del estudio, como fuentes de materias primas para otras aplicaciones (ej.: biocombustibles) ajenas a su actividad endógena, bajo paradigmas de simbiosis industrial.* Se trata, así, de cerrar ciclos entre diferentes actividades industriales. Otro matiz adicional se refiere a los residuos del sector siderúrgico y de la pasta-papel. Las estadísticas muestran que los residuos metálicos retornan fácilmente al ciclo siderúrgico, si bien no visualizan los subproductos asociados al sector del acero (polvos o escorias, cascarilla metálica) o del papel (lodos, cascarilla y otros). En el apartado de análisis de potencial valorización se hace énfasis en estos subproductos con mayor recorrido de cierre de ciclos potencial en el país.

A tenor de los resultados recopilados en la Tabla 11 se puede concluir que *las principales fuentes de residuos primarios industriales se asocian a actividades de transformación de recursos primarios para producir alimentos, así como minerales no metálicos para construcción.* La transformación de *plásticos, la siderurgia y la manufactura de papel-cartón se posiciona en un segundo bloque en cuanto a importancia de generación de residuos.* En última posición queda el sector textil.

4.5. C4: Distancia a objetivo de máximo potencial de reincorporación de recursos materiales reciclados

El criterio 4 (C4) se define como “la distancia a objetivo de máximo potencial de reincorporación de los recursos materiales reciclados”. Dicha distancia se determinará como la *diferencia entre el máximo potencial de reciclaje en cada actividad y la tasa de reciclaje y recuperación actual.* La tasa de reciclaje y recuperación de cada corriente residual se nutre de las estadísticas del (DANE, 2015). A efectos de aplicar el método multicriterio, este criterio se expresará en porcentaje (%). El máximo potencial de cierre de ciclos de los diferentes recursos materiales latentes en corrientes residuales industriales en las actividades manufactureras priorizadas se detalla y justifica en los sub-apartados siguientes a partir del **análisis de flujos de materiales simplificados**, experiencias sectoriales en Colombia y la revisión de mejores prácticas internacionales relativas al cierre de ciclos de los materiales objeto de estudio.

4.5.1. Biomaterial primario

Los residuos anteriormente descritos revelan un alto potencial de valorización, superior al 80% (CUE, 2012 y ASOCAÑA, 2017). De esta manera, **el bagazo** se utiliza principalmente como combustible en plantas de cogeneración en las propias plantas manufactureras para la **producción de electricidad** y vapor de agua. Asimismo, una parte de este residuo está siendo utilizado como materia prima en la **producción de papel**. En cuanto a la **cachaza y el melote**, se utilizan ampliamente como **alimento para animales**. Por último, la **vinaza** se utiliza como **fertilizante**. En cualquier caso, existe un **gran**

potencial para utilizar estos residuos en aplicaciones de mayor valor añadido como la producción de **biocombustibles o bioplásticos**, aunque este tipo de procesos están todavía en fase de desarrollo y los rendimientos son bajos (en torno al 5% en función del bioplástico final obtenido, según GARCÉS PAZ y MARTÍNEZ SILVA (2010) y URRIBARRÍ COBO (2011)).

Un aspecto en el que coinciden ambas industrias manufactureras, es que resulta muy habitual que las plantas manufactureras dispongan de instalaciones de cogeneración para el autoabastecimiento energético (en forma de electricidad y de vapor de agua), utilizando como combustible una parte de los residuos generados (principalmente bagazo en el caso de la industria azucarera y troncos, cuescos y en el caso de la industria palmera) (LONDOÑO CAPURRO, 2016) (BRICEÑO, VALENCIA y POSSO, 2015). Como consecuencia de esta actividad se generan cantidades importantes de cenizas que pueden ser valorizadas de distintas maneras, por ejemplo, adicionándolas como material puzolánico a distintas formulaciones de cementos y concretos (MA-TAY PINEL, 2014).

El potencial de valorización de los residuos de la industria manufacturera de aceite de palma es muy alto, entre 80%-90% (ELBERSEN, 2013), siendo las potenciales aplicaciones de dichos residuos muy similares a las identificadas en el caso de la industria azucarera ya que la naturaleza de los residuos es muy similar. La tasa de reciclaje y recuperación actual ronda el 30% según estadísticas del DANE, luego la distancia objetivo al máximo potencial de aprovechamiento oscila entre el 50 y 60%.

Recurso material	Residuo post-industrial generado 2015 (ton)	Reciclaje y reutilización actual (%)	Tasa máxima de reciclaje (%)	Distancia objetivo al máximo potencial de reincorporación de los recursos orgánicos (%)
Biomateriales	21.341.711,00	30	85	44

Tabla 12. Cálculo de la distancia objetivo al máximo potencial de reincorporación de los biomateriales primarios

4.5.2. Cemento y concreto

Un porcentaje alto de los minerales necesarios para fabricar el clínker provienen de yacimientos minerales, si bien se pueden utilizar correctores de materia prima proveniente de corrientes residuales y subproductos industriales que garanticen determinados óxidos fundamentales en composición. Algunas fuentes alternativas de materia prima de dicho crudo pueden ser escorias, arenas de fundición, lodos de diferente naturaleza, residuos de construcción y demolición, etc.

Sobre la base de estadísticas recientes europeas (CEMA, 2015), se puede establecer un máximo de sustitución del **5,1%** de recursos naturales por materia prima alternativa procedente de residuos valorizados o subproductos (del propio sector u otros procesos industriales) en esta etapa de preparación del crudo.

Adicionalmente, en la etapa de molienda del clínker, se incorpora hasta un 5% de adiciones de yeso y otros minerales para producir el cemento Portland convencional. El yeso (que suele representar

entre un **3-4%** del cemento total) puede ser sustituido por yeso reciclado en su totalidad. Evidencias de ello se pueden contrastar dentro del marco del proyecto europeo HISER, actualmente en desarrollo en el Programa Marco Europeo Horizon 2020 (HISER, 2017).

Por lo tanto, en la **producción de cemento Portland convencional (CEMI) cabe admitir, en la actualidad, un porcentaje de metabolización potencial de recursos naturales por materias primas alternativas en torno al 8%** (CEMA, 2015). En caso de preparar cementos binarios, ternarios o cuaternarios este porcentaje de sustitución podría oscilar entre el **20% y 50%** (CEMA, 2015). En Europa, son muy comunes dichos cementos mezclados con adiciones minerales suplementarias procedentes de subproductos, mientras que en América la incorporación de dichas adiciones minerales suplementarias se efectúa directamente en la fabricación de concreto, tal y como se argumenta a continuación.

En el caso de sustitución de cemento por adiciones en la fabricación de concreto, se practican diferentes porcentajes de sustitución para cada constituyente. El cemento se puede sustituir por adiciones cementantes suplementarias (cenizas volantes, humo de sílice, escorias granuladas, otras adiciones hidráulicas o puzolánicas), para su adición a concreto, en porcentajes medios en torno al **10%** (LOTFI, DEJA, REM, y VAN DER, 2014).

En cuanto a los agregados, estudios y proyectos recientes están demostrado que se pueden alcanzar porcentajes de sustitución del agregados grueso del concreto por agregados reciclados de concreto o escorias de acería de Horno Eléctrico de Arco de hasta el 100% (LOTFI et al. 2014) (SAN_JOSÉ, 2014). Por lo tanto, dentro de la fracción total de agregados, supondría un **porcentaje de sustitución del 50%**. Con respecto a la fracción fina, se están desarrollando tecnologías avanzadas que permitan aprovechar las arenas recicladas del concreto en nuevo concreto. De momento, podemos establecer, a efectos del presente ejercicio, que dicha fracción fina no asume sustituciones parciales.

En cuanto **a las fibras sintéticas recicladas existen evidencias de que se pueden añadir en torno a 12 kg/m³ de concreto** (LifeBRIO, 2017).

Además **en concretos armados, el reciclaje de acero alcanza niveles del 70% para las barras de refuerzo** (CONSTRUCTALIA, 2017).

Sobre la base del estado de la tecnología anteriormente descrita, con la tecnología actual se puede alcanzar un porcentaje de metabolización de materiales alternativos entre el **40% y 50% del total de recursos necesarios para fabricar 1 tonelada de concreto**. En Europa, se está desarrollando **tecnología pionera a fin de garantizar potenciales superiores, cercanos al 75%, de metabolización de residuos de concreto en un ciclo cerrado**. Asimismo, cabe aclarar que el concreto admite corrientes minerales latentes en subproductos de otras industrias, tal es el caso de la siderurgia, si bien a efectos de este ejercicio preliminar, se decide contemplar cifras asociadas al cierre del ciclo endógeno del propio material.

A continuación se determina la distancia objetivo al máximo potencial de reincorporación de recursos minerales no metálicos en la fabricación de nuevo concreto:

Recurso material	Residuo post-industrial generado 2015 (ton)	Reciclaje y reutilización actual (%)	Tasa máxima de reciclaje (%)	Distancia objetivo al máximo potencial de reincorporación de los recursos minerales no metálicos (%)
Residuo pétreo de Construcción y Demolición	16.500.000,00	2	50	48
Recurso mineral no metálico	881.248,16	2	50	48

Tabla 13. Cálculo de la distancia objetivo al máximo potencial de reincorporación de los recursos minerales no metálicos (suponiendo mayoría de concreto, fuente (LOTFI et al., 2014)).

4.5.3. Polímeros

Los desechos son la principal fuente de residuo post-industrial en la transformación del plástico. Según una encuesta realizada por la Society for the Plastics Industry en 2013 y 2014, los fabricantes de materias plásticas reciclan hasta el 90% del residuo post-industria (STEINERTGLOBAL, 2015). Al observar el conjunto del cierre de ciclos de los plásticos industriales y post-consumo, **los países más avanzados alcanzan tasas de recuperación de material en torno al 40%**. Las **empresas colombianas** encuestadas por Acoplásticos reintroducen, en sus procesos, **plásticos recuperados en tasas en torno al 20%**.

El tratamiento de estos residuos puede ser diverso:

- Trocear los desechos y volver a incorporarlos como materia prima dentro del propio proceso productivo en planta.
- El material es recogido y enviado a las empresas de reciclado que se encargan de triturarlo y granularlo en forma de granza para su comercialización como materia prima reciclada.

Los principales destinos de los materiales reciclados se muestran a continuación (PLASTICS_RECYCLING_SURVEY, 2012):

- LDPE reciclado: films de embalaje, films de agricultura, tubería y otras aplicaciones
- PET reciclado: fibras textiles y botellas
- PP reciclado: productos inyectados
- PS reciclado: aislantes para construcción y productos inyectados

A continuación se determina la distancia objetivo al máximo potencial de reincorporación de recursos plásticos en procesos industriales ligados a actividades de transformación de plástico:

Recurso material	Residuo post-industrial generado 2015 (ton)	Reciclaje y reutilización actual (%)	Tasa máxima de reciclaje (%)	Distancia objetivo al máximo potencial de reincorporación de los recursos plásticos (%)
Plásticos	1.558.546,00	20	40	20

Tabla 14. Cálculo de la distancia objetivo al máximo potencial de reincorporación de los recursos plásticos.

4.5.4. Celulosa y papel

Durante las últimas dos décadas se ha evidenciado un notable avance, a nivel mundial, tanto en el reciclado de papel (post-consumo), como en la reutilización de fibras que se pierden durante el propio proceso papelerero en la formación del papel, las llamadas “aguas coladas”, y en forma de recortes de papel (post-industrial). En aumento en la tasa de recuperación conjunta, que incluye reciclado de subproductos y recuperación de fibra, es uno de los parámetros habitualmente marcados como objetivo a medio y largo plazo en los planes sectoriales, puesto que aúna las componentes económica y medioambiental. De esta manera, la evolución en **la tasa de recuperación a nivel mundial (178 países) alcanzó en 2016 el 58.9%** y aumenta en cada nuevo balance (un 12% de mejora desde el año 2000). **Europa se sitúa a la cabeza en este aspecto, habiendo ya superado el 70% en el último balance** (CEPI, 2016). Sin embargo, se acepta que este límite ha alcanzado ya una cifra difícil de superar de manera mantenida.

Por su parte, **la industria pastera-papelera colombiana produjo, en 2015, 1,2 millones de toneladas de papel, de las cuales 49% se destinaron a la fabricación de empaques, 32% para imprenta y escritura, 17% para papel higiénico y 2% en otros productos** (CPPYC, 2015). **La industria recicló, en dicho año, 881.929 toneladas de papel y cartón**; reportó consumos por el orden de 1,6 millones de toneladas y unos 28 kilos por habitante/año. **De esta cifra de consumo reincorporó al ciclo 71% a través de diversos mecanismos de recolección. Con relación a la gestión de lodos papeleros, referencias bibliográficas colombianas** (GARZINA, 2013) **apuntan a que la mayor parte de los mismos se depositan en vertidos controlados** en rellenos sanitarios. A efectos del presente análisis, se considerará despreciable la valorización material de los recursos minerales y orgánicos embebidos en los lodos papeleros.

La tasa de recolección en Colombia en el año 2015 alcanzó el 61%, lo que supuso una recolección de 784.917 toneladas de papel y cartón usados. En concreto, se alcanzó una tasa de recolección de papel y cartón del 57% y una tasa de recolección de empaques del 71%. Tras someterse a los consiguientes procesos de reciclado **la tasa final de reciclaje alcanzó el 55%** (consumo aparente de desperdicio/consumo aparente de papel y cartón) (Cámara de la industria de pulpa, papel y cartón de ANDI, 2015).

A fin de esbozar un ejemplo de buena práctica dirigida a conseguir elevadas tasas de eficiencia en la metabolización de los recursos materiales del sector papelerero, se resume la experiencia de la empresa SAICA (SAICA, 2016) que representa una producción de 2,5 millones de toneladas de papel, volumen de ventas alrededor de 2,5 millones de euros y una plantilla de 9.000 trabajadores. Se erige como una de las empresas papeleras más vanguardistas del mundo alineada con los objetivos de

Vertido Cero. SAICA lidera la eficiencia en el uso de los recursos con una filosofía de negocio integrada en los principios de la Economía Circular y que engloba la gestión de los residuos de papel y cartón post-consumo (División Saica Natur), la producción de papel a partir de dicho papel recuperado (División Saica Paper) y la transformación del papel en soluciones de embalaje de alto valor (División Saica Pack). Dichas divisiones de negocio se retroalimentan en lo referente al flujo de recursos materiales necesarios en las diferentes etapas productivas. Adicionalmente, SAICA dispone de plantas de valorización energética de gran parte de los residuos no-peligrosos que se generan durante el proceso de producción de papel, toda vez que valoriza un 30% de los lodos procedentes del tratamiento de aguas de proceso. En el último ejercicio (2016), analizado para el presente informe, la tasa de valorización (como suma de reincorporación al propio proceso papelerero y valorización energética) de los residuos generados por sus 4 plantas papeleras alcanzó el 87% (SAICA, 2016).

El concepto implementado por SAICA constituye un paradigma de integración industrial con base en los principios de economía circular, articulado en torno a los siguientes principios:

- Optimización de los sistemas de recogida y gestión de dichos residuos integrados en el mismo grupo productor de papel. Este hecho garantiza la preselección de papeles de calidad óptima para el reciclado, toda vez que se minimiza la generación de residuos.
- Una apuesta estratégica por plantas papeleras especializadas en producción de papel y cartón a partir de papel recuperado. Tomando como base las plantas ya existentes en Colombia (como Corrugados de Colombia o Unibol S.A.), se abordarían estrategias orientadas hacia la optimización y monitorización de consumos de cada uno de sus procesos. El objetivo sería llegar a trabajar en niveles de máxima eficiencia energética y mínima producción de residuos.
- Integración de plantas de valorización energética, junto con dichas plantas de producción de papel. La actividad de estas plantas energéticas de valorización de residuos generados durante la producción de papel podría suplementar una actividad principal de producción energética a partir de biomasa.

Además de estas prácticas de rentabilidad ya demostrada, sigue siendo necesaria la investigación de nuevas formas de valorizar los residuos. Así lo entienden las empresas más vanguardistas del sector, las cuales empiezan a desplegar iniciativas alineadas con este objetivo. Entre las tecnologías más prometedoras para este sector destacan las siguientes: 1) activación térmica controlada de los lodos de destintado y depuración de aguas para una recuperación eficiente del poder calorífico de la biomasa latente, así como de los recursos minerales con un alto potencial de cierre de ciclo en la fabricación de cemento y concreto; 2) la utilización de los residuos de producción de papel para la producción de nanofibras de celulosa (NFC), un aditivo de altas prestaciones con potencial salida a multitud de sectores industriales.

Algunas regiones, incluida Latinoamérica, tienen todavía en este aspecto un importante margen de mejora a través de la optimización de sus procesos tanto de gestión de residuos como de reutilización de fibras, como se desprende de los valores incluidos en la Tabla 15.

Recurso material	Residuo post-industrial generado 2015 (ton)	Reciclaje y reutilización actual (%)	Tasa máxima de reciclaje (%)	Distancia objetivo al máximo potencial de reincorporación de los recursos de celulosa en papel-cartón (%)
Residuos de fabricación (fibras de celulosa y cargas minerales de lodos)	561.380,00 ¹	73	80,2	7,2
Papel-cartón post-consumo	355.00,00	55	70	15

¹Suma de desechos inertes, cargas minerales de lodos de depuración y destintado y licores negros

Tabla 15. Cálculo de la distancia objetivo al máximo potencial de reincorporación de los recursos de celulosa (fuente: CPPYC, 2015)

4.5.5. Metales: acero

El acero es el material más reciclado en el mundo y esto ha venido sucediendo desde mucho antes de que se plantearan los nuevos conceptos de economía circular. El proceso de fabricación del acero requiere grandes cantidades de chatarra y los hornos eléctricos trabajan casi por completo con chatarra (**97%**) (UNESID, 2017). El análisis de flujos del acero en Colombia (ver apartado 5.4) revela tasas de circularidad de la chatarra del 85%. El gran reto del sector se debe focalizar en garantizar cierres de circularidad de subproductos siderúrgicos. El escenario de recuperación actual se argumenta más exhaustivamente en el apartado 5.4.

Recurso material	Residuo post-industrial generado 2015 (ton)	Reciclaje y reutilización actual (%)	Tasa máxima de reciclaje (%)	Distancia objetivo al máximo potencial de reincorporación de los recursos siderúrgicos (%)
Escorias Alto Horno (BF)	81.000	100	100	0
Escorias negras Horno Eléctrico	180.000	0	100	100
Cascarilla	60.000	20	100	80
Chatarra	1.000.000	85	97	12
Total de principales recursos del sector del acero	1.321.000			26,34

Tabla 16. Cálculo de la distancia objetivo al máximo potencial de reincorporación de los recursos siderúrgicos y de fundición (valor ponderado según volumen de residuos, fuente: (UNESID, 2017)

4.5.6. Textil

Los residuos textiles post industriales, por su parte, son aquellos residuos generados en la cadena industrial de producción de textiles. Dependiendo de los materiales, procesos de transformación y tipología de productos finales estas fracciones pueden tener características diversas. Como generalidad, debe señalarse que se trata de una cantidad de residuo mucho menos voluminosa debido a que está más limpia que en el anterior caso, no presenta insertos metálicos y los lotes se encuentran separados por tipo de material. **Se estima entre un 10-20% la cantidad de residuos post industriales que se puede llegar a generar en las distintas etapas de producción textil**, como por ejemplo pueden ser; la hilatura, tejeduría y la confección de prendas (TEXTILE EXCHANGE, 2012).

Por otro lado, se ha contactado con la marca fabricante de ropa y prendas textiles Skunk Funk <http://www.skunkfunk.com> con el objetivo de conocer la cantidad y el destino de los principales subproductos que genera en sus procesos de manufactura. Así, la empresa señala que de la cantidad total de mermas de producción, **aproximadamente un 90%, está destinado al downcycling**, término que se refiere al aprovechamiento del material para otras aplicaciones de menor valor añadido como por ejemplo; aplicaciones de aislamiento, rellenos, trapos de limpieza, etc. **El restante 10% se destinaría a la reutilización/reciclado y reincorporación en el proceso de hilado/tejeduría**. En términos globales tal y como se muestra en la Figura 12, las fracciones destinadas *downcycling* supondrían un 12% y la reincorporación al producto textil rondaría el **1% respecto al total**. En este sentido, Skunk Funk puntualiza que la recuperación de las fibras para hilado tiene un aspecto crítico: la longitud de las fibras disminuyen con el proceso mecánico de tratamiento, induciendo así mermas en la calidad del material. Según dicha empresa, la reutilización está limitada a 1-2 ciclos dado que, tras este periodo, las fibras son demasiado cortas y no presentan una calidad mínima para volver a ser incorporadas en el proceso. El reciclado mecánico presenta esta limitación del empobrecimiento de las prestaciones de las fibras, por esto la empresa se encuentra explorando nuevas vías más eficientes de recuperación de fibras. Así, ha identificado otros procesos como el reciclado químico o la despolimerización de las fibras que no daña la calidad de las fibras, pero que se encuentran en fase experimental de laboratorio y requieren una gran esfuerzo en I+D antes de poder implantar el proceso industrialmente.

Por lo tanto, hablando del proceso en de producción de textiles de forma global, no se contempla el vertido/valorización de ninguna de las fracciones de residuo generadas en las etapas intermedias, ya que se considera se podrían aprovechar los materiales, en el peor de los casos en aplicaciones de menor valor añadido (*downcycling*).

En resumen, las fuentes consultadas revelan que **tan sólo el 10% de las mermas generadas en el proceso industrial se reintroducen, de promedio, en el proceso de hilado/tejido. El restante 90% se recicla en diversas aplicaciones de menor valor (downcycling), en función de las calidades la materia prima recuperada**. Así, las fracciones de mejor calidad se utilizan para fabricar geotextiles o productos de aislamiento, tanto en el sector de la construcción como en el de la automoción. La fabricación de mantas y fieltros de textiles constituye otro posible destino de las fibras recuperadas (fabricación de colchones). Un escalón inferior correspondería a los productos industriales de limpieza (trapos, borra, mopas) que no necesitan elevados requerimientos y se utilizan para la

limpieza y mantenimiento de máquinas e instalaciones industriales. Esta última aplicación se destina a las fibras más deterioradas o que peores propiedades ofrecen. Asumiendo que las mermas de procesos industriales presentan fracciones de textiles limpias y en buenas condiciones, se puede predecir que la parte gran parte de los residuos debidamente segregados pueden aprovecharse en aplicaciones de mayor valor añadido (productos de aislamiento construcción/automoción, y geotextiles).

Según Ellen Macarthur (2013), la tasa de recogida objetivo de los textiles será el 61 %, 95% del cual será destinado con éxito a reutilización o reciclaje. El cálculo de la distancia objetivo al máximo de reincorporación de los recursos textiles se recopila en la tabla siguiente:

Recurso material	Residuo post-industrial generado 2015 (ton)	Reciclaje y reutilización actual (%)	Tasa máxima de reciclaje (%)	Distancia objetivo al máximo potencial de reincorporación de los recursos textiles (%)
Textil	1.836,417	5,3	57,95	52,65

Tabla 17. Cálculo de la distancia objetivo al máximo potencial de reincorporación de los recursos textiles

4.5.7. Resumen de valores asociados al C4

La Tabla 18 compendia los valores de los diferentes materiales asociados a cada categoría. En los casos en los que se han considerado dos o más tipos de residuo con diferente distancia a objetivo, se ha calculado un valor medio a partir de la media ponderada en función del volumen de residuos.

Nº	Recurso material	Tipo de residuo asociado a la actividad	Distancia a objetivo de máximo potencial de reincorporación de los recursos materiales priorizados (%)
1	Biomaterial	Orgánicos	44
2	Cemento, concreto	Minerales no metálicos: constituyentes potenciales de cemento y concreto	48
3	Polímeros	Polímeros	20
4	Biomaterial-celulosa	Papel y cartón	10,22
5	Metales: acero	Metálicos e inorgánicos	26,34
6	Textil	Textiles	52,65

Tabla 18. Resumen de los valores del criterio C4

4.6. C5: Impacto ambiental evitado

Teniendo en cuenta el enfoque y objetivo del estudio, resulta de gran interés considerar como un criterio de evaluación, para la selección de las corrientes de materiales residuales a recuperar, el impacto ambiental que se evitaría al no tener que producir las materias primas necesarias en los procesos manufactureros en los que se pretende aprovechar los materiales recuperados. A modo de ejemplo, si consideramos el acero como uno de los materiales a recuperar, el impacto evitado asociado a la recuperación del acero sería el impacto ambiental generado en la producción de una cantidad igual de acero “virgen” a la del acero recuperado.

Como indicador de impacto evitado, se selecciona la emisión de gases de efecto invernadero que se mide en toneladas de CO₂ equivalente (ton CO₂eq), al tratarse de un indicador de impacto global de gran relevancia en términos de lucha contra el cambio climático y sobre el que existe un alto nivel de sensibilización en la actualidad.

Asimismo, se tiene en cuenta el enfoque de ciclo de vida de la cuna a la puerta; es decir, se tienen en cuenta las emisiones de CO₂eq en las etapas de obtención de materias primas y producción del material equivalente sustituido.

Por último, para cada corriente de residuos analizada se procede a identificar, en primer lugar, el/los material/es de interés y sus potenciales aplicaciones. Para cada uno de estos materiales-aplicaciones se identifica el material “virgen” a sustituir y se ha determinado las emisiones de CO₂eq. Por último, en aquellos casos en los que el material pudiera tener diversos usos o sustituir a distintos materiales, se procede a asignar una tasa de consumo, de tal manera que el impacto evitado final resulte de promediar ponderadamente las emisiones de CO₂eq individuales.

Para la determinación de las emisiones de CO₂eq de cada uno de los materiales sustituidos se utiliza la **base de datos Ecoinvent 3.3, que es una base de datos de análisis de ciclo de vida de ámbito global** y con información sobre un gran número de procesos y materiales.

La Tabla 19 presenta, para cada uno de los materiales de interés identificados, un valor medio del impacto evitado asociado por tonelada de material.

Nº	Material asociado	Tipo de residuo asociado a la actividad	Corrientes residuales concretas	Sectores en los que potencialmente se podrán valorizar los residuos	Impacto evitado promedio (kg CO ₂ eq/ton material)
1	Biomaterial	Orgánicos	Cenizas de las plantas de cogeneración	Industria cementera	757
			Bagazo, cachaza, melote, tusa, cuesco	Fertilizantes	

Nº	Material asociado	Tipo de residuo asociado a la actividad	Corrientes residuales concretas	Sectores en los que potencialmente se podrán valorizar los residuos	Impacto evitado promedio (kg CO ₂ eq/ton material)
			Bagazo, cachaza, melote, tusa, cuesco	Pienso animal	
			Bagazo, tusa, fibra, cuesco	Industria papelera	
			Bagazo, tusa, fibra, cuesco	Producción de bioplásticos	
2	Cemento, concreto	Otros no metálicos: constituyentes de cemento y concreto	RCD	Fabricación de cemento y fabricación de concreto	199
			Escorias siderúrgicas	Fabricación de concreto	
			Cenizas	Fabricación de cemento y concreto	
3	Polímeros	Plásticos	Residuos de plástico	Industria de reciclaje de plásticos	2262
4	Biomaterial-celulosa	Papel y cartón	Lodos	Industrias de la construcción y papelera	685
			Cenizas de las plantas de cogeneración	Industria cementera	
5	Metales	Metálicos e inorgánicos	Polvos de acería	Procesos de recuperación de Zn y otros metales Pb-es residuo peligroso	1286
			Laminilla o cascarilla	Siderurgia Fabricación de concreto pesado	
			Escoria	Sector construcción-fabricación de concreto	
6	Textil	Textiles	Ropa usada reutilizable	Mercado de segunda mano	7653
			Residuos de telas, hilos	Recuperación de fibras	

Tabla 19. Impacto de CO₂equivalente evitado asociado a la recuperación de cada material

El aprovechamiento de la corriente residual textil se presenta como la opción con mayores posibilidades de evitar emisiones de CO₂ (por tonelada de residuo). Esto se debe a la gran cantidad de emisiones de CO₂ asociadas al cultivo del algodón (principal textil producido en el país).

La recuperación y reciclaje de plásticos también permite evitar de forma muy relevante la contribución al cambio climático. Las resinas consideradas en este análisis se han seleccionado en base a los datos de consumo en Colombia (ACOPLÁSTICOS, 2017c), que incluyen principalmente PET, PE, PP, PS y PVC.

Los residuos siderúrgicos (escorias, polvos de acería y cascarilla) también presentan una importante oportunidad para reducir las emisiones de CO₂, si bien en menor medida que las anteriores corrientes residuales. La recuperación de Zinc y metales férricos de los polvos de acería y la cascarilla son los procesos que presentan más ventajas ambientales, mientras que la sustitución de áridos por escorias permite una menor reducción de emisiones de CO₂.

En el caso de los residuos de biomateriales, se ha considerado que existe una fracción con potencial de aprovechamiento en la producción de biopolímeros, y es este proceso el que más contribuye a evitar el calentamiento global.

Por último, los residuos generados en la cadena de valor del cemento y el concreto son los que menos ventajas ambientales parecen ofrecer, ya que en la mayoría de los casos los materiales recuperados sustituyen a áridos (materiales de bajo impacto ambiental). Tan sólo la sustitución de clínker ofrece una reducción de emisiones de CO₂ reseñable.

4.7. C6: Impacto económico

El impacto económico se infiere del valor económico de los residuos a ser reincorporados en los ciclos de vida de los mismos u otros procesos productivos. Se expresan en \$ USD/ton. Se han asignado valores a partir de los datos definidos en (IHOBE, 2016), convertidos a dólares y estimaciones propias a partir de los precios de mercado de corrientes residuales y sus destinos porcentuales.

El precio de los residuos de plástico oscila en el amplio rango comprendido entre 150-1000\$ USD/ton, como consecuencia de diversas variables como el tipo de polímero, país donde se recicle, grado de optimización del proceso de recogida y reciclaje del plástico, etc. Por tanto, **se ha considerado un precio medio (350\$ USD) viable como punto de medida.**

En el cálculo del precio medio en el sector textil se ha considerado un 20% del residuo textil destinado a reutilización (450\$ USD/ton) y un 80% a recuperación de fibra (20\$ USD/ton).

Nº	Recurso material	Corriente residual asociado a la actividad	Material valorizable o producto destino	Precio medio (\$ USD/ton)
1	Biomaterial	Residuos bio de azúcar, panela y palma	Bagazo, cachaza, melote, fibras	60
2	Cemento, concreto	Otros no metálicos	Agregado	4,5
3	Polímeros	Polímeros	PE, PET, PP, PS, PVC...	350
4	Biomaterial-	Papel y cartón	Fibras de celulosa y	110

Nº	Recurso material	Corriente residual asociado a la actividad	Material valorizable o producto destino	Precio medio (\$ USD/ton)
	celulosa		cargas minerales	
5	Metales: hierro y acero	Metálicos	Agregado y metales recuperables	$(1,000.000*300+321.000*8)/1.320.000 = 229^1$
6	Textil	Textiles	Fibras de algodón y poliéster	106

¹Precio medio considerando un valor de 300\$ USD /ton de chatarra y 8\$ USD /ton de árido siderúrgico.

Tabla 20. Precio de los materiales obtenidos por cada corriente residual (estimaciones a partir de IHOBE, 2016 y consideraciones indicadas en este apartado).

4.8. Descripción de la metodología AHP y etapas de la misma

Para realizar la ponderación de los criterios considerados, se utiliza la metodología AHP (Analytical Hierarchy Process) (SAATY, 1980). Este proceso consta de tres pasos (LOSADA, 2006):

- Construcción de la matriz de decisión
- Cálculo del vector de pesos
- Evaluación de la consistencia de la matriz

La **matriz de decisión** o matriz "A", es una matriz cuadrada de $n*n$ (donde n es el número de criterios o elementos a comparar del mismo nivel) y cada uno de sus elementos se calcula a través de una comparación por pares entre ellos. Los valores que toma cada elemento de la matriz "A", se calculan comparando el criterio de la fila con el de la columna, de acuerdo con la escala que se muestra en la Tabla 21 o **sus valores intermedios**. Por ello, los elementos de la diagonal principal son iguales a 1, (un criterio es igual de preferido respecto a sí mismo) y los elementos a ambos lados de la diagonal principal son inversos (si a_{12} es ligeramente más preferido que a_{21} , podemos asegurar que a_{21} es ligeramente menos preferido que a_{12}), por lo que basta con completar uno de los triángulos a un lado de la diagonal principal.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots \\ a_{21} & a_{22} & \dots \\ \vdots & \vdots & a_{ij} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Importancia relativa	Significado (i respecto a j)	Elemento de la matriz	
		a_{ij}	a_{ji}
1/9	Absoluta o extremadamente menos preferido	1/9	9
1/7	Mucho menos importante o preferido	1/7	7
1/5	Menos importante o preferido	1/5	5
1/3	Ligeramente menos importante o preferido	1/3	3
1	Igual importancia	1	1
3	Ligeramente más importante o preferido	3	1/3
5	Más importante o preferido	5	1/5
7	Mucho más importante o preferido	7	1/7
9	Absoluta o extremadamente más preferido	9	1/9

Tabla 21. Comparación por pares para el cálculo de la matriz de decisión (LOSADA, 2006)

Para el cálculo del **vector de pesos** es necesario normalizar los elementos de la matriz “A” mediante la expresión (2), creándose la matriz “B”. Cada elemento de la matriz “B” es igual al elemento correspondiente a la matriz “A”, dividido entre la sumatoria de los elementos de la columna donde se encuentra.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

Con los componentes de la matriz “B” se calcula el vector de pesos mediante la expresión (3). Por lo que cada elemento del vector está compuesto por el resultado del sumatorio de los elementos de cada columna de la matriz “B”, dividido entre el número de requerimiento, criterios o indicadores.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n} \quad (3)$$

Cada uno de los elementos de este vector es el peso correspondiente del criterio evaluado, según el orden en que hayan sido ubicados en la matriz “A”.

La **evaluación de la consistencia**, mide cómo el usuario tiene examinada la matriz “A”, teniendo en cuenta la proporcionalidad de las referencias. Si se afirma que un criterio C1 es ligeramente más importante que un criterio C2 y que, a su vez, C2 es ligeramente más importante que otro criterio C3, lo “consistente” sería afirmar que C1 es más importante que C3. Esto evidentemente solo es necesario para matrices de dimensión mayor de 2x2 (más de dos criterios a considerar).

Para evaluar la consistencia, Saaty propone calcularla mediante la relación de consistencia (C.R., consistency ratio). Para ello, se parte del vector propio máximo que se consigue mediante el producto de la suma de las columnas de la matriz a_{ij} , por la componente del vector de prioridades W_i obteniéndose el valor de λ_{max} mediante la ecuación (4)

$$\lambda_{max} = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^n a_{ij} \right) * w_j \quad (4)$$

Posteriormente, la consistencia se calcula mediante la ecuación matemática (5)

$$C. R. = \frac{C.I.}{R.I.} \leq 0,1 \quad (5)$$

donde,

- C.R. = Relación de consistencia (Consistency ratio)
- C.I. = índice de consistencia (Consistency index)
- R.I. = índice de consistencia aleatoria (Random Index)

El índice de consistencia (C.I.), se define mediante la ecuación (6)

$$C. I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

donde, λ_{max} y n tienen el significado dado con anterioridad.

El índice de consistencia aleatoria (R.I.) se describe como el máximo índice de consistencia de una matriz de decisión generada de forma aleatoria. Sólo depende del tamaño de la matriz y toma los valores que se encuentran en la Tabla 22.

Tamaño de la matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice de consistencia aleatoria (R.I.)	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Tabla 22. Índices de consistencia aleatoria de las matrices de decisión según su orden (LOSADA, 2006)

En el caso de que $C.R. > 0.1$, el usuario debe revisar los valores asignados en la comparación por pares de la matriz “A” y repetir el resto del procedimiento, hasta que C.R. cumpla con la condición anterior.

Dentro de la gran cantidad de criterios e indicadores que pueden definir una decisión, sólo un reducido porcentaje de ellos son realmente importantes. Por tal motivo resulta primordial la identificación de estos criterios principales, no sólo desde el punto de vista de economizar recursos sino de las posibles diluciones de la importancia de estos indicadores principales al introducir algunos poco importantes.

4.9. Ponderación de criterios

Una vez definidos los criterios a considerar en la toma de decisión, se realiza la comparación por pares de los mismos para objetivar la asignación de pesos. El hecho de haber utilizado el criterio C1 como filtro al número de actividades y materiales considerados atiende a razones prácticas con el fin de reducir el número de alternativas (materiales) a evaluar. No obstante, la metodología sigue siendo aplicable a la totalidad de materiales y residuos del sector manufacturero y construcción. Aunque el criterio C1 (Valor agregado macro) ha sido utilizado para dilucidar los subsectores más relevantes de la industria manufacturera colombiana, de su comparativa (vector de peso resultante de 0,03) con el resto de criterios se deduce que no es relevante para la selección de materiales con oportunidades de generación de nuevos negocios de economía circular.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	
	Valor agregado de las actividades manufactureras	Necesidad de importaciones	Generación de residuos	Distancia a objetivo	Impacto evitado	Impacto económico	Vector de pesos
C1	1,00	0,14	0,14	0,17	1,00	0,11	0,03
C2	7,00	1,00	1,00	2,00	5,00	0,50	0,21
C3	7,00	1,00	1,00	2,00	5,00	0,50	0,21
C4	6,00	0,50	0,50	1,00	2,00	0,33	0,13
C5	1,00	0,20	0,20	0,50	1,00	0,11	0,08
C6	9,00	2,00	2,00	3,00	9,00	1,00	0,36

Tabla 23. Matriz de decisión y vector de pesos según preferencias del Equipo Tecnalia

La matriz de comparación se completa tal y como se recoge en el apartado anterior, utilizando los valores de la Tabla 22 o valores intermedios. Para ello se compara el elemento de cada fila con el elemento de cada columna. E.g el criterio C1 se ha supuesto “Absoluta o extremadamente menos preferido” que el criterio C6, por lo que se ha asignado un valor de 1/9 en la comparación.

CI (Índice de consistencia)	0,025
R.I (Random index)	1,24
C.R (Relación de consistencia)	0,020< 0,1

Tabla 24. Valores de consistencia de la matriz de comparación del Equipo Tecnalía.

La matriz generada tiene una relación de consistencia inferior a 0,1 lo que confirma que las comparaciones realizadas son coherentes.

4.10. Priorización de materiales aplicando metodología AHP

A continuación se presentan de forma resumida (Tabla 25) los valores obtenidos en cada criterio para los materiales evaluados.

Materiales	C1 Valor agregado de las actividades manufactureras (%)	C2 Necesidad de importaciones (mill. \$USD/año)	C3 Generación de residuos (ton/año)	C4 Distancia a objetivo (%)	C5 Impacto evitado (kg CO ₂ eq/t)	C6 Impacto económico (\$ USD/ton)
Biomaterial primario	25,61	1.553,07	21.341.711	44	757	60
Cemento y concreto	4,5666	180,00	17.381.248	48	199	4,5
Polímeros	20,19	5.819,43	1.408.779	20	2262	350
Celulosa y papel	3,48	338,94	916.380	10,22	685	110
Acero	2,56	5.351,77	1.321.000	26,34	1286	229,0
Textil	3,97	712,78	1.836	52,65	7653	106

Tabla 25. Valores de los criterios para las 6 categorías de materiales

Con el fin de comparar las respuestas individuales, se utiliza el valor máximo obtenido como límite superior para normalizar los valores de cada criterio (Tabla 26).

Materiales	C1 Valor agregado de las actividades manufactureras (%)	C2 Necesidad de importaciones (mill. \$ USD/año)	C3 Generación de residuos (ton/año)	C4 Distancia a objetivo (%)	C5 Impacto evitado (kg CO ₂ eq/t)	C6 Impacto económico (\$ USD/ton)
------------	---	--	---	-----------------------------------	--	---

Biomaterial primario	1,00	0,27	1,00	0,84	0,10	0,17
Cemento y concreto	0,18	0,03	0,81	0,91	0,03	0,01
Polímeros	0,79	1,00	0,07	0,38	0,30	1,00
Celulosa y papel	0,14	0,06	0,04	0,19	0,09	0,31
Acero	0,10	0,92	0,06	0,50	0,17	0,65
Textil	0,16	0,12	0,00	1,00	1,00	0,30

Tabla 26. Valores normalizados a partir de los máximos de cada criterio para las 6 categorías de materiales

Los resultados se grafican según diagrama de la Figura 13. Resultados por criterios en la evaluación de materiales.

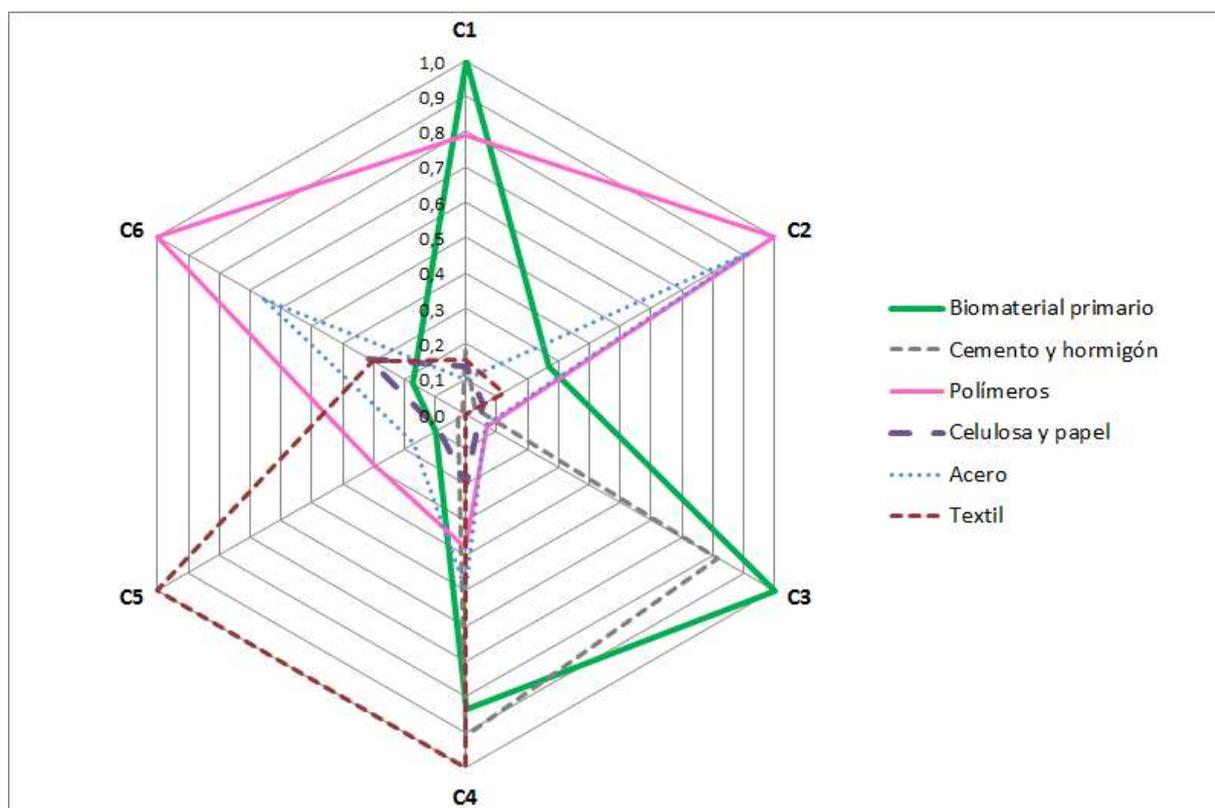


Figura 13. Resultados por criterios en la evaluación de materiales

Por último, utilizando los pesos obtenidos mediante la metodología AHP, se obtienen los índices globales para cada material, los cuales se presentan de mayor a menor en la Tabla 27.

Materiales	Índice global
Polímeros	0,69

Acero	0,53
Biomaterial primario	0,47
Textil	0,31
Cemento y concreto	0,30
Celulosa y papel	0,17

Tabla 27. Valores globales obtenidos en la priorización multicriterio

De este resultado se deduce que las corrientes más relevantes para la priorización en los planes de economía circular del país resultan ser las siguientes: polímeros, acero y biomaterial primario. En segundo nivel de interés aparecen los textiles, si bien la escasa información sobre sus procesos y flujos de materiales reales conllevan a su retirada del análisis, **en favor del cemento y concreto y el papel.**

4.11. Conclusiones

Los materiales más relevantes para la priorización en los planes de economía circular del país resultan ser las siguientes: polímeros, acero, biomaterial primario, textiles, materiales base cemento y papel.

Cabe destacar los siguientes beneficios para cada uno de los materiales priorizados:

En cuanto a los materiales poliméricos, la transición hacia modelos más efectivos de economía circular redundaría en reducir la dependencia de las importaciones y la subsiguiente creación de nuevos negocios en el país, así como reducir el impacto ambiental asociado. La tasa de reciclaje actual de polímeros presenta suficiente recorrido de mejora (en torno a un 20% de recuperación adicional) hasta alcanzar las mejores prácticas internacionales. Mejoras en el diseño y separación de productos post-consumo (especialmente envases y embalajes) coadyuvarán a incrementar el cierre de ciclo de esta familia de materiales en Colombia.

En cuanto a los materiales metálicos, en general, y al acero en particular, una mayor eficacia en el cierre de ciclo de los mismos permitirá reducir la dependencia de importaciones, crear nuevos procesos industriales y negocios en el país, incurriendo en una mejora de competitividad, especialmente, en actividades siderúrgicas, fabricación de componentes de automoción y equipos eléctricos/electrónicos. Asimismo, se debe mejorar la gestión de los subproductos generados en los procesos de fabricación de acero y aleaciones metálicas.

En lo concerniente a los biomateriales procedentes de las actividades manufactureras agroindustriales, la consecución de los objetivos de economía circular ofrece recursos materiales para actividades emergentes como la bioeconomía, así como para actividades manufactureras consolidadas, tal es el caso de la industria del papel. Dichos escenarios contribuirán, asimismo, a minimizar la deposición en rellenos sanitarios o incineración incontrolada.

El cierre de ciclo de textiles permite reducir notablemente impactos ambientales y abrir nuevas oportunidades de economía social. A tenor de los datos oficiales, no se generan cantidades

importantes de textiles post-consumo o post-industrial en el país, razón por la cual cabría poner un mayor énfasis de análisis en el resto de los materiales priorizados.

El cierre de ciclos del concreto permitirá nutrir de recursos minerales secundarios alternativos al sector de la construcción, crear nuevos negocios de reciclaje en el país con la consiguiente generación de empleo, evitar contaminación de espacios urbanos por deposición de ingentes cantidades de escombros de construcción y reducir la explotación de nuevos yacimientos naturales. A tenor del volumen generado y de la insignificante tasa de reciclaje actual (inferior al 2%), estos materiales deben constituir una corriente prioritaria en las políticas de economía circular.

El papel constituye uno de los materiales que más se acercan a un cierre de ciclos efectivo en Colombia.

5. Diagramas de flujo de los materiales clave seleccionados

El presente apartado aborda el análisis de flujos de materiales en las 5 corrientes prioritarias identificadas en el apartado anterior:

- Biomaterial primario: centrado en el principal cultivo de Colombia, el azúcar.
- Cemento: considerando tanto la producción del cemento, como de los principales productos base cemento (morteros, concreto,...)
- Polímeros: centrados en los 5 polímeros más consumidos en Colombia
- Celulosa y papel
- Acero

Para realizar este análisis de flujos se tiene en cuenta:

- **Entradas:** principales materias primas consumidas en la cadena de valor, analizando su procedencia (nacional o importada). El grado de detalle en el análisis de cada flujo varía en función de la disponibilidad de información, la complejidad de cada corriente analizada, y la relevancia de las entradas para el análisis global.
- **Salidas:** principales productos y residuos generados, evaluando su aplicación (reincorporación a la misma cadena productiva, incorporación a otras cadenas productivas, valorización o disposición final), así como su destino final (nacional o internacional).
- **Flujos intermedios:** evaluación de la transformación de los materiales en la economía Colombiana, atendiendo a las ineficiencias, conexiones entre flujos, etc.

A partir de este análisis se identifican aspectos clave como el **consumo de materiales, tasa de reciclaje e importación/exportación** de materiales y residuos.

Estos aspectos permitirán analizar posibilidades de mejora y potencialidad de la economía circular para las corrientes analizadas.

5.1. Biomaterial primario

Se estima que el procesado de productos agrícolas genera alrededor de **21.341.711 toneladas** de residuos.

Los residuos generados en los hogares en Colombia ascienden a **8.965.065 ton** (DANE, 2017). Este valor hace referencia a la Generación de residuales de la categoría “Mixtos y comerciales”, que guarda correspondencia con los residuos mixtos habitualmente recogidos por los servicios municipales de recolección de residuos, principalmente de los hogares aunque no exclusivamente. De hecho, en este valor se incluyen residuos municipales mixtos, residuos voluminosos, los residuos de la limpieza de las calles y los residuos de los mercados, salvo sus componentes recogidos por separado. Los residuos se originan principalmente en los hogares, pero también pueden generarse en todos los sectores económicos, como cantinas y oficinas, así como residuos del consumo (DANE, 2017).

Tomando este valor como referencia, se estima que la generación de residuos urbanos es de aproximadamente 0,17 ton per cápita, lo que contrasta con otras referencias bibliográficas: 0,283 toneladas de residuos urbanos y domésticos estimados en el informe CONPES (DNP, 2016).

De esta cantidad aproximadamente el 61,5% serían residuos orgánicos (DNP, 2016), lo que equivaldría a **5.057.788 toneladas**.

De acuerdo a la bibliografía (DNP, 2016), de los residuos de la industria manufacturera, aproximadamente 2,2 toneladas serían alimentos desperdiciados (47%). En cuanto a los residuos urbanos, los alimentos desperdiciados serían alrededor de 3,5 toneladas (56%).

En lo referente al tratamiento de los residuos orgánicos en Colombia, existen datos estadísticos sobre la gestión de los residuos generados por la industria manufacturera (DNP, 2016). En cuanto a los residuos urbanos, se estima que la cobertura media de recolección de residuos es de 83.4%, siendo 98.3% áreas urbanas y 27.3% en áreas rurales (DANE, 2017b). En este contexto, se estima que alrededor de 839.593 toneladas no son recogidas por los servicios municipales. La gestión de actual de estos residuos sería la siguiente:

Tratamiento	Industria manufacturera	Residuo doméstico
	%	%
Gestión incontrolada	32,3	16,6
Disposición	5,2	83,4
Reciclaje	0,2	0
Reutilización	27,7	0
Compostaje	13,7	0
Energía	20,9	0

Tabla 28. Estimación de la generación de residuos orgánicos y su gestión (DANE, 2015)

El análisis detallado de la tipología de residuos generados y sus flujos en la industria manufacturera es extremadamente complicado, ya que engloba a un gran número de sectores y requeriría una evaluación de cada uno de ellos en un marco de trabajo con limitada disponibilidad de datos. Por ese motivo se ha optado por analizar una de las cadenas de valor más representativas del país, en términos de volumen de negocio, cantidad de producto y residuos generados. A continuación, se analizan los flujos de materiales en la cadena de valor del azúcar.

5.1.1. El azúcar como material exponente de la generación de residuos orgánicos industriales

De acuerdo con las estadísticas publicadas por la Sociedad de Agricultores de Colombia, la producción agrícola correspondiente a los años 2011 y 2012 (provisional) resultó ser la que se muestra en la siguiente tabla:

CULTIVO	2011 (ton)	2012PR (ton)	2011 (%)	2012PR (%)
Caña de azúcar (material verde)	22.728.758	20.823.629	38,2127%	35,60%
Caña panelera (material verde)	12.202.774	12.507.843	20,5159%	21,39%
Palma de aceite (fruto)	4.580.930	4.652.552	7,7017%	7,95%
Otros cultivos (diversos)	19.967.121	20.500.237	33,5697%	35,05%

Tabla 29. Producción agraria en Colombia en los años 2011 y 2012 (provisional) (SAC. Sociedad de Agricultores de Colombia, 2012)

A partir de dicha situación, el presente estudio se centra en el análisis de flujos del azúcar en la economía colombiana, como principal representante de los biomateriales.



Figura 14. Mapa simplificado del Clúster del azúcar en Colombia (ASOCAÑA Sector Azucarero Colombiano, 2015)

Para este estudio no resulta posible encontrar información suficiente para modelar los flujos destinados a sectores como la industria sucroquímica, por lo que esta aplicación no puede ser cuantificada. Además, no se cuenta con información específica sobre el porcentaje de cada subproducto/coproducción (por ejemplo melaza, miel B, jugo claro) que se destina a cada aplicación (etanol, alimentación animal, compost) por lo que se han considerado las prácticas más habituales de acuerdo a la bibliografía.

Los principales datos de partida para el análisis de flujo de azúcar en Colombia se basan en los datos publicados por ASOCAÑA para el año 2015. Estos datos han sido completados con información facilitada por diferentes entidades visitadas en Colombia, estudios específicos y cálculos propios.

5.1.2. Producción, importación y exportación de azúcar

Colombia cuenta con una importante capacidad productiva de azúcar. Según la información publicada por ASOCAÑA, en 2015 Colombia contó con 232.070 Ha de superficie dedicadas al cultivo del azúcar, que dieron lugar a una producción de 2.354.723 toneladas de azúcar (CAPURRO, 2016).

El consumo aparente en el país es de alrededor de 1,7 millones de toneladas de azúcar y la diferencia se basa en las importaciones y exportaciones.

Balance de azúcar en el país, 2015	
Área sembrada (hectáreas)	232.070
Caña molida (toneladas)	24.205.089
Producción azúcar (toneladas)	2.354.723
Exportaciones de azúcar (toneladas)	725.033
Importaciones de azúcar (toneladas)	61.718

Tabla 30. Balance de azúcar en Colombia 2015 (CAPURRO, 2016)

5.1.3. Productos y subproductos en ingenios azucareros.

La producción de azúcar en Colombia, como se menciona anteriormente, asciende a 2.354.723 toneladas (CAPURRO, 2016). De acuerdo a la bibliografía, los principales consumos de materias primas en los ingenios azucareros los constituyen la sosa caustica, los sulfatos y el calcio (CUE, 2012). Otros consumos minoritarios comprenden otros materiales como floculantes, biocidas o tensioactivos, que no se han tenido en cuenta en este estudio. De cara al balance de masas, tampoco se ha representado el consumo y emisión de agua.

Consumos de materias primas relevantes en los ingenios azucareros de Colombia		ton/100 ton caña de azúcar procesada ³	ton/ton de azúcar producida	ton/año
Proceso	Materia prima			

³ (CUE, 2012)

Consumos de materias primas relevantes en los ingenios azucareros de Colombia		ton/100 ton caña de azúcar procesada ³	ton/ton de azúcar producida	ton/año
Proceso	Materia prima			
Preparación y molienda	Caña de azúcar	-	10,28 ⁴	24.205.089 ³
Calefacción	Calcio	0,08	0,008 ⁵	19.364 ⁴
Sulfitación	Sulfato	0,01	0,039	2.421 ⁴
Lavado	NaOH	0,02	0,0028	4.841 ⁴

Tabla 31. Principales materias primas consumidas por los ingenios azucareros de Colombia

En el proceso de la producción de azúcar se generan diversos productos y subproductos de gran valor añadido, además de energía calorífica y eléctrica que en parte es vendida a otros consumidores.

Salidas	ton/ton caña de azúcar molida	ton/ton azúcar producido	ton/año	Destino
Azúcar	0,097	1	2.354.723	Mercado
Bagazo	0,25	2,57	6.051.272 ⁴	Industria papelera 20%: 1.210.254 t (la bibliografía reporta variaciones entre el 15% y el 25%: 907.690 -1.512.818 ton)
				Energía 80%: 4.841.017 ton (la bibliografía reporta variaciones entre el 75 y el 85%: 5.143.581 t-4.538.454) La combustión del bagazo da lugar aproximadamente 0.016 ton de cenizas por ton de caña procesada ³ : 387.281t
Melaza o Miel C	0,01	0,11	266.537 ⁶	Alcohol, alimentación animal. Debido a su menor contenido en azúcares en una producción dual (azúcar y etanol) en Colombia, su uso para alcohol es menor (LARRAHONDO, 2013).
Miel B	0,06	0,62	1.469.249 ⁷	Sucroquímica, alcohol
Jugo claro	0,01	0,10	242.051 ⁷	Sucroquímica, alcohol
Hojas y residuos	0,007	0,07	171.856	Compost ³

⁴ (CAPURRO, 2016)

⁵ Cálculos propios basados en los ratios de consumo publicados por el consorcio CUE, y los datos sobre producción de azúcar en Colombia en 2015.

⁶ (ASOCAÑA, 2017)

⁷ Cálculos propios basados en los ratios de consumo publicados por el consorcio CUE (2012) y los datos sobre producción de azúcar en Colombia en 2015.

Salidas	ton/ton caña de azúcar molida	ton/ton azúcar producido	ton/año	Destino
del suelo				
Cachaza	0,04	0,43	1.016.614	Compost ³

Tabla 32. Principales salidas de los ingenios azucareros en Colombia y su destino

La melaza o miel final (miel C) es un subproducto final de la elaboración del azúcar de caña. Este subproducto ha sido tradicionalmente utilizado como un sustrato adecuado y económico para la producción de etanol. Sin embargo, en una producción dual (azúcar y etanol) en Colombia, se ha optado por utilizar la miel B, la cual es más rica en azúcares fermentables que la registrada en la miel C o melaza (LARRAHONDO, 2013). Del total de ingenios azucareros, el 35% se deriva a la destilería de etanol y el resto se dedican a la producción de azúcar, en sus diferentes calidades (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2015).

Los ingenios sin destilería continúan llevando la miel B a tercera templa dando lugar a la miel C, con una concentración de sacarosa del 35% y de la cual no se pueden separar más cristales (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2015). Nutricionalmente estos sustratos presentan un altísimo contenido de carbohidratos, además de vitaminas del grupo B y abundantes minerales, entre los cuales se destacan el hierro, cobre y magnesio (LARRAHONDO, 2013).

En este contexto y teniendo en cuenta que no existe información sobre la cantidad de miel C destinada a la producción de etanol, se ha considerado que la materia prima principal para este biocombustible es la miel B, con una concentración media en sacarosa del 50% (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2015).

Destinos principales	Tipo de residuo	ton/año
Compostaje	Hojas y residuos del suelo	171.856
	Cachaza	1.016.614
	Cenizas de caldera	387.281
Alimentación animal	Melaza	266.537 ⁸
Energía	Bagazo	4.841.017
Otras aplicaciones (alcohol, sucroquímica...)	Bagazo	1.210.254
	Miel B	Se desconoce el porcentaje de aplicación para cada caso.
	Jugo claro	

Tabla 33. Principales salidas de los ingenios azucareros en Colombia por aplicación

⁸Se desconoce el ratio de aplicación de melaza para alimentación animal y para otros usos. En este estudio se ha considerado que la totalidad de la melaza se destina a alimentación animal.

Cabe destacar que los ingenios azucareros han instalado sistemas de cogeneración que están dando lugar a la producción y venta de energía eléctrica renovable. Extrapolando valores bibliográficos a la cantidad de caña de azúcar procesada por los ingenios en 2015, se estima que la combustión del bagazo dio lugar a alrededor de 6.220.708 kWh de energía eléctrica en ese año, que fue vendida a otros consumidores (CUE, 2012).

Respecto a las entradas y salidas del país de los productos y subproductos de los ingenios azucareros, además de la importación y exportación de azúcar, en 2015 también se exportaron 64.700 toneladas de melaza (ASOCAÑA, 2017).

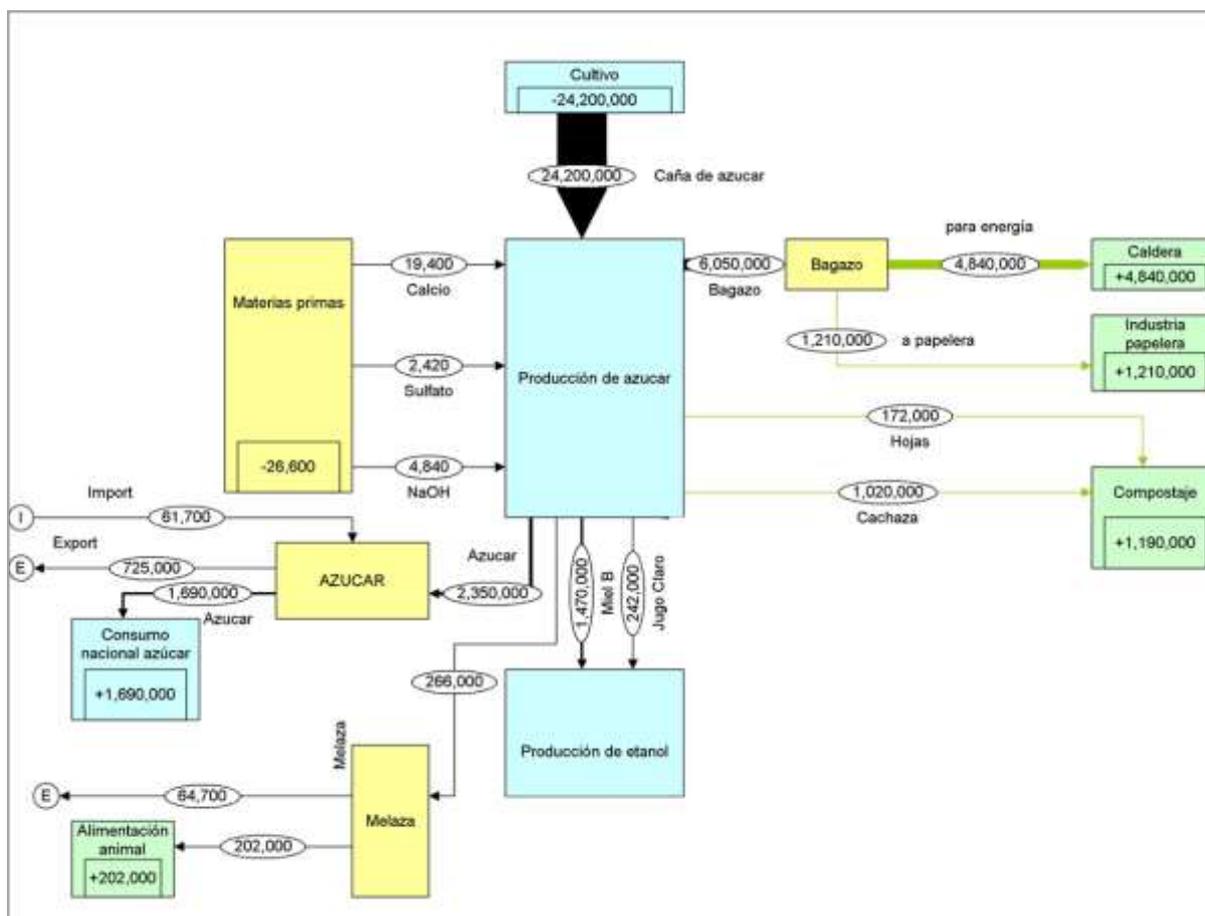


Figura 15. Diagrama de flujos de los ingenios azucareros en Colombia

5.1.4. Productos y subproductos en destilería: bioetanol.

La venta de bioetanol proveniente de caña de azúcar en 2015 ascendió a 370.688 toneladas (468.040 miles de litros), lo que equivale a una producción de etanol de 361.471 toneladas (456.403 miles de litros), teniendo en cuenta la posterior adición de desnaturante (gasolina) para atender el mercado de oxigenación (ASOCAÑA, 2017).

Como se ha mencionado anteriormente, se ha considerado que la producción de bioetanol en la cadena de la caña de azúcar utiliza como materia prima principal la miel B, si bien de acuerdo a

referencias bibliográficas (CUE, 2012) también se ha considerado la utilización de una parte de jugo claro.

En este contexto, se ha realizado una estimación de las principales materias primas consumidas en la producción de bioetanol a partir de caña de azúcar. Teniendo en cuenta las limitadas cantidades consumidas y la ausencia de información, se ha considerado que la totalidad de materiales es de producción nacional.

Materias primas	ton/año
Ácido nítrico	398
Ácido sulfúrico	6.506
Ácido fosfórico	65
Hidróxido de sodio	3.073
Urea	651
Hipoclorito	174

Tabla 34. Principales materias primas consumidas en Colombia para la producción de bioetanol a partir de caña de azúcar (CUE, 2012).

En la producción de etanol se generan otra serie de coproductos y subproductos, que se detallan a continuación:

Salida	ton/ton caña de azúcar molida	ton/ton etanol producido	ton/año	Destino
CO ₂ líquido	0,016	0,0002	5.784	Mercado
Vinaza	0,24	0,004	86.753	Fertilización
Vinaza	2,38	0,036	860.301	Compost
Lodo de tratamiento de aguas (flemazas y condensados)	2,1	0,021	508.307	Compost

Tabla 35. Principales salidas de los ingenios azucareros en Colombia y su destino

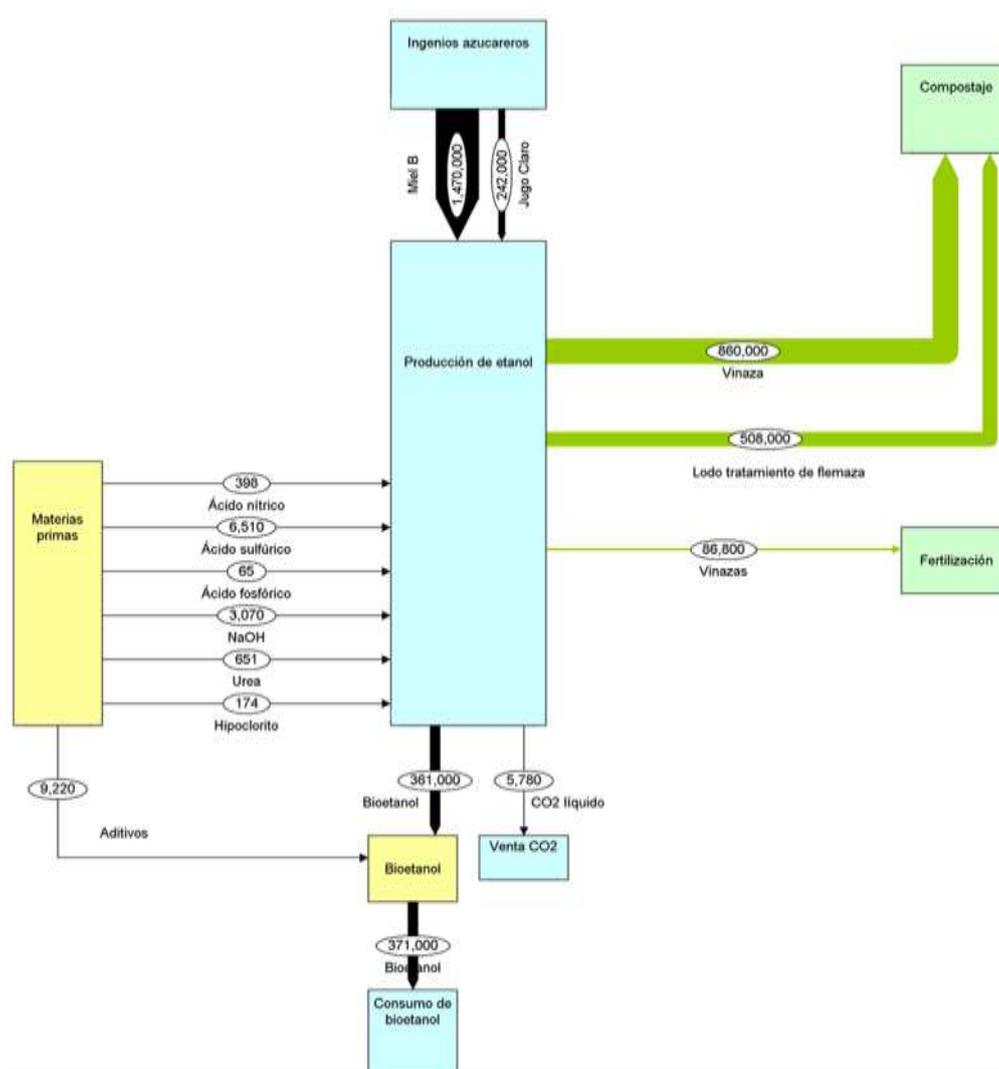


Figura 16. Diagrama de flujos de la producción de etanol a partir de caña de azúcar en Colombia

5.1.5. Visión general de los principales flujos de la cadena de valor de la caña de azúcar.

La siguiente gráfica presenta el diagrama de flujos general de la cadena de valor de la caña de azúcar. En este estudio no ha sido posible cuantificar los flujos destinados a otras aplicaciones como industria sucroquímica, y se han realizado diversas aproximaciones con base en la bibliografía para modelar los diferentes flujos. La ausencia de cuantificación real sobre la gestión de algunos de los subproductos y coproductos impide una cuantificación más exhaustiva.

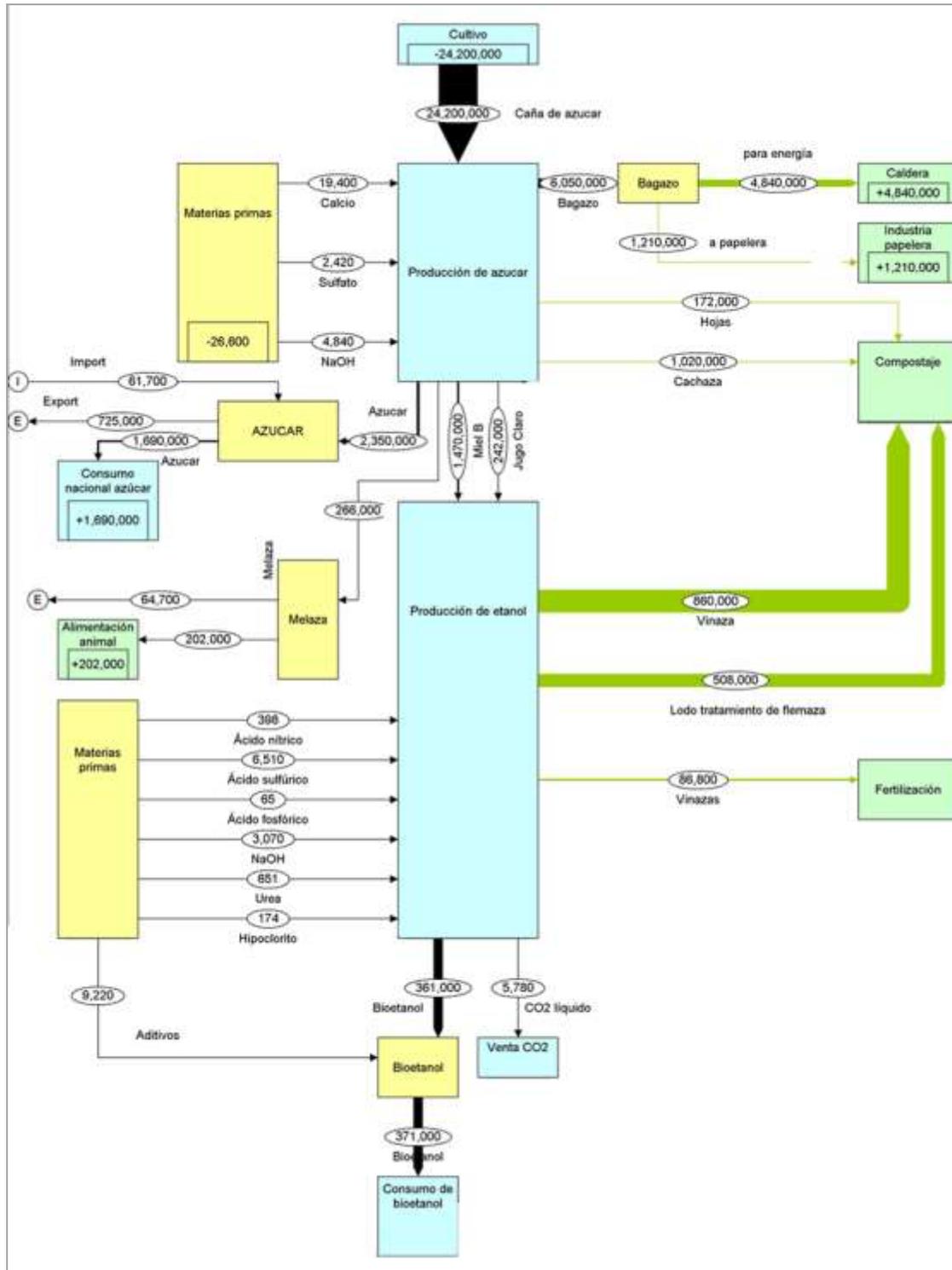


Figura 17. Diagrama de flujos de los principales elementos de la cadena de valor de caña de azúcar en Colombia

5.2. Cemento y concreto

La cadena de valor del cemento y el concreto en Colombia está integrada por los siguientes agentes principales:

- Siete (7) empresas cementeras.
- Específicamente el sector cementero engloba tres principales actores: Argos (Colombia), Holcim (Suiza) y Cemex (México). El primero tiene aproximadamente el 40% del mercado nacional. Le siguen en cuota de mercado CEMEX, HOLCIM y ULTRACEM, y por último otras más pequeñas como SAN MARTÍN, TEQUENDAMA o CEMENTOS ORIENTE.
- Sesenta (60) concreteras
- Un (1) puerto

Estructura simplificada de la cadena

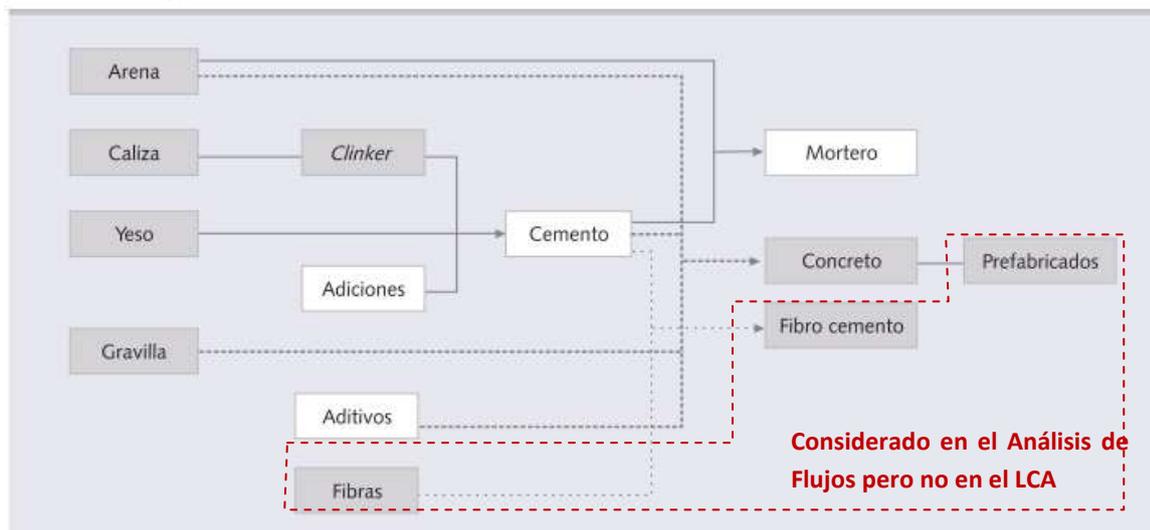


Figura 18. Etapas de la cadena de valor (DNP, 2006)

Las etapas de la producción de fibrocemento y prefabricados no se incorporarán en el Análisis de Ciclo de Vida (LCA, por sus siglas en inglés), ya que su volumen de producción es minoritario. Sin embargo, sí se analizarán los flujos de materia generales para el cierre del balance.

La cadena del cemento incluye 10 eslabones:

- caliza
- yeso
- arena
- gravilla
- clínker
- cemento
- concreto
- asbesto (fibras)
- fibrocemento
- prefabricados.

Dentro de la cadena, la producción de cemento posee la mayor participación (61%), le sigue la producción de concreto y mortero (21%) y posteriormente, la de fibrocemento (6%).

Para el estudio del flujo de materiales en la cadena de valor del cemento y el concreto en la economía Colombiana ha sido necesario realizar un número importante de estimaciones, dada la ausencia de información.

5.2.1. Visión general de los principales flujos de la cadena de valor del cemento en Colombia

La siguiente gráfica muestra los flujos más significativos de materiales en la cadena de valor del cemento y el concreto en Colombia.

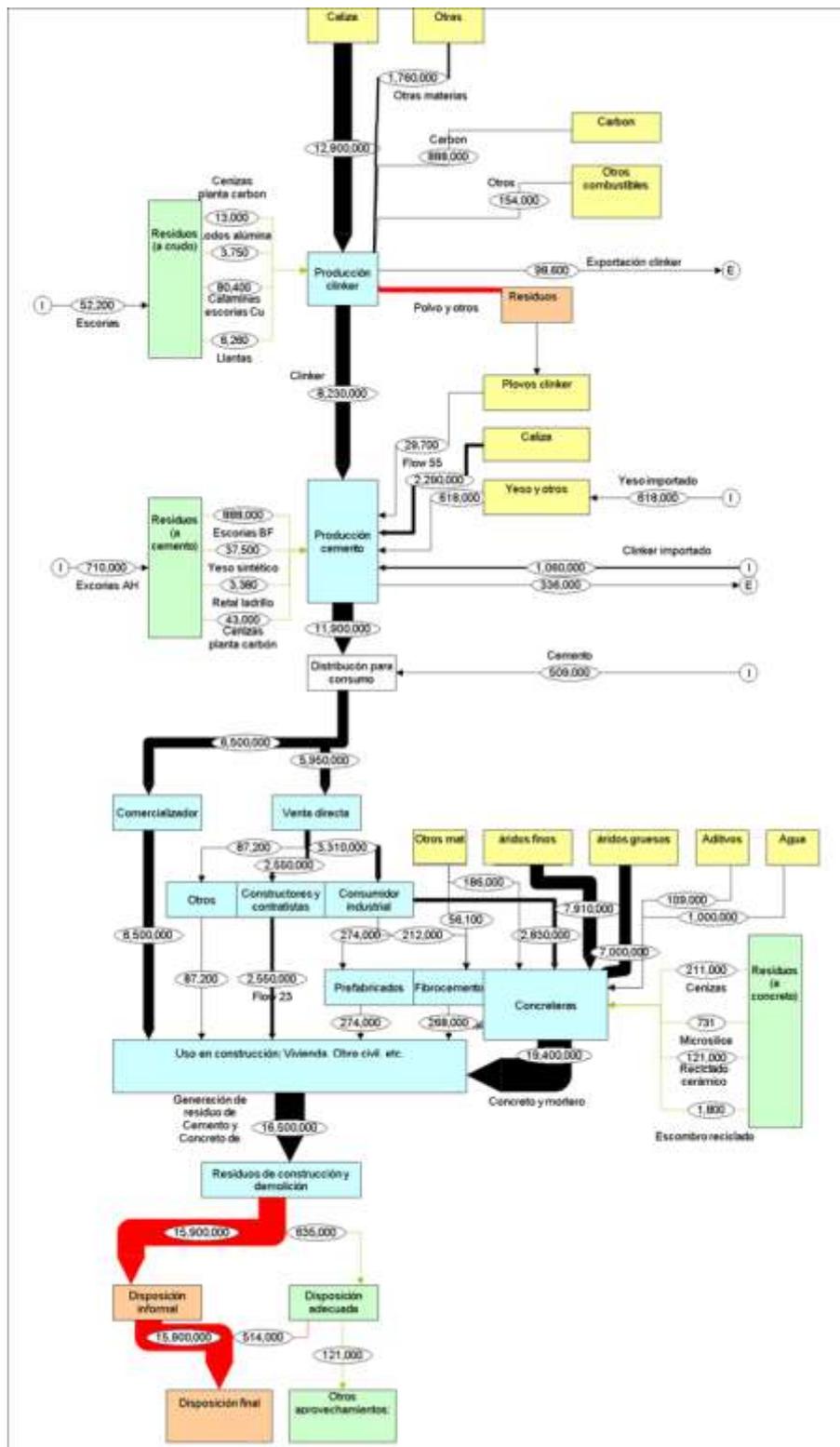


Figura 19. Principales flujos de materiales en el ciclo de cemento y sus derivados en Colombia

Las fuentes de información y las estimaciones para dibujar este diagrama se reflejan en los siguientes apartados. Principalmente se ha partido de datos facilitados por empresas productoras de clínker,

cemento, concreto y mortero así como información publicada por DANE, el Ministerio de Transporte y la Alcaldía de Bogotá.

En la etapa de producción el descuadre del balance de materiales está asociado a las emisiones del proceso. Otras variaciones respecto a los datos detallados que se presentan a continuación se deben al redondeo de los valores.

5.2.2. Flujos de productos de cemento en Colombia

Se ha partido de los datos de producción, despachos nacionales y exportaciones de cemento gris en Colombia para el período Junio 2016 – Mayo 2017 (DANE, 2017).

Datos clave de la producción de cemento en Colombia	Volumen de cemento (ton)	Fuente
Producción de clínker	8.328.647	Calculado a partir de los datos de producción de cemento y clínker importado.
Importación de clínker	1.055.454	Extrapolado a partir de datos para el primer trimestre de 2016 (Transporte, Superintendencia de Puertos y Transporte. Ministerio de Transporte., 2016)
Exportación de clínker	98.550	Extrapolado a partir de datos para el primer trimestre de 2016 (Transporte, Superintendencia de Puertos y Transporte. Ministerio de Transporte., 2016)
Producción de cemento	12.284.100	(DANE, 2017)
Exportación de cemento	335.800	(DANE, 2017)
Importación de cemento	508.870	(Transporte, Superintendencia de Puertos y Transporte. Ministerio de Transporte., 2016)

Tabla 36. Principales datos del Mercado del cemento en Colombia

El clínker que se incorpora a la producción del cemento se ha calculado con base en la proporción clínker/cemento facilitada por las empresas Colombianas entrevistadas en el marco del proyecto, extrapolándose en función de su cuota de mercado. Estos datos se han completado con información sobre importaciones de cemento y clínker en 2016, extrapoladas a partir de los informes para el primer semestre de dicho año (Transporte, Superintendencia de Puertos y Transporte. Ministerio de Transporte., 2016)

Para modelar productividad e insumos en la producción de clínker y cemento, se ha partido de las visitas realizadas a empresas Colombianas, extrapolando los datos facilitados por éstas en función de su cuota de mercado.

La siguiente tabla refleja las entradas clave en la producción de cemento en el escenario actual de Colombia:

Combustibles en cementera	GJ/año	GJ/ton cemento
Combustibles convencionales	38.698.830	3,15
Combustibles alternativos	192.600	0,02
Principales materias primas	ton/ año	ton/ton cemento
Caliza cementera	15.147.430	1,23
Yeso natural y puzolanas	618.232	0,05
Clínker	9.285.551	0,75

Tabla 37. Principales insumos primarios en la producción de clínker y cemento

Respecto al origen de los materiales, se ha estimado que la caliza utilizada proviene de fuentes nacionales (de acuerdo a informes del sector y datos de empresas entrevistadas). No ha sido posible contar con información específica sobre la cantidad de yeso importada, pero teniendo en cuenta que una de las empresas visitadas declaraba importar la totalidad de este material, y que se trata de un recurso habitualmente importado por Colombia, para este estudio se ha considerado que la totalidad del yeso es importado.

Actualmente la industria cementera Colombiana está incorporando residuos, del propio sector y de otros sectores, permitiendo su aprovechamiento. La siguiente tabla refleja la cantidad estimada de residuos actualmente valorizados.

Residuos incorporados en cementera		Total residuos incorporados (t)	kg/ton de cemento
En clínker	Lodo de aluminio	3.748	0,3
	Escorias de cobre y calaminas	80.376	6,5
	Cenizas (volantes y gruesas)	12.993	1,06
	Llantas	6.257	0,5
	Polvos de filtros (CKD-clinker kiln dust)	29.654	2,4
En cemento	Escorias granuladas de horno alto (GGBS)	887.566	72,25
	Retal de ladrillo	3.385	0,28
	Yeso sintético	37.546	3,06
	Cenizas (volantes y gruesas)	42.997	3,50
TOTAL		1.104.522	89,9

Tabla 38. Residuos incorporados en cementera (calculados a partir de los datos facilitados por las empresas consultadas y extrapolados a la producción nacional)

Cabe destacar que la demanda de escorias en el sector es alta, y algunas empresas importan un importante porcentaje, de las escorias que introducen en el proceso (alrededor del 75%).

Con base en esta información es posible simular el flujo de materiales en la producción del cemento, tal y como se refleja en la siguiente figura:

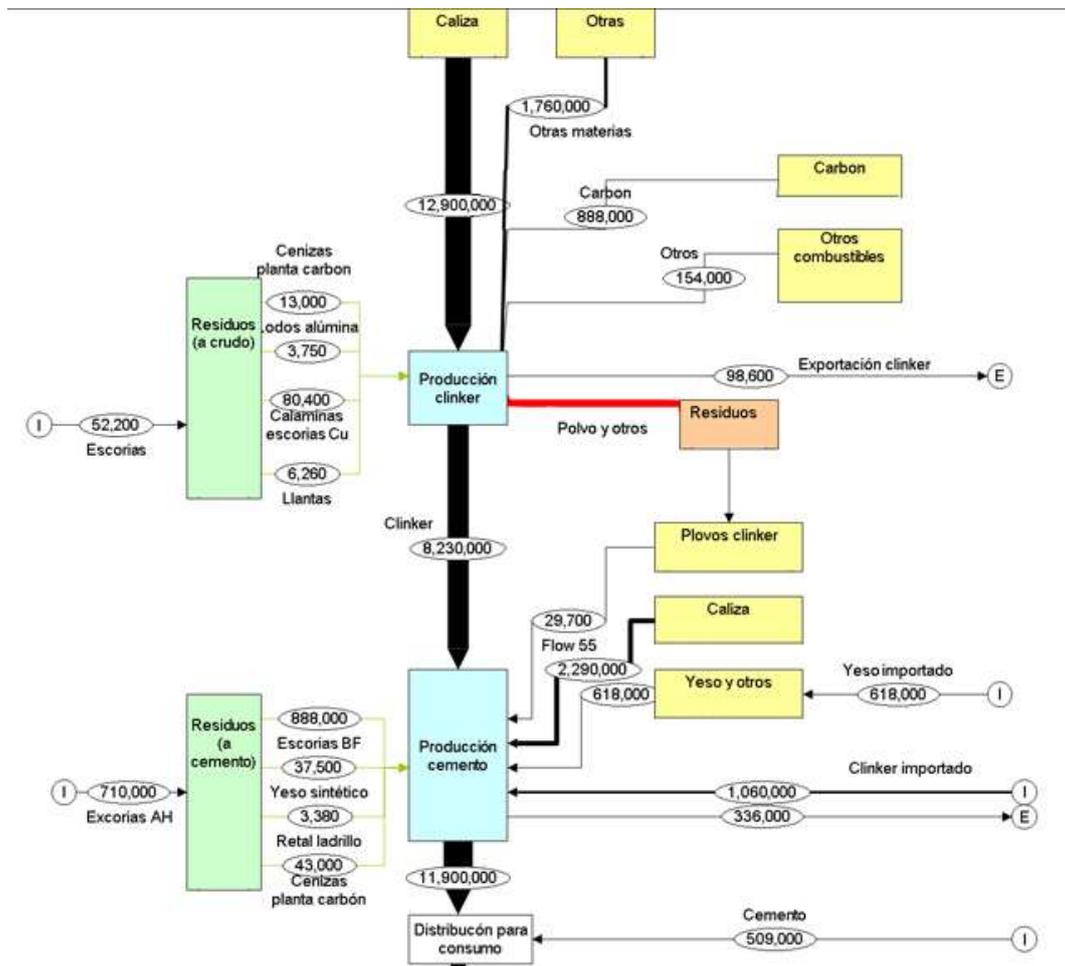


Figura 20. Principales flujos de cemento y clínker en Colombia (I: Importado, E: exportado)

5.2.3. Aplicaciones y consumo de cemento

Las aplicaciones a las que se destina el cemento producido se han definido a partir de la información proporcionada por DANE para el período Junio 2016—Mayo 2017 (DANE, 2017).

Sectores de destino del cemento en Colombia			%
Consumidor	Consumidor industrial	Concreteiras	22,70%
		Prefabricados	2,00%
		Fibrocemento	1,70%
	Constructores y contratistas	20,50%	
	Otros ⁹	0,70%	
Comercializador		52,20%	

Tabla 39. Sectores de destino del cemento en Colombia

⁹ Incluye despachos a gobierno, donaciones, consumo interno y ventas a empleados.

Las concreteteras engloban tanto la fabricación de concreto como mortero (AKTIVA Servicios Financieros, 2016). La siguiente tabla refleja la producción de los diferentes productos de consumidor industrial.

Consumidores industriales de concreto	Cemento destinado a cada consumidor (ton)	Fuente
Concreteteras	2.827.709	Dato global: Desglose basado en la producción anual de concreto y su demanda de cemento.
Prefabricados	274.051	(DANE, 2017)
Fibrocemento	211.767	(DANE, 2017)

Tabla 40. Consumo anual por los clientes industriales de cemento

Derivados del cemento	Producción anual (ton)	Fuente
Concreto	19.371.527	El global se ha calculado a partir del cemento destinado a esta aplicación (DANE, 2017), y con base en los datos sobre consumo de cemento recabados de empresas de producción de concreto y mortero. Los datos desglosados se han basado en la producción de concreto publicada por DANE.
Mortero		
Prefabricados	274.051	Calculado a partir del consumo de cemento de la industria, y los datos bibliográficos referentes al cociente insumo/producto. (ECOINVENT V3.3, 2016)
Fibrocemento	211.767	Calculado a partir del consumo de cemento de la industria, y los datos bibliográficos referentes al cociente insumo/producto. (ECOINVENT V3.3, 2016)

Tabla 41. Estimación de producción anual de derivados del cemento

Para analizar el flujo de entradas y salidas en los procesos de las instalaciones de consumidores industriales, no ha sido posible contar con datos primarios para todos los casos. En el caso del fibrocemento y los prefabricados no se dispone de información primaria en lo referente a los procesos productivos. Teniendo en cuenta que estos productos son minoritarios en términos cuantitativos, no se ha avanzado en pormenorizar el flujo de materiales en dichos procesos. En el caso de la fabricación de concreto y mortero, la información sobre insumos, residuos y consumos ha sido facilitada por tres empresas clave de Colombia, y han sido extrapolados en función de su cuota de mercado.

A continuación se detallan las principales materias primas y materiales alternativos utilizados en concreteteras.

Materiales primarios consumidos	ton/año	ton/ton producto de concretera
Agua	1.000.806	0,05
Agregado finos (arenas)	7.913.780	0,4
Agregados gruesos (gravas)	6.999.985	0,36
Cemento	2.827.709	0,14
Aditivos	108.992	0,006
Otros	186.348	0,01
Total materiales primarios	19.037.620	0,98
Materiales alternativos	ton/año	ton/ton producto de concretera
Escombros reciclados: grava y arena	1.804	0,0001
Cenizas	210.832	0,011
Microsílice	731	0,0004
Reciclado cerámico	120.541	0,06
Total materiales alternativos	333.908	0,02

Tabla 42. Principales insumos en concreteras¹⁰

Es necesario destacar también que en ausencia de información específica, y considerando los recursos disponibles en el país, se ha asumido que la totalidad de los agregados y fibras son de producción nacional. Además, como ya se ha mencionado, no ha sido posible contar con información sobre importación/exportación de fibrocemento, prefabricados, concreto y mortero.

Respecto a la generación de residuos, en la producción de concreto ésta es prácticamente nula. Con relación a la producción de prefabricados y fibrocementos, no se dispone de información suficiente para estimar el volumen de residuos generados; sin embargo, no se espera que sea relevante, dado el escaso volumen de estos productos en el mercado colombiano.

¹⁰ Datos de partida provenientes de fuentes industriales colombianas, y escalados a nivel nacional.

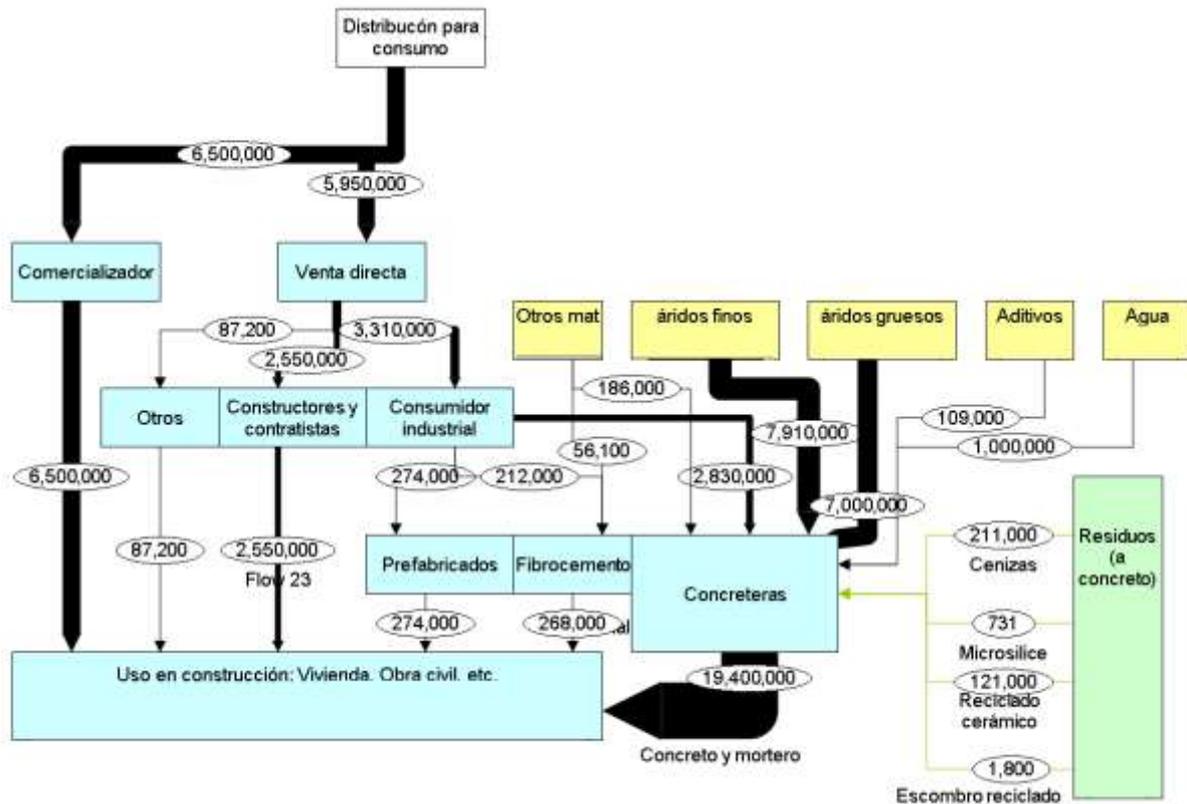


Figura 21. Aplicaciones y consumo de cemento en Colombia

5.2.4. Residuos de Construcción y Demolición

Por último, la principal generación de residuos de estos materiales se da en la etapa de construcción y demolición. Se estima que Colombia genera aproximadamente 22.000.000 toneladas de residuos de construcción y demolición (RCDs), de los cuales el 75% son escombros (GUARÍN CORTÉS, 2013). En una aproximación preliminar, y de cara a la cuantificación del proyecto, se equiparará la cantidad de residuos de concreto y mortero a la cantidad de escombros, lo que da una generación de 16.500.000 toneladas.

A la hora de cuantificar las fracciones recuperadas y recicladas de RCDs se han tenido en cuenta los valores reportados por iniciativas puestas en marcha en grandes ciudades. Medellín reporta controlar alrededor del 5% de los RCDs (MONTROYA VILLARREAL, 2015). Se ha asimilado este valor a un dato de recogida, y se ha extrapolado al resto del país, teniendo en cuenta que un 23% de los habitantes vive en áreas rurales, y en este caso la recogida se ha considerado nula. Estos datos llevan a una recogida de residuos de cemento y concreto en RCDs de 635.250 toneladas. El resto de los RCDs se considera que son depositados de forma incontrolada.

En ciudades como Bogotá se ha conseguido reutilizar en obra el 19.06% de los RCDs controlados (MONTROYA VILLARREAL, 2015). Extrapolando este valor a la totalidad de residuos de cemento y

concreto que se estima que se recogen en Colombia, actualmente podrían estar reutilizándose en obra 121.078 toneladas de concreto y cemento.

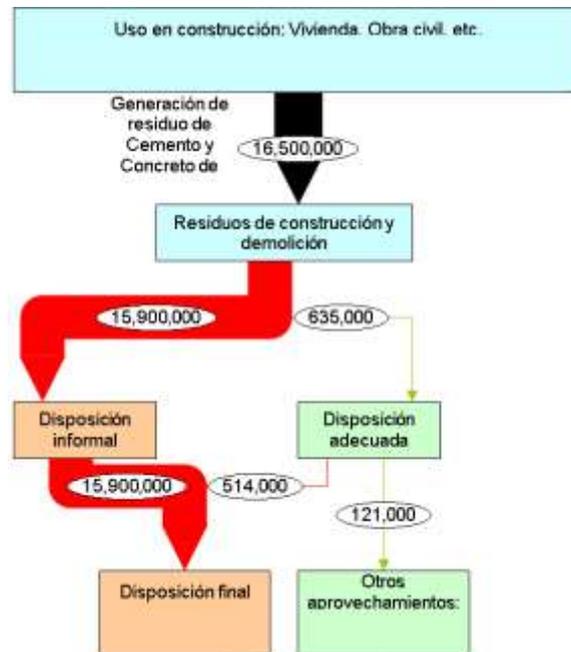


Figura 22. Generación y tratamiento de residuos de cemento y hormigón en Colombia

En la producción de cemento y sus derivados se ha identificado que se incorpora una pequeña fracción de RCDs:

	Materiales alternativos	ton/año
Concreteiras	Escombros reciclados: grava y arena	1.804
	Reciclado cerámico	120.541
Cementerías	Retal de ladrillo	3.385

Tabla 43. Otros RCDs incorporados en el ciclo del cemento y sus derivados (fuente CEMA, 2015).

5.3. Polímeros

En este apartado, a diferencia del resto, no se ha considerado la etapa de producción de polímeros en refinerías, puesto que los procesos se encuentran muy optimizados y en consecuencia se puede considerar que los residuos sólidos generados son muy reducidos o despreciables. En las plantas más optimizadas, por cada tonelada de polímero se genera 1 kg de residuos, que se considera despreciable (ver apartado 4.4.3 para más detalles).

Los principales datos de partida para el análisis de flujo de los polímeros en Colombia se basan en los datos facilitados por ACOPLASTICOS para el año 2015 (ACOPLÁSTICOS, 2017c). Estos datos han sido completados con información facilitada por diferentes entidades visitadas en Colombia, estudios específicos y cálculos propios.

El análisis de flujos que se presenta se centra en 6 polímeros considerados prioritarios, al tratarse de los polímeros de mayor consumo aparente, tal y como se reflejan en la siguiente tabla.

Tipo de actividad	Consumo aparente 2015 (toneladas)
Polietileno de baja densidad	259.000
Polietileno de alta densidad	160.000
Polímeros de polipropileno	240.000
Poliestirenos	78.000
Policloruro de vinilo	220.000
Resinas PET para envases y láminas	163.000
Resinas de polyester insaturadas	20.000
Otras resinas	60.000
TOTAL	1.200.000

Tabla 44. Consumo aparente de las principales resinas plásticas (ACOPLÁSTICOS, 2017c)

5.3.1. Visión general de los principales flujos de la cadena de valor del plástico en Colombia

La siguiente tabla resume los principales flujos de materiales en la cadena de valor de los 6 polímeros más representativos en la economía Colombiana.

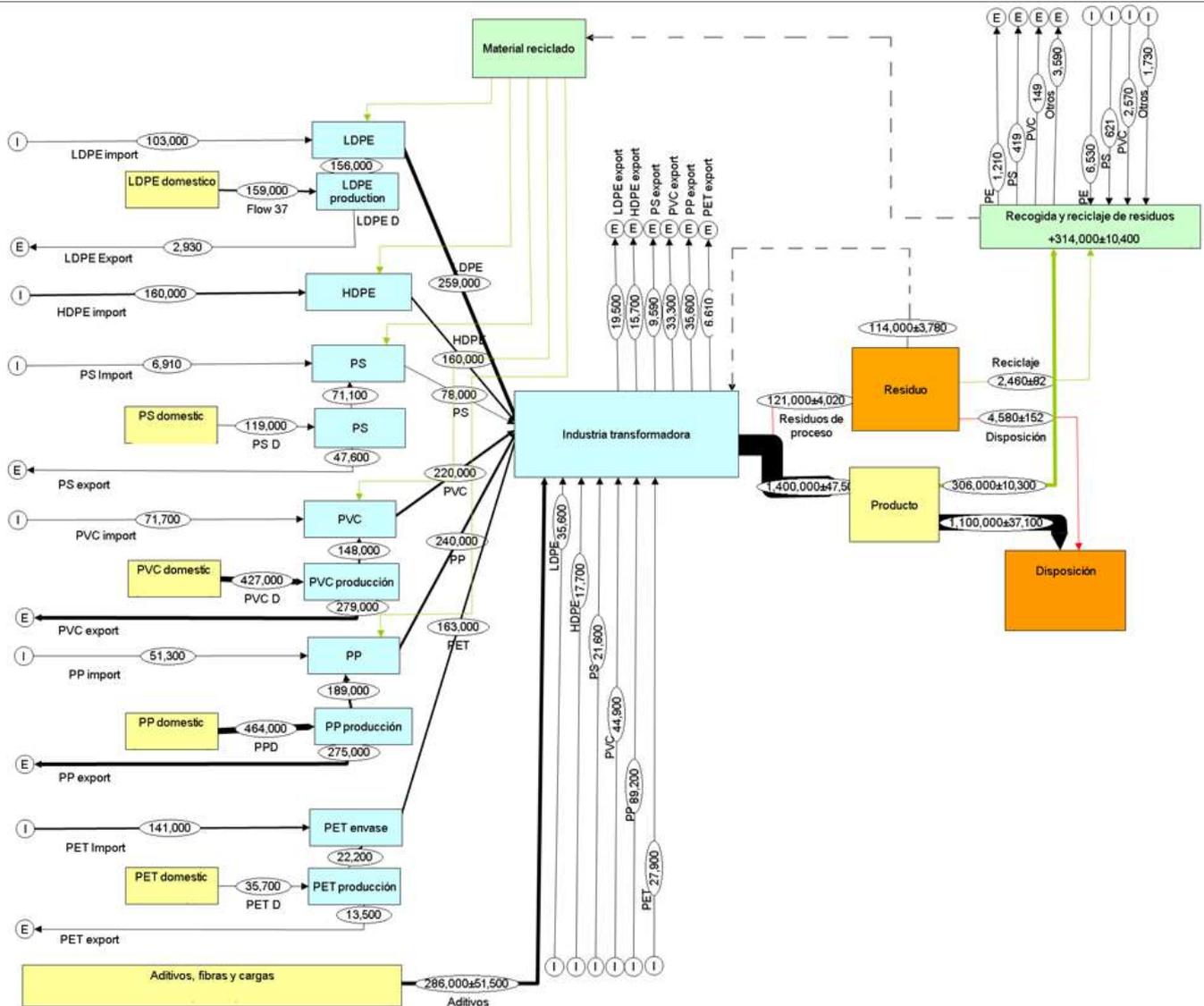


Figura 23. Flujo de los principales polímeros en la economía colombiana

En los siguientes apartados se indican las fuentes de información utilizadas, así como los diferentes cálculos y estimaciones realizadas. Es necesario tener en cuenta que el gráfico incluye cifras redondeadas, y en algunos casos datos medios que reflejan la variabilidad de valor y su desviación estándar.

5.3.2. Producción, importación y exportación de polímeros

Colombia cuenta con una importante capacidad productiva de polímeros. La siguiente tabla muestra la capacidad instalada para la producción de resinas plásticas en Colombia. Como se puede observar, la capacidad instalada corresponde a cinco de los polímeros analizados en este estudio (Policloruro de Vinilo, Polietileno de baja densidad, Resina PET para envases y láminas y polímeros de Polipropileno).

Tipo de actividad	Capacidad instalada (2015) (ton)
Policloruro de vinilo	482.000
Poliestirenos	110.000
Polietileno de baja densidad	66.000
Resinas PET para envases y láminas	55.000
Polímeros de polipropileno	500.000
Resinas de poliéster insaturadas	60.000
Otras resinas	55.000
TOTAL	1.328.000

Tabla 45. Capacidad instalada para la producción de resinas plásticas en Colombia (ACOPLÁSTICOS, 2017c)

La capacidad instalada ha aumentado en los últimos años, principalmente por la ampliación de la producción de policloruro de vinilo. No existe oferta de producción nacional de polietileno de alta densidad (ACOPLÁSTICOS, 2017c).

De acuerdo al balance entre consumo, importación y exportación, la producción de resinas en Colombia corresponde a los datos que se reflejan en la siguiente tabla.

Resina	Consumo (ton)	Producción (ton)	Import resina (ton)	Export resina (ton)
Polietileno de baja densidad	259.000	159.072	102.848	2.920
Polietileno de alta densidad	160.000	0	160.216	216
Polímeros de polipropileno	463.855	455.555	51.324	275.179
Poliestirenos	78.000	118.712	6.909	47.621
Policloruro de vinilo	220.000	427.267	71.741	279.008
PET para envase y láminas	163.000	35.673	140.804	13.477

Tabla 46. Balance de consumo, importación, exportación e importación de resinas en origen, excluyendo productos fabricados y semifabricados. (ACOPLÁSTICOS, 2017c)

La planta de producción de polietileno de baja densidad no es suficiente para cubrir la demanda de esta resina, por lo que un alto porcentaje de la demanda, así como otros polietilenos, se atiende con producto importado.

La planta de producción de polipropileno permite obtener una amplia gama de referencias en homopolímeros y copolímeros. Las compras externas, al igual que sucede con otros materiales comprenden contratipos distintos a los ofrecidos por el fabricante local, y productos que le compiten en precio.

La producción propia de resinas de PVC es suficiente para atender en volumen y variedad la mayor parte de la demanda doméstica de los respectivos materiales. Las importaciones comprenden referencias no fabricadas en el país y algunas cantidades de productos similares.

Para los poliestirenos, que engloban los poliestirenos expandibles, de propósito general y de alto impacto, existen en el país instalaciones industriales de los dos últimos tipos, con capacidades

nominales de producción que sobrepasan las necesidades del mercado doméstico. De nuevo, las importaciones de poliestirenos comprenden tanto materiales distintos de los producidos internamente como otros de características equivalentes.

Las resinas de PET para envases y láminas se fabrican en el país con las calidades requeridas para la elaboración de envases retornables y no retornables y otros recipientes termoformados. La misma planta industrial permite la producción de las resinas PET utilizadas en la industria plástica y en aplicaciones textiles.

A continuación se muestra el flujo de los principales polímeros en la economía Colombiana.

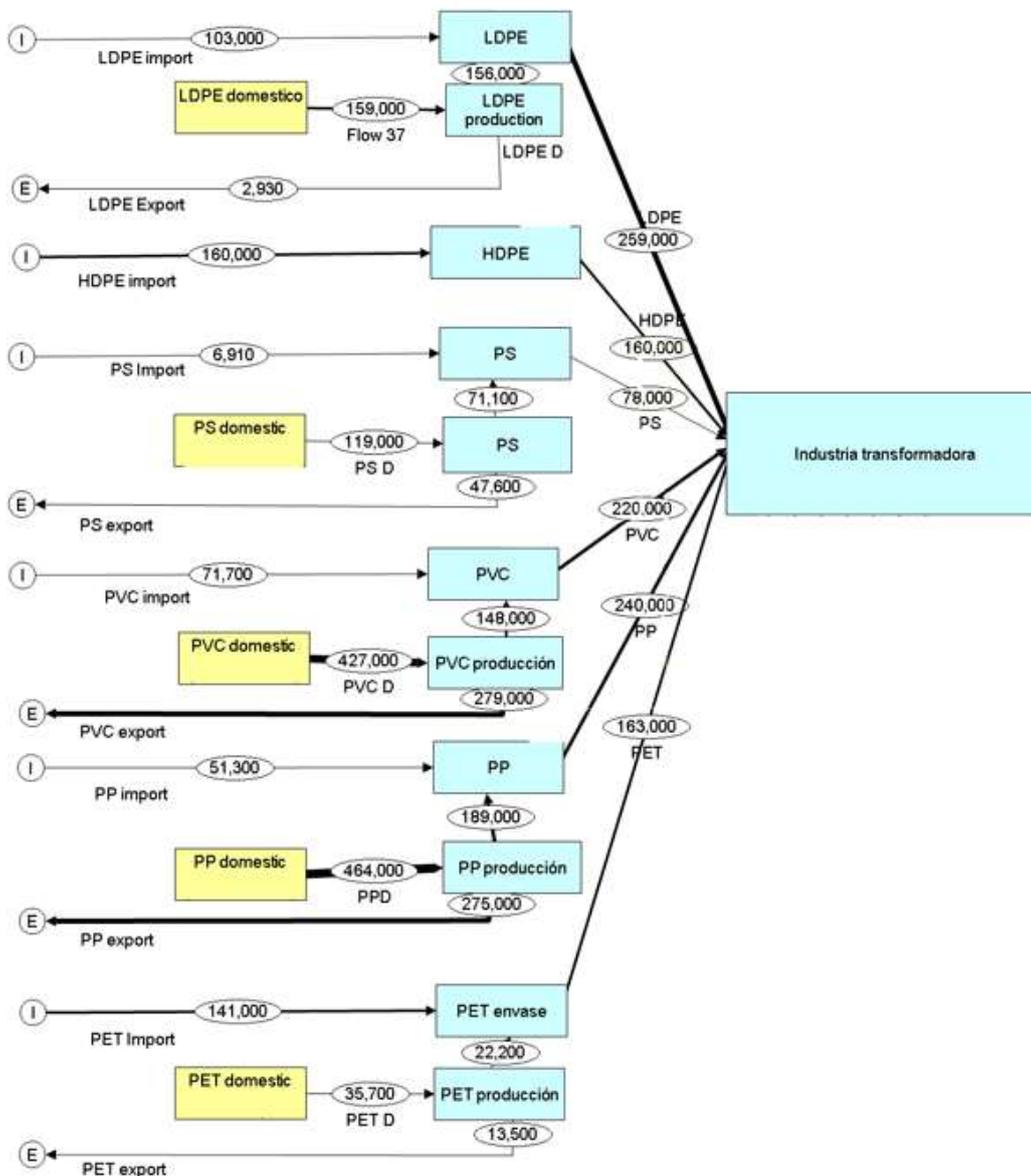


Figura 24. Principales flujos de resinas en Colombia.

5.3.3. Transformación de polímeros y etapa de uso

El principal sector consumidor de materias plásticas, según la clasificación facilitada por Acoplásticos, es el sector de envase y embalaje.

Sector de consumo	%	ton
Empaques y envases para productos alimenticios, productos de higiene y aseo, productos industriales, lubricantes	56%	672.000
Construcción: tubería, accesorios, pisos, tejas, perfiles, cables, bañeras	22%	264.000
Institucional/consumidor: calzado, cepillos, escobas, artículos de mesa y cocina, colchones, muebles.	6%	72.000
Agricultura: película para invernaderos, acolchados y telas sombra, mangueras y tubos	9%	108.000
Otros: láminas, partes industriales y para industria automotriz, deportes y varios	7%	84.000

Tabla 47. Principales sectores consumidores de materiales plásticas. (ACOPLÁSTICOS, 2017c)

Los principales procesos a los que se destinan los polímeros en el país son los siguientes:

Polímeros	Extrusión	Inyección	Soplado	Otros
Polietileno de baja densidad	93%	3%	2%	2%
Polietileno de alta densidad	35%	35%	25%	5%
Polímeros de polipropileno	65%	25%	5%	5%
Poliestirenos	80%	18%		2%
Policloruro de vinilo tipo suspensión	76%	20%		4%
Policloruro de vinilo tipo emulsión				100% ¹¹
PET para envase y láminas	5%	95% ¹²		

Tabla 48. Principales procesos a los que se destinan los polímeros en el país. (ACOPLÁSTICOS, 2017c)

Se ha considerado que en la transformación de resinas también se adicionan diferentes aditivos, cargas y fibras. El porcentaje en el que se adicionan oscila entre 6 y el 45%.

Es necesario tener en cuenta, sin embargo, que en las etapas de transformación y uso también se incorporan los productos semiterminados y terminados del consumo internacional, que se han cuantificado en este estudio a partir de los datos de importaciones y exportaciones de productores terminados facilitados por Acoplásticos. Se debe recalcar, no obstante, que no están cuantificados diversos materiales como los envases de otros productos adquiridos (por ejemplo, alimentos importados), que finalmente se incorporarán a la corriente de residuos dentro del país.

Partiendo de los datos de importación y exportación de productos plásticos, se ha estimado la composición media de dichos productos, para así cuantificar de forma estimada el flujo de los principales polímeros.

¹¹ 87% recubrimiento, 13% inmersión/moldeo/otros

Flujo internacional (ton)	LDPE	HDPE	PP	PVC	PET	PS
Importación	35.591	17.718	89.209	44.875	27.878	21.597
Exportación	19.443	15.679	35.561	33.295	6.614	9.590

Tabla 49. Estimación del flujo internacional de polímeros en los productos semiterminados y terminados

Es necesario recalcar que, al margen de las estimaciones realizadas a partir de los datos estadísticos existentes, existen además otras entradas de materiales que no están contabilizadas, como por ejemplo embalajes plásticos de otros productos importados o plásticos en otros productos (aparatos eléctricos y electrónicos, automóviles, etc.). Por este motivo, es de esperar que el volumen de plásticos introducido en el país en forma de producto terminado sea aún mayor.

¹² Inyección-soplado

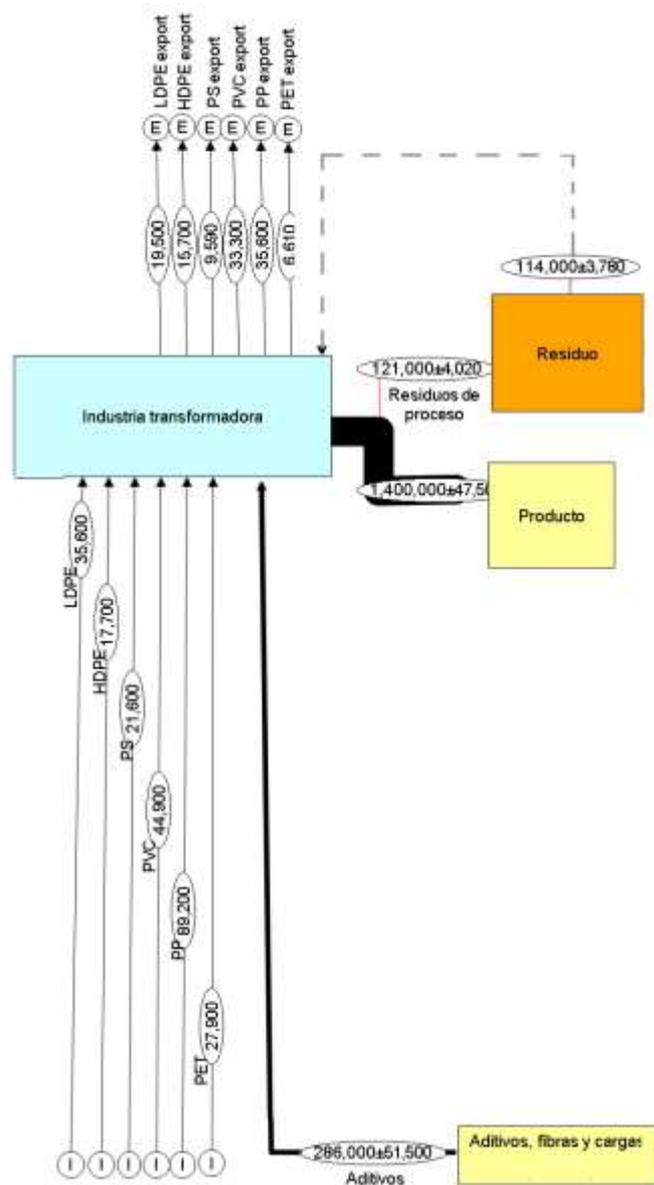


Figura 25. Principales flujos en la transformación de polímeros en Colombia.

5.3.4. Generación de residuos post-industriales y post-consumo

No existe un inventario de generación de residuos plásticos post-consumo o post-industria. En el marco de este estudio se ha considerado la siguiente generación de residuos plásticos (incluyendo cargas y aditivos).

Residuos plásticos generados	ton/año
Post-industrial	7.042
Post-consumo	1.401.737
Total	1.408.779

Tabla 50. Generación estimada de residuos post-industriales y post-consumo

Estos valores se han calculado analizando diversas fuentes de datos y estimaciones existentes, tal y como se resume a continuación.

A modo de aproximación, cabe constatar que en Europa se generaron en 2014 25.800.000 toneladas de residuos plásticos post-consumo (PLASTICS EUROPE, 2016), lo que equivale a unas tasas de 0,54 toneladas de residuo generado por tonelada de plástico consumido y 0,05 toneladas de residuo por habitante. Extrapolando estos datos a la realidad Colombiana las cifras muestran gran variabilidad. El cálculo basado en el consumo arroja un valor de 645.000 toneladas de residuos plásticos post-consumo. Esta cantidad supone aproximadamente el 55% de la cantidad consumida en Colombia, y es equiparable también a la cantidad de polímeros consumidos en la elaboración de envases en el país, por lo que parece extremadamente conservadora. La estimación basada en la tasa por habitante arroja una producción de residuos de 2.356.109 toneladas, lo que también parece excesivamente elevado.

Ante la ausencia de información detectada, se ha optado por asimilar la cantidad de plásticos producidos (incluyendo potenciales aditivos, fibras y cargas) a la cantidad de residuo post-consumo generada, con lo que se estima que se generan 1.401.737 toneladas de residuos.

En cuanto a los residuos post-industriales, las estadísticas de DANE reflejan que los residuos plásticos generados por la industria manufacturera en 2014 fueron 7.042 toneladas (DANE, 2017b), si bien esta cifra varía sustancialmente de datos de años anteriores (98.911 toneladas en 2013 (DANE, 2015)) De hecho, de acuerdo a las bases de datos de Análisis de Ciclo de Vida de reconocimiento internacional (ECOINVENT V3.3, 2016), y considerando los procesos de transformación reportados por Acoplásticos (ACOPLÁSTICOS, 2017c), se estima que se podrían generar 120.765 toneladas de residuos en la transformación. Sin embargo, una importante cantidad de estos residuos es reincorporada al proceso. De acuerdo a Acoplásticos (ACOPLÁSTICOS, 2017b) el 62.64% de 30 empresas encuestadas reincorpora sus mermas plásticas al proceso productivo, si bien la experiencia del sector en el país indica que la práctica totalidad de los residuos plásticos de la producción se reincorporan al proceso. En este contexto, se ha optado por considerar el dato de generación de residuos plásticos post-industria de 7.042 toneladas.

La composición de residuos post-industriales generados podría estimarse como se refleja en la siguiente figura.

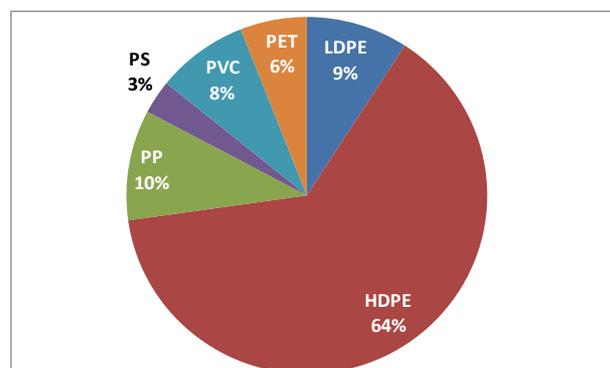


Figura 26. Aproximación a la composición de la corriente de residuos plásticos industriales, con base en datos de consumo

5.3.5. Residuos post-industriales y post-consumo

De acuerdo a datos correspondientes al año 2010, los plásticos constituyen el 11,15% de los materiales recuperados en Colombia, estando en tercer lugar por debajo del metal y el papel/cartón (ALUNA CONSULTORES LIMITADA, 2011). Este dato se basa en la demanda de materiales reciclados adquiridos por la industria.

Materiales recogidos	%
Metal	49,75%
Papel y cartón	35%
Plástico	11,15%
Vidrio	4,09%

Tabla 51. Contribución relativa de los diferentes materiales recogidos

Recogida y reciclaje de residuos post-industriales y post-consumo

La cantidad de residuos plásticos que se recoge en Colombia se estima en un 27,5% del consumo aparente de resinas plásticas vírgenes consumidas en el país (ALUNA CONSULTORES LIMITADA, 2011). De acuerdo al consumo aparente de 2015, se puede estimar que la recogida de material plástico es aproximadamente de **330.000 toneladas**, siendo **308.000 toneladas** aproximadamente las que corresponderían a los polímeros analizados.

A nivel post-industrial, la encuesta realizada por Acoplásticos (ACOPLÁSTICOS, 2017b) permite estimar que el 35% de los encuestados declara comercializar/entregar los residuos plásticos aprovechables que genera. Con base en esta estimación se puede calcular que se reciclan alrededor de **2.465 toneladas** de residuos post-industriales poliméricos, aproximadamente.

Residuo recuperado para reciclaje	ton/año
Post-industrial	2.465
Post-consumo	305.535
Total (aproximado)	308.000

Tabla 52. Estimación de residuos post-industriales y post-consumo

Es necesario añadir, por último, que aunque no ha sido posible reflejarlo cuantitativamente, en el contacto con agentes recicladores de Colombia se ha detectado la posibilidad de aumentar el rendimiento de los proceso de reciclaje mejorando la calidad del material de entrada en el proceso, Para ello es necesario mejorar la separación y tratamiento de los residuos, en lo cual inciden varios aspectos:

- La capacitación del personal de recogida, de forma que cuenten con conocimientos más adecuados para segregar residuos y minimizar fracciones que dificultan el reciclaje de la corriente residual principal. Incorporación de sistemas de alta velocidad (como por ejemplo *Near Infra Red - NIR*) para la separación de diferentes polímeros. Estos sistemas permiten obtener una corriente material de alta calidad. Estudios independientes han demostrado

además que los sistemas de separación automáticos permiten reducir el 25% del coste (PETCORE).

- Ecodiseño de materiales plásticos: sustitución/minimización de sistemas PET multicapa y otros elementos que dificulten la reciclabilidad.

Importaciones y exportaciones de residuos

El inventario de materiales plásticos residuales utilizados por la industria incluye también los materiales reciclados importados de otros países.

Materiales recogidos	Exportaciones 2015	Importaciones 2015
Desechos, recortes y desperdicios de polímeros de etileno	1.208	6.529
Desechos, recortes y desperdicios de polímeros de estireno	419	621
Desechos, recortes y desperdicios de polímeros de cloruro de vinilo	149	2.572
Desechos, recortes y desperdicios de los demás plásticos	3.586	1.733
TOTAL	5.361	11.456

Tabla 53. Flujo internacional de residuos plásticos (ACOPLÁSTICOS, 2017a)

Para este estudio se ha estimado que la exportación de PET es inexistente, ya que la principal empresa recicladora del país presenta una creciente demanda de material que suple con importaciones. Sin embargo, no aparece desglosada la cifra de importación de PET. Así mismo, se considera que la cifra referente a importación a desechos de polímeros de estireno corresponde en su totalidad a poliestireno. Tampoco se ha considerado la exportación de residuos de polipropileno por no contar con información específica.

Residuos plásticos	Exportaciones 2015	Importaciones 2015
PE	1.208	6.529
PS	419	621
PVC	149	2.572
TOTAL	1.775	9.722

Tabla 54. Tabla adaptada referente al flujo internacional de residuos plásticos

Información por polímeros

En cuanto a la recogida y reciclaje de los polímeros, existe poca información cuantitativa.

- En Colombia existen empresas dedicadas al reciclaje de los 6 polímeros analizados en este estudio (ACOPLÁSTICOS, 2017a).
- EL PET es el polímero más reciclado en Colombia, con una tasa de reciclaje de alrededor del 30% en Colombia, según las fuentes empresariales consultadas. Los principales recicladores

de botellas de PET en Colombia reciclan alrededor de 45.000 toneladas al año (incluyendo PET importado).

- Fuentes industriales estiman que 99% de todo los residuos post industriales de PVC se convierte en productos. En cuanto al PVC post consumo, en Colombia se reciclan alrededor del 7% del consumo nacional de PVC (MEXICHEM COLOMBIA), que de acuerdo a datos del 2017 correspondería a 15.400 toneladas.
- El poliestireno expandido representa el 0,2% de los materiales plásticos reciclados en Colombia (BETANCOURT-S., 2016).

Asimismo, las empresas encuestadas por Acoplásticos introducen en el proceso materiales industriales procesados en un 20%. De acuerdo a esta encuesta, de los materiales reciclados comprados por las empresas para su incorporación en el proceso, el PEAD y el PP son los más frecuentes.

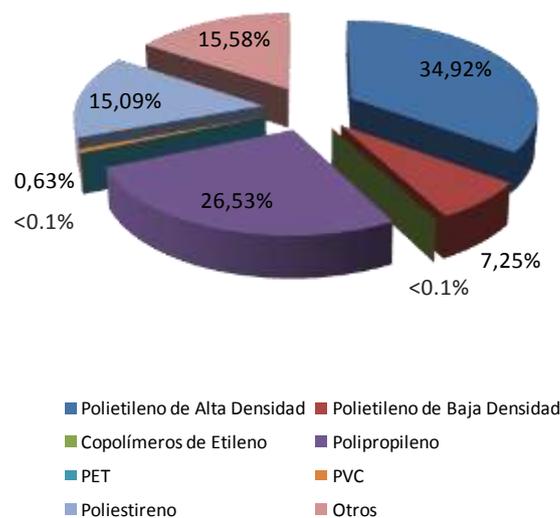


Figura 27. Polímeros reciclados comprados por las empresas (ACOPLÁSTICOS, 2017b)

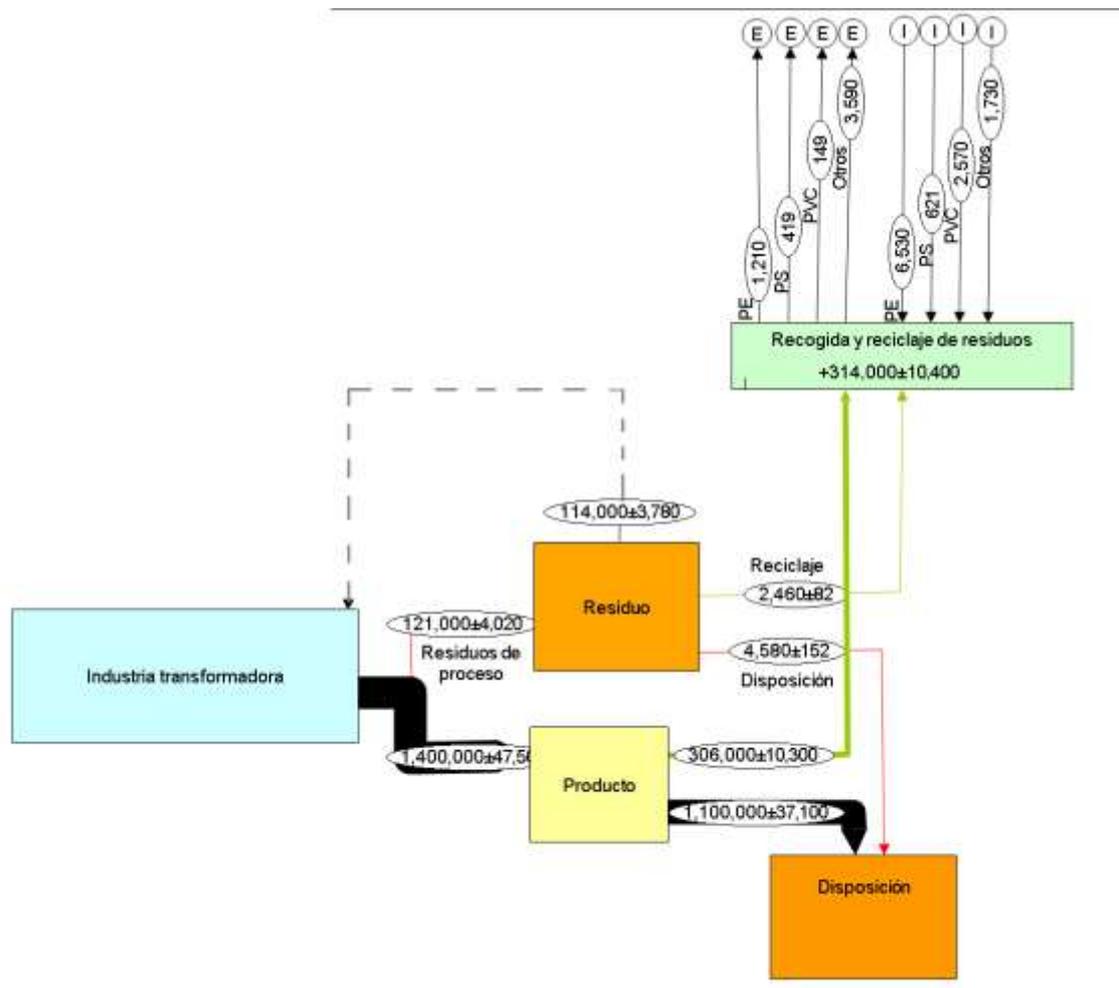


Figura 28. Flujo de los principales polímeros en la etapa de transformación y fin de vida.

Las posibles desviaciones en la tabla para el balance de materiales están asociados al redondeo de las cifras y a la variabilidad (introducida como desviación estándar) del contenido en aditivos.

5.4. Acero

La cadena de valor de la siderurgia y metalmeccánica es la más representativa dentro del sector metal. Esta cadena de valor la integran empresas siderúrgicas, metalúrgicas y del sector metalmeccánico.

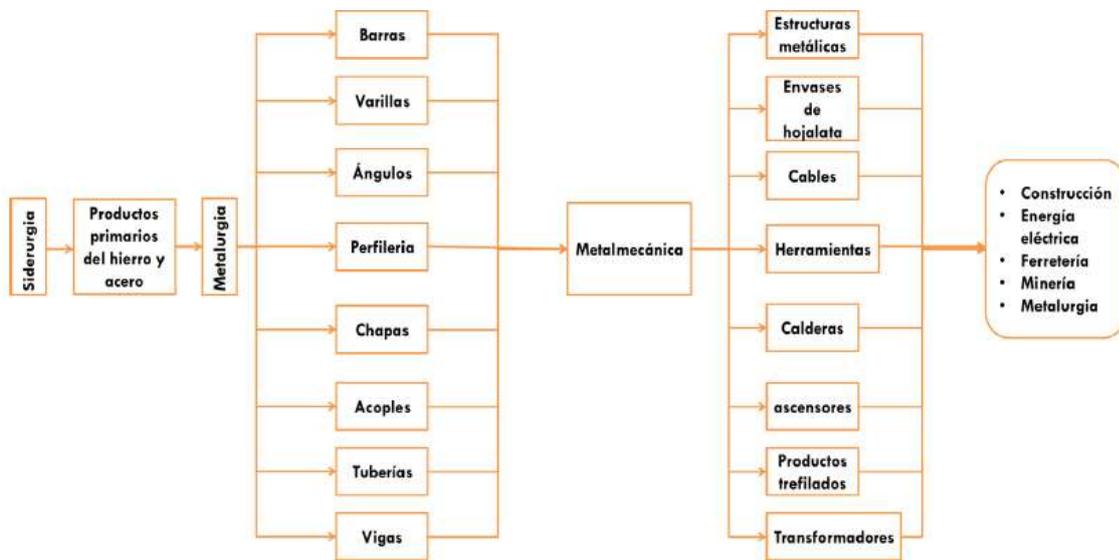


Figura 29. Etapas de la cadena de valor (AKTIVA servicios financieros, 2013)

La Figura 30 resume los principales productos derivados del hierro y el acero en Colombia, diferenciando las etapas de producción presentes en el país.

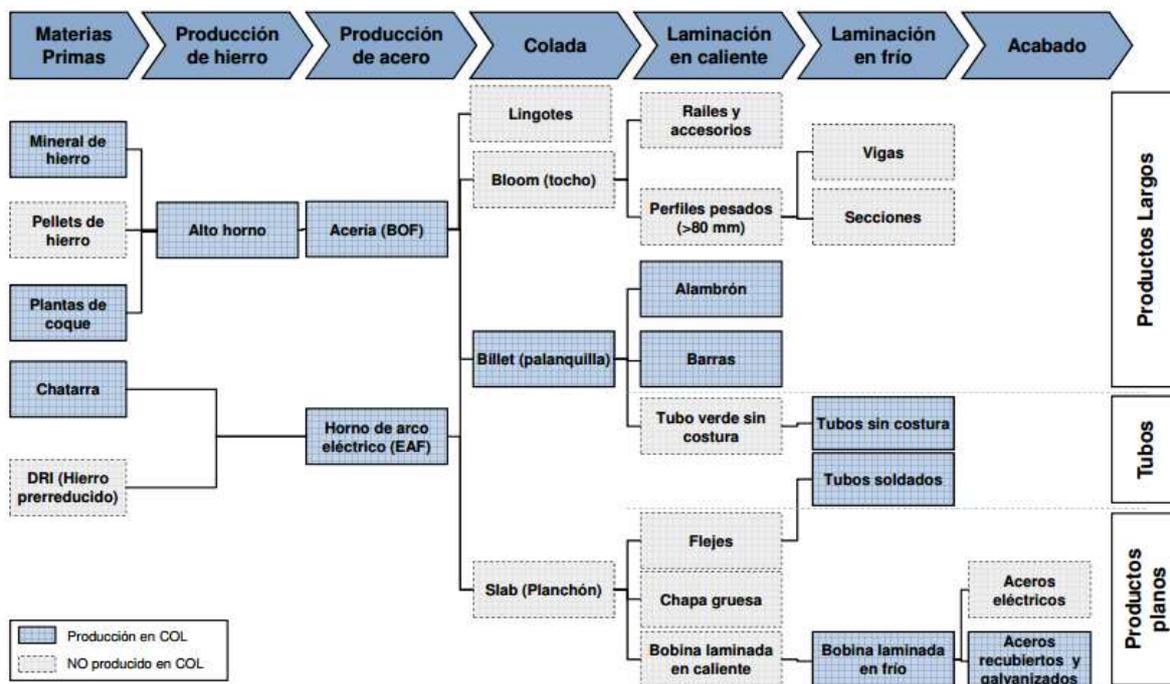


Figura 30. Principales productos y etapas de la cadena de valor presentes en Colombia (IDOM, 2013)

A la hora de realizar el análisis de flujos de esta cadena de valor, no ha sido posible contar con toda la información necesaria para el año 2016. La información más completa se refiere al año 2013, y ha sido necesario centrar el estudio en este período. Sin embargo, en los primeros puntos de este apartado se facilitan algunos datos referentes al año 2016, de cara a ofrecer información sobre la importancia de este material en la economía Colombiana.

5.4.1. Visión general de los principales flujos de la cadena de valor del acero en Colombia

La Figura 31 resume los principales flujos de materiales en la cadena de valor del acero en la economía Colombiana

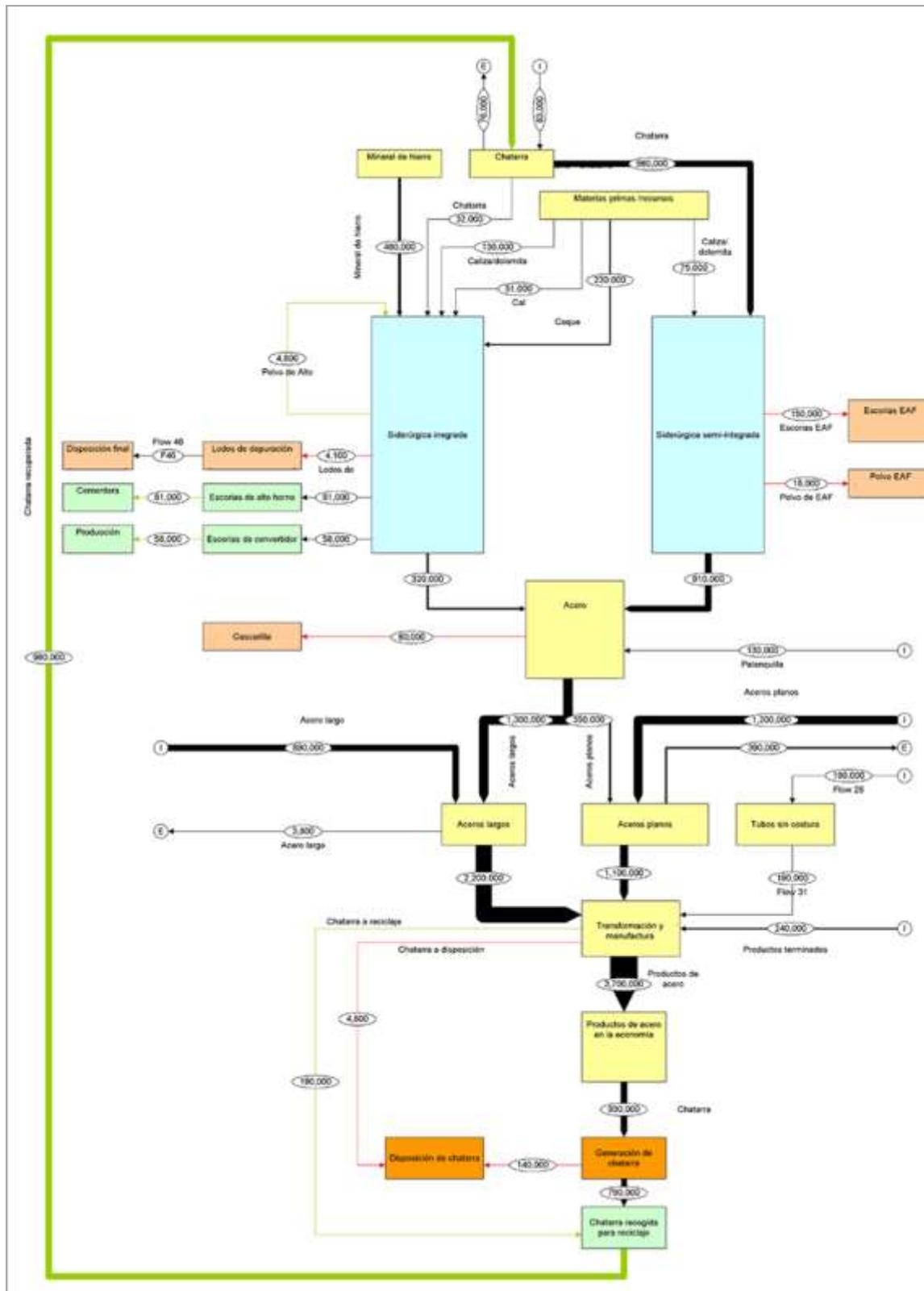


Figura 31. Flujo de materiales asociados a la producción de acero en la economía Colombiana

En los siguientes apartados se indican las fuentes de información utilizadas, así como los diferentes cálculos y estimaciones realizadas. Es necesario tener en cuenta que el gráfico incluye cifras redondeadas, por lo que puede presentar desviaciones respecto a los datos citados en el documento y en las tablas.

5.4.2. Producción de acero

En el país existen 5 empresas siderúrgicas que se dedican exclusivamente a la producción de aceros largos, con una capacidad instalada de 1.900.000 toneladas. La mayor parte de la producción de acero colombiana se realiza a partir del procesamiento de chatarra en horno eléctrico. Colombia sólo cuenta con una siderúrgica integrada que utiliza como materia prima el mineral de hierro (NARANJO, Producción y Consumo de Acero en Colombia 2005-2016, 2017).

Empresas	Tipo	Materia Prima	Capacidad Instalada	Principales Productos
APDR	Integrada	Min Hierro - chatarra	450.000	Barras Y Alambrones
DIACO	Semi Integrada	Chatarra	760.000	Barras, Alambrones, Perfiles
SICALDAS	Semi Integrada	Chatarra	140.000	Barras, Perfiles
SIDENAL	Semi Integrada	Chatarra	250.000	Barras, Alambrones, Perfiles
SIDOC	Semi Integrada	Chatarra	200.000	Barras, Perfil

Tabla 55. Principales productores de acero en Colombia (NARANJO, Producción y Consumo de Acero en Colombia 2005-2016., 2017)

En este contexto, en Colombia en 2013 se produjeron 307.161 toneladas de arrabio en horno alto. Se obtuvieron 1.220.941 toneladas de palanquilla, tochos y redondo. De acuerdo a las instalaciones productoras del país, se obtuvieron 322.838 toneladas en convertidor de oxígeno y 913.326 toneladas en Horno Eléctrico. Es necesario mencionar que la producción a partir de palanquilla importada ha ido en aumento (ver apartado siguiente).

Las siguientes tablas resumen la fabricación de productos semi-terminados y terminados, que sumaron 1.694.275 toneladas en 2013. Como se puede observar, Colombia no produce tubo sin costura.

Productos semiterminados (ton)		ton		
Largos		Acero para concreto	986.565	
		Barras	51.004	
	<i>Sutbotal: 1.297.240</i>		Alambrón	184.718
			Perfiles livianos (2 y 3) (< 80mm)	71.643
			Perfiles pesados (4) (> = 80mm)	3.310
			Rieles y Acc.p/Vías	0
Planos	Planos no revestidos al carbono	Bobinas en frío	99.060	
		Hojas gruesas en caliente (= > 4,75mm)	0	

Productos semiterminados (ton)			ton	
Subtotal: 353.056	Subtotal: 99.060	Bobinas gruesas en caliente (= > 4,75mm)	0	
		Hojas medias y delgadas en caliente (< 4,75mm)	0	
		Bobinas medias y delgadas en caliente (< 4,75mm)	0	
		Hojas en frío	0	
	Planos revestidos Subtotal: 253.997	2.- B- 1 -Planos revestidos para envases		
		Hojalata	23.184	
		Cromada	35.424	
		2.- B- 2 – Otros revestidos		
		Cincadas en caliente	182.469	
		Electrocincadas	0	
		Cubiertas con aluminio y zinc	0	
		Prepintadas	12.920	
		Otras chapas revestidas	0	
	Planos de aceros especiales	Hojas y bobinas inoxidables	0	
		Hojas y bobinas al silicio	0	
Hojas y bobinas de otros aceros aleados		0		
Tubos sin costura			0	

Tabla 56. Datos de producción de productos semiterminados de acero en Colombia (ANDI, 2014)

Productos terminados	ton
Tubos con Costura	30.271
Alambre	1.499
Cables	270
Perfiles conformados en frío	5.456
Defensas viales	6.483
TOTAL	43.979

Tabla 57 Producción de productos terminados en Colombia (ANDI, 2014)

Respecto al flujo de materiales en proceso productivo, la generación de residuos y el consumo de materiales dependen en gran medida del proceso siderúrgico. Como se ha comentado anteriormente, en Colombia tan sólo el 26% del acero se fabrica a partir de mineral.

No ha sido posible contar con información específica sobre entradas y salidas de materiales en el ciclo del acero, por lo que se ha partido de información bibliográfica (Joint Research Centre of the European Commission, 2013). A continuación se resume el balance de entradas y salidas a través de las dos vías de producción de acero mencionadas.

Siderurgia integrada	toneladas	Destino
Entradas		
Mineral de hierro	481.845	-
Caliza/dolomita	128.795	-
Cal	51.147	-

Coque	230.371	-
Polvo de alto horno	4.607	-
Chatarra	32.284	-
Salidas		
Palanquilla	322.838	-
Escorias de alto horno	80.710	A cementera
Lodos de depuración de alto horno	4.068	Disposición final
Polvos de alto horno	4.843	Disposición final/incorporación e horno ¹³
Escoria de convertidor	58.111	A fertilizantes (CEPEDA GIL, 2010)
Siderurgia semi-integrada	toneladas	Destino
Entradas		
Chatarra	958.992	-
Caliza / Dolomita	75.349	-
Salidas		
Palanquilla	913.326	-
Escorias	182.665	Disposición
Polvo	18.267	Disposición

Tabla 58. Principales entradas y salidas de materiales en la producción de palanquilla (Joint Research Centre of the European Commission, 2013)

Se ha asumido que la totalidad del mineral de hierro consumido es nacional (Arismendy, Berrio y Morales, 2012), así como el resto de las materias primas, excepto la chatarra.

¹³ No se conoce el ratio de reciclaje real.

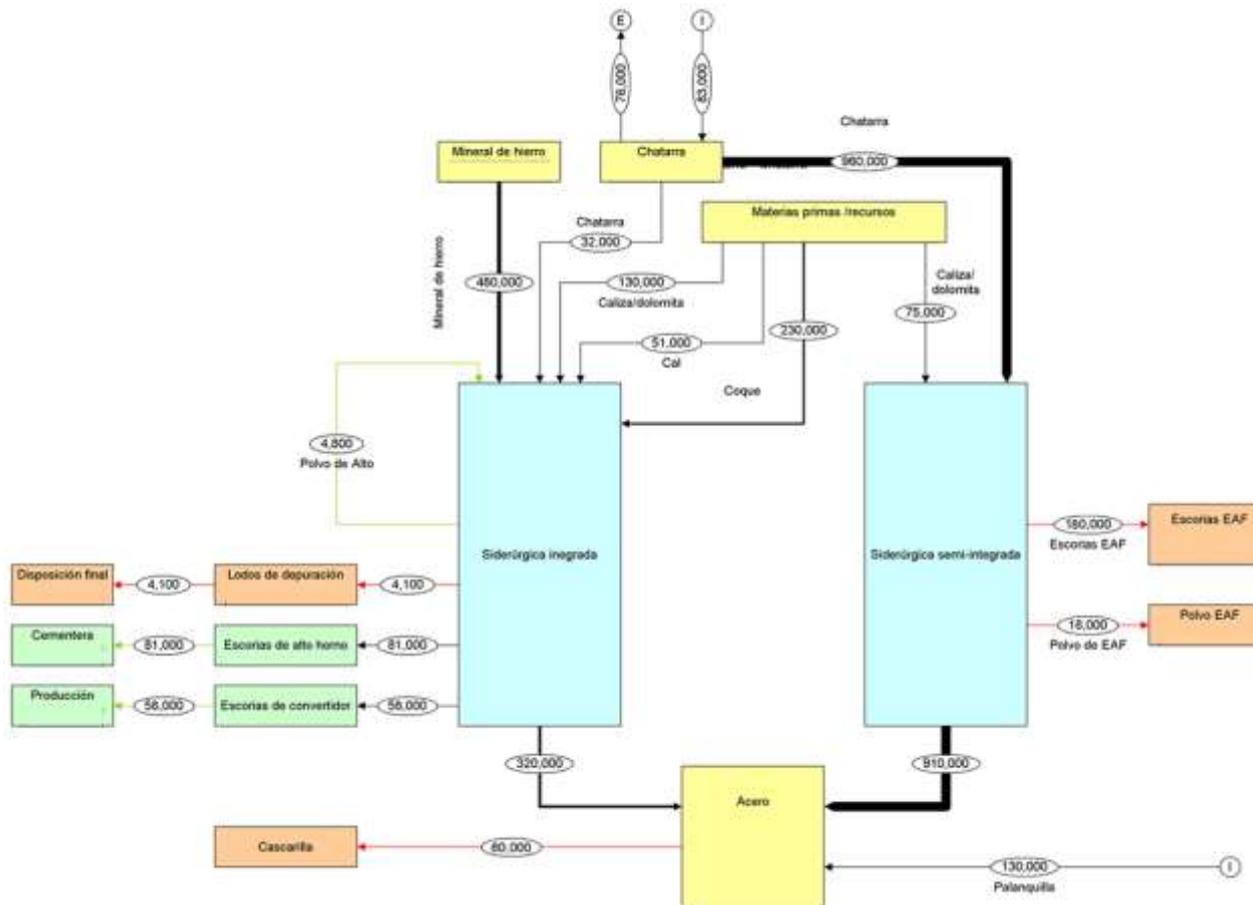


Figura 32. Principales flujos de materiales en la producción del acero¹⁴

5.4.3. Importaciones y exportaciones de productos de acero y sus insumos

Respecto a la importación de acero, la producción nacional no llega a satisfacer la demanda del mercado, y las importaciones son altas.

Importaciones		ton
Materias primas siderúrgicas (242.919 ton)	Ferroaleaciones	26.691
	Chatarra	83.413
	Palanquilla	132.791
	Palanquilla aleados especiales	6
	Palanquilla inoxidable especiales	18
Aceros largos		889.988
Aceros planos		1.192.773
Tubos sin costura		194.810
Productos terminados		241.746

Tabla 59 Principales importaciones de materias primas y productos de acero en Colombia (NARANJO, Importaciones Colombianas de Acero Materias Primas Siderúrgicas, 2014)

¹⁴ En la figura se ha incorporado un ratio de reincorporación de los polvos de Alto Horno de acuerdo a la situación Europea, pero se desconoce el ratio de reciclaje real (Joint Research Centre of the European Commission, 2013).

Respecto a las exportaciones, no ha sido posible contar con información detallada para el análisis de flujo. En principio el balance de mercado en Colombia es negativo, es decir, las importaciones son superiores a las exportaciones, y el volumen exportado parece ser comparativamente limitado. A efectos de este estudio se ha realizado una estimación de potenciales exportaciones por diferencia (entre consumo, producción e importación), que se refleja en la Figura 33.

Sin embargo, en lo que respecta a las materias primas tiene una especial relevancia en la categoría de chatarra, ya que Colombia exportó 76.448 toneladas de chatarra en 2013. Teniendo en cuenta que una de las limitaciones de la producción en Colombia es la materia prima, este aspecto tiene una especial relevancia. En el marco del proyecto las exportaciones de acero se han calculado con base en el balance producción/importación/consumo.

5.4.4. Consumo aparente de acero en Colombia

Los principales datos de partida para el análisis de flujo del acero en Colombia se basan en los datos publicados por el Comité Colombiano de Productores de Acero. Estos datos han sido completados con información facilitada por diferentes entidades visitadas en Colombia, estudios específicos y cálculos propios. El consumo global de aceros largos, aceros planos y tubos sin costura en Colombia en 2013 fue de 3.670.916 toneladas, de acuerdo a fuentes bibliográficas (NARANJO, Producción y Consumo de Acero en Colombia 2005-2016., 2017) y a los datos adicionales de importación considerados anteriormente. El consumo principal es el de aceros largos.

Consumo aparente de acero	2013 (ton)
Aceros largos	2.183.383
Aceros planos	1.116.181
Tubo sin costura	180.773
Producto terminado	285.725
TOTAL	3.766.062

Tabla 60. Consumo aparente de acero en Colombia

A partir de la información presentada en (ANDI - Comité Colombiano de Productores de Acero, 2014) (IDOM, 2013), se puede estimar el desglose de consumo por tipo de producto y por aplicación final de los aceros largos:

Acero largo por producto (ton)		Acero largo por aplicación (ton)	
Acero para Concreto	1.436.204	Construcción	1.837.535
Alambrón	429.026	Infraestructuras	105.668
Perfiles Livianos	103.370	Fabricación	235.270
Perfiles Pesado	104.206		
Rieles	5.252		
Barras Lisas	100.416		

Tabla 61. Aplicaciones de los aceros largos

Respecto a la globalidad del acero consumido, y de acuerdo a la bibliografía, el acero de Colombia se utiliza principalmente para satisfacer la demanda del sector de la construcción y el 30% del acero está destinado al consumo industrial principalmente productos planos (FACTOR DINERO, 2012).

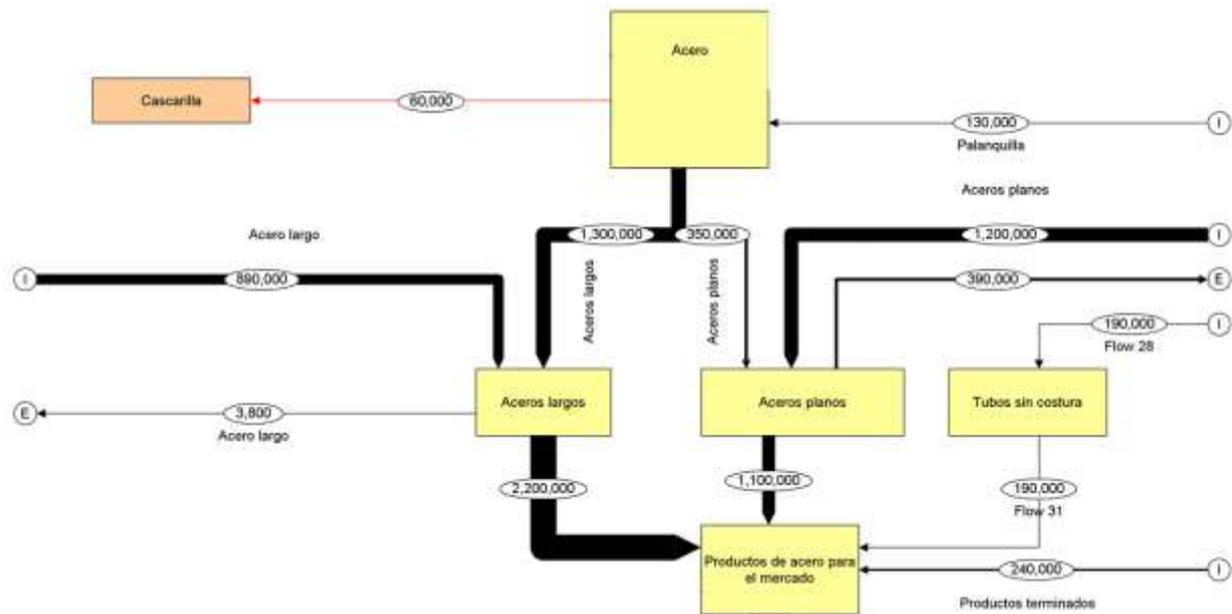


Figura 33. Principales flujos de materiales en la obtención de productos terminados de acero

5.4.5. Generación y recogida de chatarra

Los datos identificados acerca de la generación de chatarra presentan puntos abiertos que no permiten establecer conclusiones consistentes.

De acuerdo al balance de materiales para el año 2013, el consumo global de chatarra en la industria del acero se movería alrededor de 990.000 toneladas. Datos para este mismo año reportan que la importación de chatarra en Colombia fue de 83.413, mientras que la exportación fue de 76.448 toneladas. Esto significaría que Colombia produce alrededor de 985.000 toneladas de chatarra.

Respecto a la generación de residuos metálicos por parte de la industria manufacturera, la generación en 2013 fue de 196.694 toneladas (DANE, 2015). Se ha asimilado esta cantidad a los residuos ferrosos producidos por la industria. La cantidad enviada a disposición final, según la misma fuente fue de 4.757 toneladas, mientras que 4.433 toneladas son recicladas o reutilizadas. Estos datos dejan un vacío 187.504 toneladas. En este orden de ideas, se ha asumido que los residuos no enviados a disposición final son reciclados.

Respecto a la generación de chatarra post-consumo, teniendo en cuenta el consumo de chatarra en el país y el aporte de la industria manufacturera, la chatarra post-consumo recuperada ha de ser de 793.063 toneladas. Se desconoce la tasa de reciclaje de chatarra. Teniendo en cuenta que diversas fuentes coinciden en que Colombia es deficitaria en generación de chatarra (IDOM, 2013), y que el

reciclaje de chatarra es muy alto¹⁵, a efectos de este estudio, se ha calculado un reciclaje del 85%, lo que llevaría a asumir una generación de 933.015 toneladas de chatarra post-consumo.

De acuerdo a esta estimación, una gran cantidad del material que se incorpora a la economía Colombiana en forma de producto no se genera de forma inmediata como residuo, ya que pasa a formar parte del stock del país en forma de elementos constructivos, aparatos electrónicos, vehículos, etc.

De acuerdo a estudios referentes provenientes de fuentes industriales de Chile, las principales fuentes de chatarra son las siguientes:

Principales fuentes de chatarra	
Residuos domiciliarios: Bienes de consumo (refrigeradores, cocinas, lavadoras, etc.)	60-70%
Chatarra Obsolescencia: Demoliciones de edificios, galpones, estructuras, desguace de naves desmontaje de plantas, etc.	20-25%
Chatarra Industrial: Mermas de industrias que usan acero, tales como maestranzas, fábricas de envases, fábricas de alambres.	10-15%

Tabla 62. Principales fuentes de chatarra (fuentes industriales de Chile, MURASSO GRANDELA, 2010)

Resulta difícil estimar las fuentes de chatarra en Colombia, debido a la ausencia de datos. La siguiente figura resume las estimaciones realizadas en base a los datos anteriormente mencionados:

- Disposición final de 144.709 toneladas de residuos de acero: 4.757 toneladas post-industria y 139.952 toneladas post-consumo (15% del residuo generado).
- Reciclaje de 985.000 toneladas de acero: 191.937 toneladas post-industria y 793.063 toneladas post-consumo.

Las diferencias con los valores de la figura se deben al redondeo de cifras.

¹⁵Cámara de Acero de ANDI

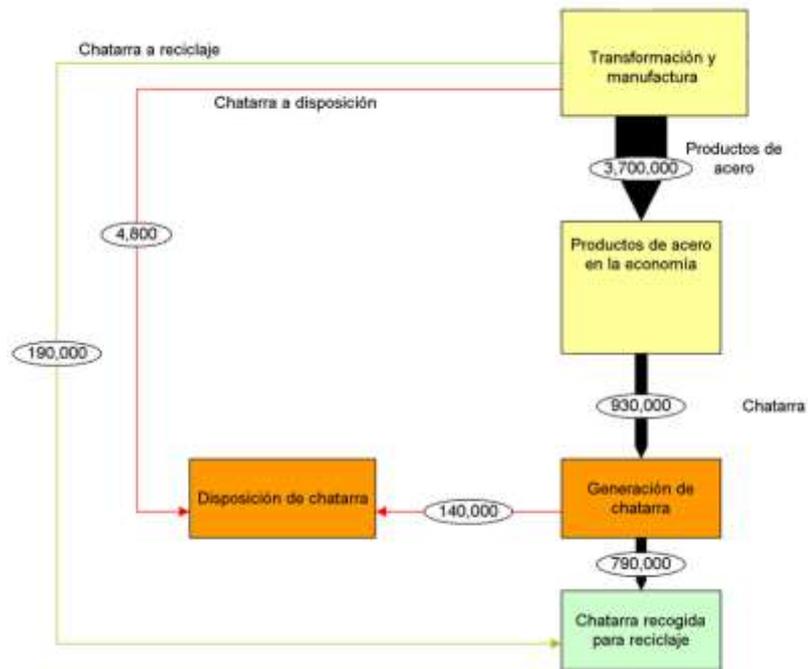


Figura 34. Flujo de chatarra de acero

5.5. Celulosa y papel

5.5.1. Visión general de los principales flujos de la cadena de valor del papel y cartón en Colombia

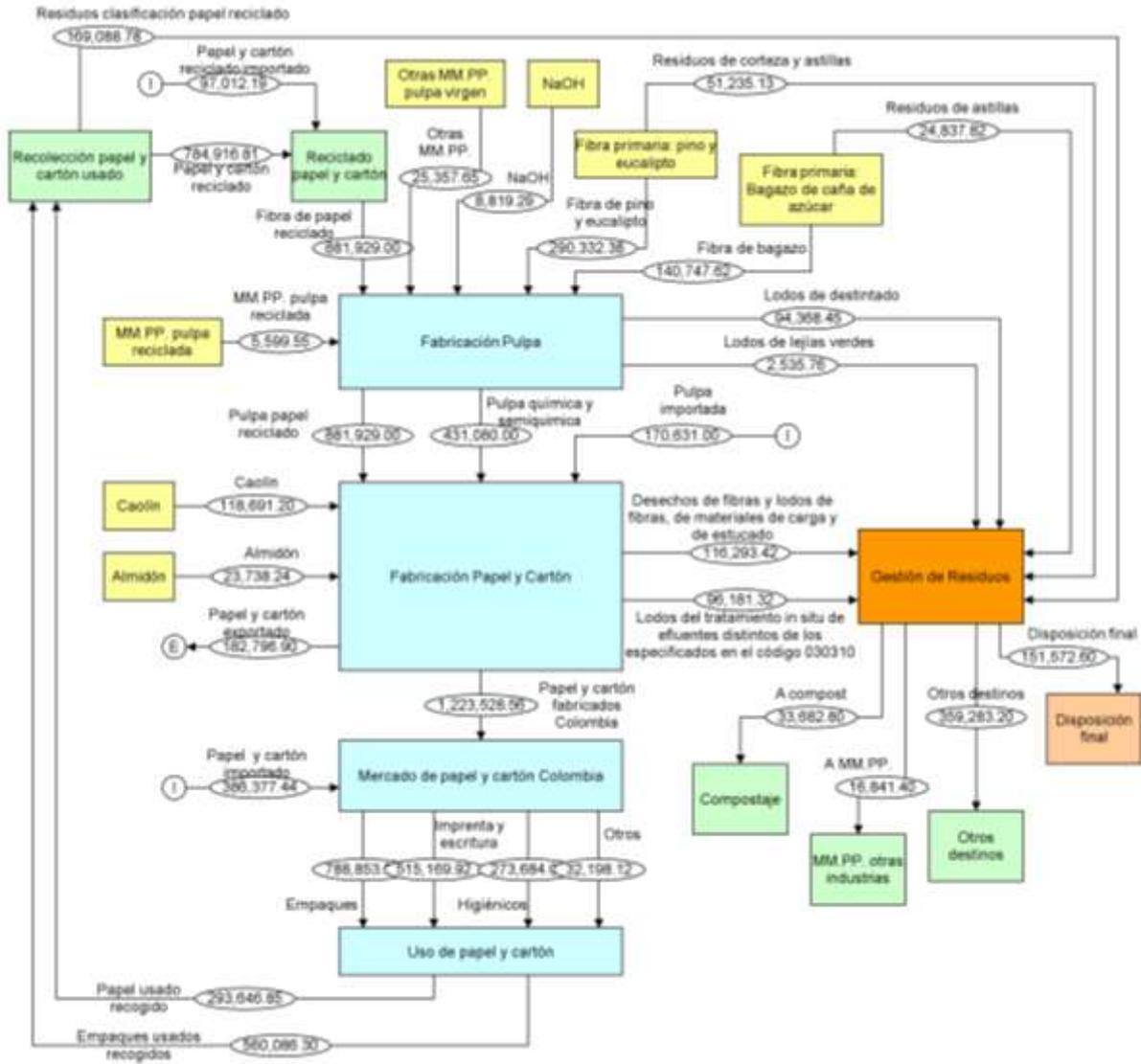


Figura 35: Flujos asociados a la pulpa, el papel y el cartón en la economía colombiana.

La Figura 35 representa el diagrama de flujo de los principales materiales de la industria de la pulpa, el papel y el cartón en Colombia.

Este diagrama de flujo ha sido elaborado a partir de la información disponible sobre los consumos de materiales y generación de residuos en la industria colombiana (Cámara de la industria de pulpa, papel y cartón de ANDI, 2015) y, en aquellos casos en los que la información necesaria sobre la industria colombiana no estaba disponible, se consultaron otras fuentes de información genéricas sobre la industria de fabricación de pulpa, papel y cartón: (ASPAPPEL, 2016) (ASPAPPEL-Asociación

española de fabricantes de pasta, papel y cartón, 2007) (ASPAPPEL-Asociación española de fabricantes de pasta, papel y cartón, 2015) (BAJPAI, 2015) (CEPI, CONFEDERATION OF EUROPEAN PAPER INDUSTRIES, 2004).

El uso de fuentes de información de distintos orígenes es la razón por la que algunos de los balances de materiales de los principales procesos identificados (Fabricación de pulpa, Fabricación de papel y cartón, Mercado de papel y Cartón Colombia y Gestión de residuos) no están cerrados.

El caso del proceso denominado Uso de papel y cartón, es un caso a considerar de manera diferente ya que debido a que una parte del papel y cartón puestos en el mercado nunca llega a convertirse en residuo (por ejemplo: libros y productos fabricados de papel o cartón que no son embalaje), el balance entre entradas y salidas no se puede cuadrar en ningún caso. De esta manera, según la información recopilada un 47% del papel y cartón consumidos no se recuperarían, o bien porque no se convierten en residuos o bien porque no son recuperables a través de las vías de recogida de residuos de papel y cartón existentes.

En los siguientes apartados se analizan los principales resultados del análisis de los flujos de esta industria.

5.5.2. Producción de celulosa y papel

El sector de la fabricación de la pulpa de celulosa y del papel y cartón en Colombia está constituido por 15 empresas productoras que en el año 2015 produjeron 431.080 toneladas de pulpa a partir de madera y 1.218.646 toneladas de papel y cartón, de las cuales 881.929 toneladas se produjeron a partir de papel y cartón reciclado.

De estas quince empresas, nueve están asociadas en la Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón de la Asociación Nacional de Empresas de Colombia, ANDI. Asimismo, diez empresas son productoras de pulpa y las quince producen algún tipo de papel y cartón.

Respecto a la producción de pulpa, mayoritariamente se producen tres tipos de pulpa:

- Pulpa química y semiquímica a partir de pino y eucalipto,
- Pulpa química a partir de bagazo de caña de azúcar,
- Pulpa a partir de papel y cartón usado.

En la Figura 36 se muestra la distribución de la producción nacional según el tipo de pulpa.

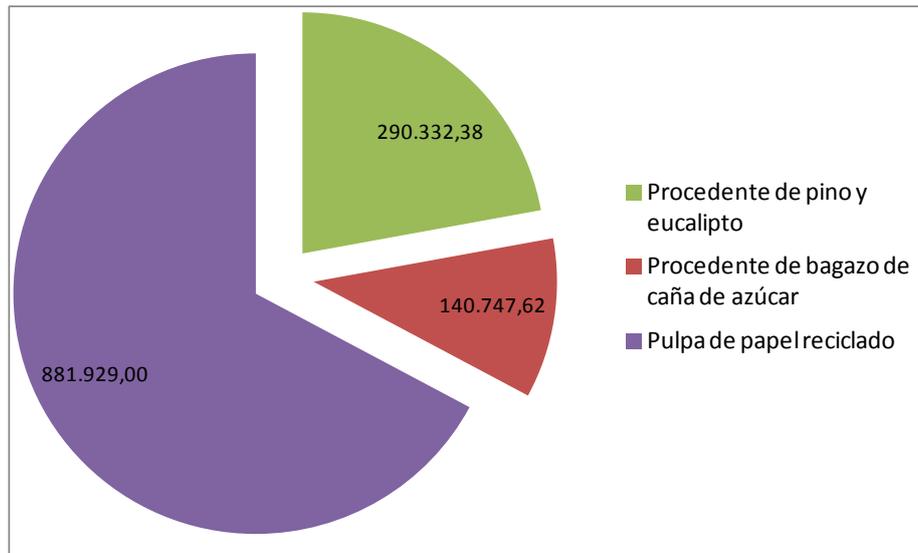


Figura 36. Producción de pulpa en Colombia (toneladas), 2015. Elaboración propia a partir de datos del informe de sostenibilidad de la cámara de pulpa, papel y cartón de ANDI (Cámara de la industria de pulpa, papel y cartón de ANDI, 2015)

En cuanto a la producción de papel y cartón en Colombia, en el año 2015 se produjeron un total de 1.223.529 toneladas que se distribuyeron como se indica en la Figura 37.

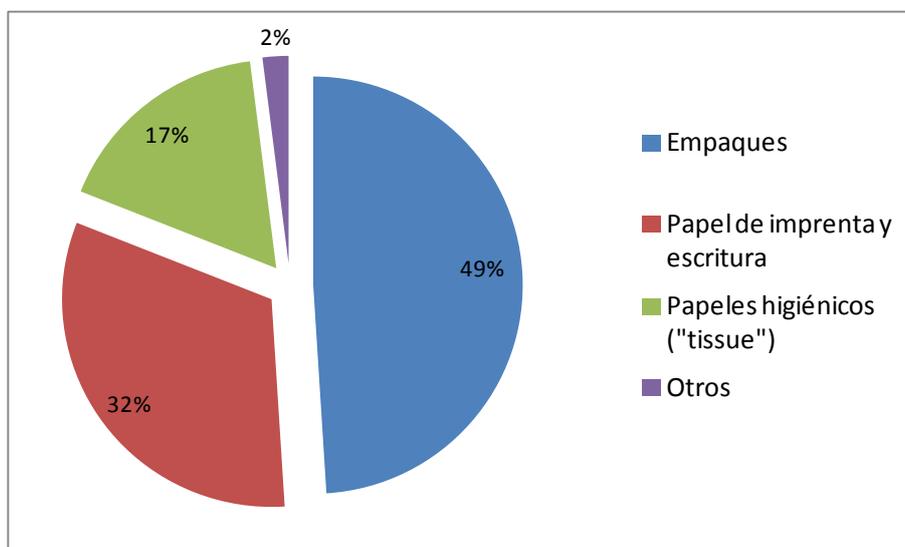


Figura 37: Distribución de la producción de papel y cartón en Colombia (toneladas), 2015. Elaboración propia a partir de datos del informe de sostenibilidad de la cámara de pulpa, papel y cartón de ANDI (Cámara de la industria de pulpa, papel y cartón de ANDI, 2015)

Las principales materias primas en la producción de pulpa y de papel y cartón son el papel usado recuperado, el bagazo de caña de azúcar y las fibras naturales. Estas últimas proceden principalmente de plantaciones de pino y eucalipto gestionadas de manera sostenible, la mayoría con certificación FSC, tanto propias de las empresas productoras de pulpa como de proveedores externos. El sector papelero consume hasta el 20% del bagazo de caña de azúcar, principal residuo de la industria azucarera colombiana (Cámara de la industria de pulpa, papel y cartón de ANDI, 2015).

Además de las materias primas fuentes de fibra de celulosa necesarias para la producción de la pulpa, papel y envases, el consumo de materias primas auxiliares supone hasta un 14% del consumo de materias primas del sector (ASPAPPEL-Asociación española de fabricantes de pasta, papel y cartón, 2015). De esta manera el consumo de materias primas auxiliares en el sector papelerero colombiano se refleja en la Figura 38.

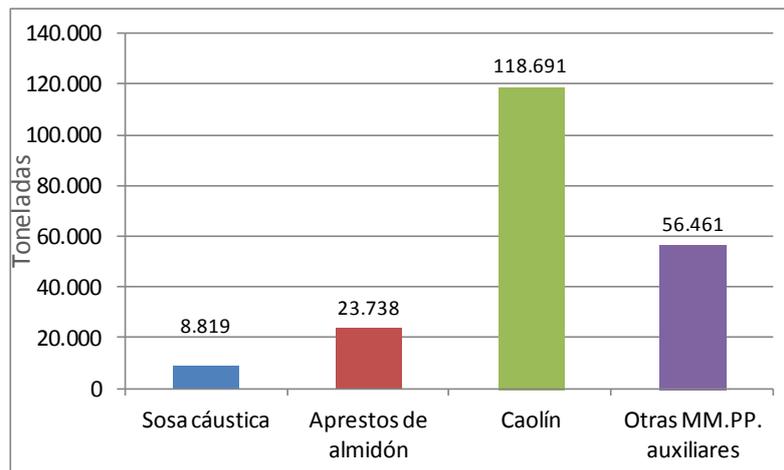


Figura 38: Consumo de materias primas auxiliares (toneladas), 2015. Elaboración propia a partir de datos de distintas fuentes (ASPAPPEL, 2016), (Cámara de la industria de pulpa, papel y cartón de ANDI, 2015) y (BAJPAI, 2015)

5.5.3. Importaciones y exportaciones

Aunque la mayor parte del consumo aparente de la pulpa y el papel y cartón se produce en el país, para dar respuesta a la demanda existente deben importarse cantidades menores de cada uno de ellos, tal y como se muestra en la Figura 39.



Figura 39: Importaciones y exportaciones en el sector papelerero (toneladas), 2015. Elaboración propia a partir de datos de (Cámara de la industria de pulpa, papel y cartón de ANDI, 2015)

No se dispone de información en cuanto al origen de las materias primas auxiliares consumidas en el sector.

5.5.4. Generación de residuos

La industria de la pulpa, el papel y el cartón es una industria que, históricamente, ha sido generadora de un gran volumen de residuos. En este sentido, los avances tecnológicos de los últimos años, la cada vez mayor sensibilidad y concienciación sobre los impactos negativos producidos sobre el medio ambiente, así como la necesidad de reducir el volumen de los mismos para garantizar la sostenibilidad del sector, han conseguido reducir la cantidad de residuos generados en el sector al mismo tiempo que se ha reducido la peligrosidad de los residuos. En estos momentos el 92% de los residuos generados se consideran no peligrosos específicos de la actividad papelera, aproximadamente el 8% sería residuos no peligrosos no específicos de la actividad papelera y sólo un 0,1% se consideran residuos peligrosos (Cámara de la industria de pulpa, papel y cartón de ANDI, 2015).

Durante el año 2015 la cantidad total de residuos generados por el sector en Colombia fue de 561.380 toneladas (Cámara de la industria de pulpa, papel y cartón de ANDI, 2015).

Ante la ausencia de información más concreta sobre la caracterización de estos residuos, y teniendo en cuenta que la industria papelera española presenta un perfil similar en cuanto al consumo de materias primas y a los tipos de pulpa, papel y cartón producidos, se ha realizado una estimación de la tipología y cantidades de residuos generados en la industria papelera colombiana tal y como se muestra en la Figura 40 .

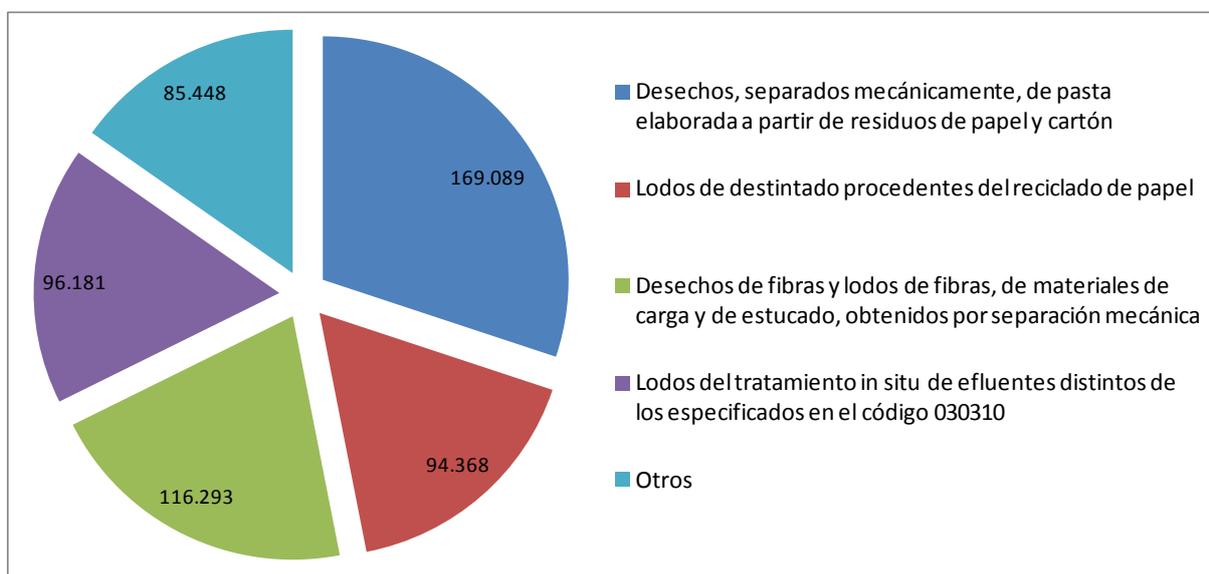


Figura 40: Caracterización de los residuos generados en el sector de pulpa, papel y cartón (toneladas), 2015. Elaboración propia a partir de (ASPAPPEL-Asociación española de fabricantes de pasta, papel y cartón, 2007) (Cámara de la industria de pulpa, papel y cartón de ANDI, 2015)

En el año 2015 hasta un 73% de los residuos generados en la industria papelera colombiana fueron valorizados y solamente un 27% fueron enviados a disposición final (Cámara de la industria de pulpa, papel y cartón de ANDI, 2015). En la Figura 41 se muestran los distintos tratamientos utilizados.

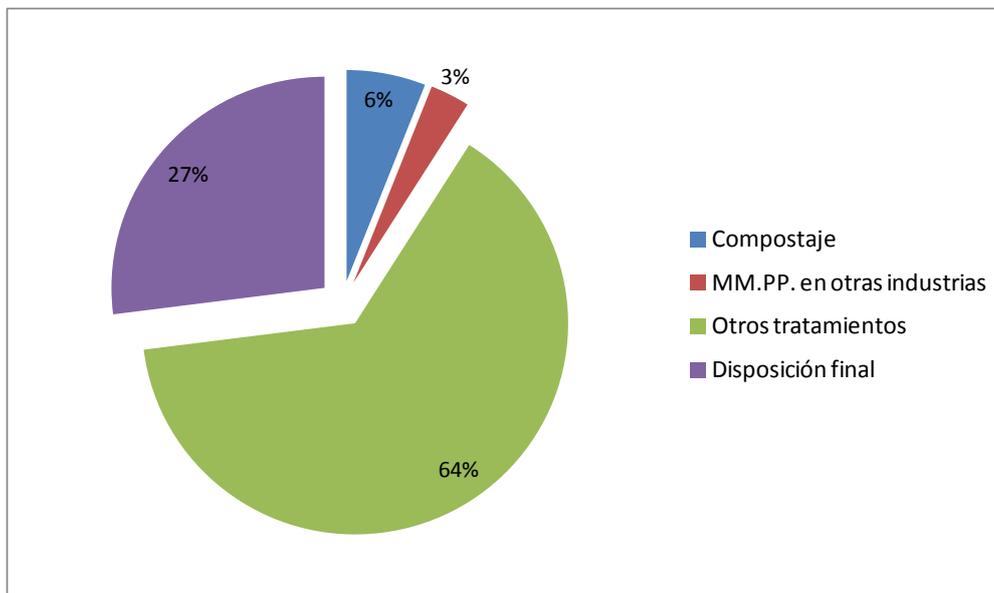


Figura 41: Tratamientos de los residuos, 2015. Elaboración propia a partir de (Cámara de la industria de pulpa, papel y cartón de ANDI, 2015)

Como se puede ver, para el 64% de los residuos se desconoce el proceso concreto de valorización lo que dificulta la evaluación del potencial de mejora de la gestión de los residuos.

A este respecto, tomando como referencia la situación en España, que es uno de los principales productores europeos y cuya industria incorpora un grado de desarrollo tecnológico avanzado, en el año 2014 sólo el 19,4 % de los residuos fueron depositados en vertedero, siendo el resto de residuos valorizados mediante diversos procesos tal y como se muestra en la Tabla 64. Teniendo en cuenta que la alternativa al depósito en vertedero son las distintas opciones de valorización, se ha decidido incluir el valor asignado a “No indicado” como una alternativa de valorización, aunque se desconozca que es lo que se realiza exactamente.

Alternativas de tratamiento de residuos en España	
Vertedero	19,4%
Valorización energética en la propia fábrica	25,3%
Valorización energética en otras industrias	2,2%
Uso directo agrícola	22,1%
Compostaje	9,3%
Reciclado como materia prima en la industria cerámica	1,3%
Reciclado como materia prima en la industria cementera	3,1%
Materia prima en otras industrias	1,4%
Otros destinos	4,2%
No indicado	11,7%

Tabla 63. Alternativas de tratamiento de residuos en España (ASPAPPEL, 2016)

A falta de conocer con mayor detalle los *Otros tratamientos* del 64% de los residuos valorizados de la industria papelera colombiana, así como su origen y composición, y a la vista de los datos mostrados

en la, parecen existir oportunidades de valorización de valor añadido como puede ser la valorización energética, el uso directo agrícola o un incremento del uso como materia prima de otras industrias.

Por otro lado, en lo que se refiere al reciclaje del papel y cartón en Colombia, una vez alcanzan su fin de vida son recogidos por los distintos agentes existentes, quienes realizan las operaciones de clasificación y limpieza previas a su reciclado.

La tasa de recolección en Colombia en el año 2015 alcanzó el 61% (57% para la recolección de papel y cartón y 71% para la recolección de empaques) lo que supuso una recolección de 784.917 toneladas de papel y cartón usados. Tras someterse a los consiguientes procesos de reciclado, la tasa final de reciclaje alcanzó el 55% (consumo aparente de desperdicio/consumo aparente de papel y cartón) (Cámara de la industria de pulpa, papel y cartón de ANDI, 2015).

Si comparamos esta tasa con la alcanzada en países de referencia como España o con la tasa de recolección máxima estimada por ASPAPEL (ASPAPEL, 2016) se puede concluir que todavía hay un amplio margen de mejora en la recolección y reciclado de papel y cartón usado. En España la tasa de recolección alcanza el 71% y la tasa de reciclaje el 81%. Por otro lado, la tasa de recolección máxima estimada por ASPAPEL (en la que se tiene en cuenta que una parte del papel consumido no se llega a incorporar a la cadena del papel reciclable, como los libros o el papel higiénico) es del 85% .

5.6. Análisis de Resultados:

5.6.1. Biomaterial primario

En lo referente a los biomateriales, se ha realizado un análisis de la producción y reciclaje a nivel de residuo post-industrial y post-consumo, además de analizar en detalle uno de los materiales más relevantes del sector en Colombia, como es el azúcar.

Post-consumo:

En lo referente a los bioresiduos en general, a nivel post-consumo, no se han identificado prácticas de compostaje en el país, por lo que se ha considerado que la totalidad de los residuos domésticos orgánicos son dispuestos en botaderos a cielo abierto, con el consiguiente impacto ambiental (cabe mencionar que en este apartado no se contabilizan residuos domésticos orgánicos como papel o madera). A modo de comparación orientativa, se observa que países como España o Alemania presentan una tasa de reciclaje (incluyendo compostaje) de material orgánica doméstica de alrededor del 17% (EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY, 2013). Estas tasas de reciclaje requieren de la recogida separada de materia orgánica.

Por otro lado, no se han identificado otras alternativas para esta fracción de residuos, al no existir infraestructuras para la valorización energética en el país.

Además, es necesario constatar que la tasa de recogida global de residuos domiciliarios estimada para Colombia es del 83.4%, si bien la cobertura en zonas urbanas se aproxima al 100%, en zonas rurales ésta es del 27.3%. (DANE, 2017b)

El promedio regional de cobertura de recolección de RSU en América Latina y Caribe es de 89,9%, mientras que el promedio mundial de 73,6% (BID, 2015). Sin embargo, la cobertura es de entre el 80-100% en Europa y 100% en Estados Unidos (UNEP, 2015).

Residuo industrial

En el caso de los residuos de la industria manufacturera la tasa de reciclaje (incluyendo compostaje) para estos residuos en 2013 fue del 41% (DANE, 2015), si bien no se ha identificado información más detallada ni actualizada al respecto.

El análisis detallado de la tipología de residuos generados y sus flujos en la industria manufacturera es extremadamente complicado, ya que engloba a un gran número de sectores y requeriría una evaluación de cada uno de ellos en un marco de trabajo con limitada disponibilidad de datos. Por ese motivo se ha optado por analizar una de las cadenas de valor más representativas del país, en términos de volumen de negocio, cantidad de producto y residuos generados.

En el análisis de los flujos de materiales se ha observado que la tasa de reciclaje de materiales (incluyendo el compostaje) es muy alta, si bien en la mayoría de los casos se trata de procesos que

generan materiales de bajo valor añadido. Se producen 8 toneladas¹⁶ de residuos por tonelada de azúcar (considerando el azúcar y el bioetanol como productos principales). En la producción de azúcar, se generan 4 toneladas de residuos y subproductos por tonelada (incluyendo la miel B).

Los residuos cuyo reciclaje da lugar a productos de menor valor añadido son la melaza o miel C, la cachaza, las vinazas y los lodos de depuración.

La tasa de utilización de bagazo para obtener productos de mayor valor añadido¹⁷ como el papel es bastante baja (20%), y tiene un importante potencial de mejora.

Tasa de reciclaje (compostaje inclusive)	Total	Residuo post-industrial	Residuo post-consumo
Materia orgánica	20%	41%	0
Cadena de valor representativa: azúcar			
Bagazo	20%	20%	-
Melaza	100% ¹⁸	100% ¹⁸ (alimentación animal)	-
Miel B	100% ¹⁸	100% ¹⁸	-
Hojas y residuos similares	100% ¹⁸	100% ¹⁸ (compostaje)	-
Cachaza	100% ¹⁸	100% ¹⁸ (compostaje)	-
Vinaza	100% ¹⁸	100% ¹⁸ (9% fertilización, 91% compost)	-
Lodos de depuración	100% ¹⁸	100% ¹⁸ (compostaje)	-

Tabla 64. Tasa de reciclaje de los materiales orgánicos en la cadena de valor del azúcar

Es necesario mencionar que la información disponible hasta el momento presenta diversas limitaciones:

- Las fuentes consultadas consideran que prácticamente la totalidad de los residuos de producción son enviados a procesos de valorización. No se recopilan datos de materiales no valorizados.
- No se cuenta con información cuantitativa sobre la producción de otros materiales de mayor valor añadido (levaduras, complementos alimenticios, etc.), por lo que no están considerados.

¹⁶ No se incluyen envases y otros materiales de distribución

¹⁷ En el reciclaje de los residuos de la cadena de valor del azúcar, excluyendo el bioetanol, domina la obtención de materiales de bajo valor añadido como el compost.

¹⁸ Se desconocen las pérdidas de material que puedan darse, y se asume que la totalidad del material es reciclado, de acuerdo a la bibliografía

Respecto a los flujos internacionales, en el caso de la cadena de valor del azúcar, no se detectan importaciones significativas, mientras que la exportación del producto es relativamente alta. También existen subproductos como la melaza del que se exportaron 64.700 toneladas en 2015 (alrededor del 24% del residuo). Sería necesaria más información sobre la aplicación de este material en otros países para evaluar su potencial de cara a contribuir en la economía circular del país.

El consumo de materias primas en la producción de azúcar y etanol (excluyendo la etapa de cultivo), de acuerdo a la bibliografía, se centra principalmente en la caña de azúcar. Se consumen 89 toneladas de materia prima para 1 tonelada de producto final en la cadena de valor (azúcar y bioetanol), siendo el 99% de la materia prima caña de azúcar¹⁹.

Resultados generales

Se estima que la industria manufacturera puede ser el principal punto de pérdida de material (ver Tabla 65), de acuerdo a los datos de reciclaje existentes (DANE, 2015). Sin embargo, se desconoce la tasa de recogida de residuos, por lo que no es posible determinar si existe una pérdida de material relevante en este punto.

Los residuos domésticos también presentan un punto de mejora importante. En primer lugar se puede optimizar la tasa de recogida, ya que aunque el país se encuentra por encima de la media mundial, está por debajo de la media de América Latina y Caribe, así como de Estados Unidos y algunos países Europeos.

El compostaje es una importante vía de reciclaje para residuos de la industria manufacturera, pero no se ha detectado su uso para los residuos domésticos, que requeriría de separación en origen. El hecho de que no existan alternativas de reciclado o valorización energética para residuos orgánicos domésticos hace que la tasa de disposición sea del 100%.

Las siguientes tablas resumen algunos de los resultados clave del Análisis de Flujos.

Criterios para identificar flujos residuales prioritarios	Materia orgánica industrial	Materia orgánica post-consumo	Bagazo	Melaza	Hojas y residuos	Cachaza	Vinaza	Lodos depuración
Residuo final a disposición (ton)	12.591.610	5.057.788	0	0	0	0	0	0
Importación de residuos (ton)	0	0	0	0	0	0	0	0
Exportación de residuos (ton)	0	0	0	64.700	0	0	0	0

¹⁹ No se incluyen envases y otros materiales de distribución.

Criterios para identificar flujos residuales prioritarios	Materia orgánica industrial	Materia orgánica post-consumo	Bagazo	Melaza	Hojas y residuos	Cachaza	Vinaza	Lodos depuración
Tasa de recogida (%)	Desconocido	83,4%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Tasa de reciclaje (%)	41%	0%	20%	100%	100%	100%	100%	100%
Puntos débiles identificados en benchmark internacional	- Ausencia de información sobre recogida/reciclaje	- Pocos datos disponibles - Tasa de recogida a optimizar - No existen alternativas a la disposición (compostaje, valorización energética)	- Ausencia de información contrastada sobre el destino real de los residuos - Potencial de aumentar el tasa de reciclaje de cierre de ciclos como existente en el caso del bagazo - Se desconoce el cierre de ciclos con otras industrias como la sucroquímica, que permiten obtener otros productos de mayor valor añadido en comparación con el compost.					

Tabla 65. Datos clave referentes al flujo de diferentes corrientes de residuos de biomateriales (cálculos propios a partir de las referencias mencionadas en el apartado 5.1)

5.6.2. Cemento y concreto

Recuperación y reciclaje de residuos de cemento y concreto

En la cadena de valor del cemento, **la generación de residuos se centra casi exclusivamente en la fase de construcción y demolición**. En esta etapa la tasa **global de reciclaje de Colombia es aproximadamente del 0,7%** y se destina principalmente a reutilización en obra. El residuo que se reincorpora en la fabricación de cemento/concreto es prácticamente despreciable. Este dato, calculado a partir de diversos cálculos y estimaciones, está en línea con la tasa de aprovechamiento menor del 2% estimada inicialmente en este estudio para los RCD.

La baja tasa de aprovechamiento del residuo se debe en primer lugar a la baja tasa de recogida. Medellín reporta haber controlado, en 2014, **una cantidad equiparable al 5% de los residuos generados**, dato que en este estudio se ha extrapolado al resto de ciudades de Colombia, debido a la falta de información más detallada. Es necesario tener en cuenta, además, que el 23% de la población reside en zonas rurales donde en la mayoría de los casos no se cuenta con este servicio, con lo cual la tasa promedio de recogida sería de aproximadamente **3.85%**.

Por otro lado, **el uso de los residuos de cemento y concreto es muy limitado**. La industria cementera y concretera, que ha aportado datos a lo largo del estudio, apunta que la utilización de este tipo de

residuos es insignificante. Una vez más se ha utilizado el dato publicado por Bogotá (19% de reutilización en obra de los residuos recogidos) para extrapolarlo al resto de las ciudades del país, lo que constituye el mejor caso posible.

Tabla 66. Tasa de reciclaje en la cadena de valor del cemento

Tasa de reciclaje	Total	Residuo post-industrial	Residuo post-consumo
Cemento/concreto	0.7%	Despreciable	0.7% (reutilización en obra)

Tabla 67. Tasa de reciclaje en la cadena de valor del cemento

Demanda de materias primas

En la cadena de valor del cemento y sus derivados se consumen 1,65 toneladas de materia prima por tonelada de producto final (cemento, concreto, morteros, prefabricados de cemento y fibrocemento). Específicamente, **la producción de cemento consume alrededor de 1,68 ton/ton de materias primas**. De acuerdo al balance de importaciones y exportaciones de materias primas, la demanda de importados es de 0,182 ton/ton de cemento.

La principal demanda de materias importadas está asociada al clínker, ya que la producción final de cemento no se abastece únicamente de clínker nacional. De hecho, **se estima que el 10% del clínker consumido es importado**. Asimismo, **el país también importa la mayor parte del yeso consumido por las cementeras, según estimaciones del sector**.

Metabolización de residuos provenientes de otras cadenas de valor

Un **aspecto diferencial de la cadena de valor del cemento es su capacidad para aprovechar residuos, también de otros sectores**. Esta capacidad permite reducir de forma importante la demanda de materia prima virgen y así mismo aumentar el aprovechamiento de residuos. De acuerdo con los datos recogidos en el estudio, en Colombia en la actualidad **se podrían estar incorporando alrededor de 60 kg/tonelada de producto de la cadena de valor (cemento, concreto, mortero, prefabricados y fibrocemento)**. Para la producción de cemento exclusivamente, esta tasa sería **de 90 kg/tonelada de cemento producida (teniendo en cuenta también la fabricación de clínker)**. Las escorias son uno de los principales residuos incorporados en cementera y en la actualidad alrededor del 80% de las escorias incorporadas en el proceso se importan.

Estas tasas de aprovechamiento son bajas en comparación con la situación internacional:

- En la producción de clínker en Colombia la incorporación de residuos se sitúa alrededor de 12 kg/tonelada de clínker²⁰, mientras que en Europa se incorporan 51 kg/tonelada de clínker (CEMA, 2015).

²⁰ Extrapolaciones a partir de datos facilitados por empresas Colombianas

- Por cada tonelada de cemento en Colombia se están incorporando alrededor de 3 kg de yeso artificial, mientras que la bibliografía indica que la sustitución en el cemento portland puede llegar a ser de entre 30-40 kg por tonelada.
- De media se incorporan en Colombia alrededor de 80 kg de residuos para producir cemento a partir de clínker. Las prácticas internacionales indican que es posible introducir entre 200 y 500 kg de materiales alternativos en el caso de fabricación de cementos binarios, ternarios o cuaternarios (la media está más cercana a 200 kg).
- En la fabricación de concreto es posible sustituir cemento por adiciones suplementarias (cenizas volantes, humo de sílice, escorias granuladas, otras adiciones hidráulicas o puzolánicas) hasta 30 kg/m³ de hormigón.

Así mismo, por cada m³ de hormigón también es posible sustituir alrededor de 1000 kg de áridos por agregados provenientes de residuos m³ de hormigón, Según los cálculos de este estudio, en Colombia se estarían incorporando alrededor de 0,3 kg por tonelada de concreto.

El grado de sustitución de incorporación de materiales residuales difiere en gran medida entre las empresas consultadas, sin embargo, el potencial de mejora es muy importante.

Resultados generales

La principal generación de residuos se da en la etapa post-consumo, ya que los residuos post-industriales son muy reducidos. En la actualidad la recogida y el reciclaje de estos residuos en el país son muy bajos.

La cadena de valor del concreto y el cemento presenta un importante potencial de metabolizar otros residuos, pero este potencial está siendo infra-utilizado.

Algunos de los puntos clave de los resultados del Análisis de Flujo se detallan en la Tabla 68

Criterios para identificar flujos residuales prioritarios	Cemento y concreto post-consumo
Residuo final a disposición	16.414.000
Importación de residuos	0
Exportación de residuos	0
Tasa de recogida	3,85%
Tasa de reciclaje	0.7%
Puntos débiles identificados en benchmark internacional para los productos analizados	<ul style="list-style-type: none"> - Inventario: ausencia de información sobre generación de residuos de construcción y demolición y su recogida - Baja implantación de sistemas

Criterios para identificar flujos residuales prioritarios	Cemento y concreto post-consumo
	recogida organizada y controlada - Aplicaciones potenciales (cementera, concretera) desaprovechadas.

Tabla 68. Datos clave referentes al flujo de residuos post-consumo de concreto y cemento

La información disponible sobre el flujo de materiales en la cadena de valor del cemento y el concreto, así como sus características, hacen posible presentar un análisis más detallado de los aspectos clave que permitirían impulsar la economía circular. La importancia de cada aspecto analizado se refleja en la dimensión del icono azul.

	Residuos cemento y concreto post consumo	Observaciones
Ecodiseño		Introducir ecodiseño para deconstruir e incorporar mayor cantidad de recursos alternativos en productos de base cemento
Mejoras en Proceso		Aspecto de menor influencia en la actualidad
Mejorar Separación en origen		Es necesario mejorar la separación en origen de los agregados en la fase de construcción/demolición.
Mejorar la recogida		La recogida se lleva a cabo en su mayoría de forma informal, lo que imposibilita el seguimiento del resultado y el control de la gestión del residuo.
Mejorar pretratamiento / acondicionamiento		Sería necesario contar con instalaciones automatizadas y de mayor nivel tecnológico para el tratamiento de los residuos y su acondicionamiento
Limitaciones de reciclaje inherente al material		Aspecto de menor influencia en la actualidad. Muchas de las oportunidades existentes no son aprovechadas
Capacidad instalada de reciclaje		Existen diferentes industrias que pueden demandar este residuo, si se desarrollase un canal establecido para su abastecimiento
Desarrollo tecnológico necesario para el reciclaje		Incrementar nivel tecnológico de recuperación de materiales. Oportunidad de diversificación de negocios para el sector.
Producto acabado normalizado		Incrementar la generación de conocimiento para uso de materiales alternativos en productos base cemento. Formación al sector.
Aceptación/ demanda del material secundario		En la actualidad se reutiliza una pequeña parte en obra. En cementera y concretera no debería haber una limitación en este sentido, al tratarse de una práctica habitual en otros países. Promover compra pública verde innovadora para estimular la demanda. Instrumentos de estímulo económico que coadyuven a activar la demanda.

Tabla 69. Aspectos relevantes para implementar la economía circular en las corrientes residuales analizadas

5.6.3. Polímeros

Generación y recogida de residuos

En términos globales, la cantidad de residuos plásticos generados en el país, de acuerdo a las estimaciones, es de 29 kg/persona, mientras que en Europa se calcula que es de 50 kg/habitante (PLASTICS EUROPE, 2016).

De acuerdo a los datos estimados, la mayor generación de residuos se da en la etapa post-consumo (93%).

En lo referente a los residuos post-industriales, no se ha detectado información actualizada sobre la generación de residuos plásticos en la industria manufacturera, ni sobre su gestión. Los datos utilizados, correspondientes al año 2013, muestran bajas cantidades de residuos generados, lo que concuerda con la información facilitada por Acoplásticos. La tasa de reincorporación de las mermas plásticas al propio proceso productivo es muy alta en el país.

Las tasas de recogida y reciclado reportadas en este estudio se han estimado a partir de la información facilitada por fuentes consultadas, información bibliográfica y cálculos propios. Sin embargo presenta varias inconsistencias. La dificultad de acceder a la información sobre tasas de recogida está ligada en gran medida a las características del sector. Según datos de 2011, los recicladores de la cadena básica recuperaban el 52.5% de los residuos, y las empresas el 47.5% (ALUNA CONSULTORES LIMITADA, 2011). Esta situación conlleva, por un lado, una alta contribución a la tasa de reciclaje, pero también un grado importante de informalidad en el sector.

Además, fuentes industriales del sector del reciclaje identifican la necesidad de mejorar la separación y pretratamiento de los residuos antes del proceso de reciclaje. La falta de capacitación del personal y la ausencia de equipamiento adecuado dificultan estas operaciones, lo que incide en el resultado final de las operaciones de reciclaje.

Reciclaje de residuos

La tasa global de reciclaje de plásticos estimada para el país es del 20%. De acuerdo a los datos de partida (principalmente provenientes de publicaciones de DANE y Acoplásticos), las tasas de reciclaje más altas corresponden al residuo post-consumo.

En la mayoría de los casos se desconoce el grado de reciclaje por polímero. A nivel post-industrial, una encuesta realizada por Acoplásticos reporta que los polímeros que más se entregan para reciclaje son HDPE, PP y PS. Sin embargo, el número de encuestados es muy limitado, por lo que esta información requiere mayor contraste.

Tasa de reciclaje		Total	Residuo post-industrial	Residuo post-consumo
Plásticos		22%	35%	22%
Polímeros específicos	PET	30% ²¹	-	
	PVC	7%	100%	Bajo

Tabla 70. Tasa de reciclaje en la cadena de valor del plástico

²¹ ENKA

La tasa estimada de reciclado conlleva que un 80% de los plásticos termina en botaderos. En Europa la tasa de disposición de los plásticos es del 30.8% (PLASTICS EUROPE, 2016), y el resto es recuperado mediante reciclaje o incineración con recuperación energética.

En lo referente a los plásticos post-consumo, la siguiente figura muestra las tasas de reciclado y recuperación energética de plásticos post-consumo de diferentes países europeos en 2012 (PLASTICS RECYCLERS EUROPE, 2016)



Figura 42. Tratamiento de los residuos plásticos post-consumo en Europa (PLASTICS RECYCLERS EUROPE, 2016)

Como se puede apreciar en la gráfica las tasas de reciclado más altos están entre el 30-40%. La tasa de disposición final se reduce en gran medida también debido a las operaciones de recuperación energética.

Cabe mencionar, por último, que existe un mercado internacional para residuos plásticos, aunque de dimensiones reducidas según los datos reportados por Acoplásticos. En cualquier caso, el balance de materiales importados/exportados es positivo, con una entrada global de plásticos de alrededor de

6.000 toneladas. De hecho, en el caso del PET, se ha constatado que en la actualidad la demanda de residuos de PET es superior a las cantidades que es posible recabar en el país, por lo que se está importando material.

Resultados generales

Las limitaciones en la recogida de información siguen siendo un aspecto clave, sobre todo en lo referente a la cantidad de residuos recogidos y reciclados.

De acuerdo a fuentes industriales (Acoplásticos) la generación de residuos post-industria es muy limitada debido a la reutilización en la propia fábrica, y la tasa de reciclaje es alta (35%). Sin embargo, un mayor control de las operaciones de gestión permitiría contar con información oficial sobre estos residuos, además de garantizar su aprovechamiento en condiciones adecuadas.

Del mismo modo, la alta informalidad en la recogida post-consumo (principal corriente residual) no permite contar con estadísticas fiables. Según estimaciones del sector, la tasa de reciclaje es alta también en este caso, aunque probablemente sea muy diferente por polímero, siendo el PET el más reciclado.

Para algunos polímeros (por ejemplo PET), existe más demanda de material secundario de lo que se recoge en el país, por lo que la oportunidad es clara.

La tasa de disposición final de residuos plásticos (tanto controlada como incontrolada) es muy alta, al no existir alternativas al vertedero y al reciclaje.

Cabe mencionar también que esta cadena de valor ofrece la posibilidad de asimilar residuos de otras corrientes, bien mediante la producción de biopolímeros a partir de residuos, o mediante la incorporación de cargas recicladas o fibras de origen vegetal. No se han identificado prácticas en este sentido en el país. Algunos de los puntos clave se detallan en la siguiente tabla:

Criterios para identificar flujos residuales prioritarios	Polímeros post-consumo	Polímeros post-industria	TOTAL
Residuo final a disposición	1.100.000	4.600	1.104.600
Importación de residuos	-	-	11.456
Exportación de residuos	-	-	5.361
Tasa de recogida	N.D. ²²	N.D.	N.D.
Tasa de reciclaje	-22%	35%	22%
Puntos débiles identificados en benchmark internacional para los	<ul style="list-style-type: none"> - Ausencia de información: detalle por polímero, control de tasa de recogida, etc. Necesidad de una recogida organizada y controlada. Mejora de las operaciones de pretratamiento 		

²² No Disponible

Criterios para identificar flujos residuales prioritarios	Polímeros post-consumo	Polímeros post-industria	TOTAL
productos analizados	<ul style="list-style-type: none"> - Margen de optimización del tasa de reciclaje - Alta tasa de disposición final 		

Tabla 71. Datos clave referentes al flujo de diferentes corrientes de residuos poliméricos

La información disponible para este material y sus características permiten presentar un análisis más detallado de los aspectos clave permitirían impulsar la economía circular. La importancia de cada aspecto analizado se refleja en la dimensión del icono azul.

	Plásticos post industria	Plásticos post consumo	Observaciones
Ecodiseño			Incrementar ecodiseño de productos plásticos para incrementar la recuperación ulterior
Mejoras en Proceso			
Mejorar Separación en origen			Es necesario mejorar y formalizar la separación en origen de los plásticos en la industria, y también a nivel post-consumo, fomentando la separación doméstica de residuos.
Mejorar la recogida			La recogida se lleva a cabo en su mayoría de forma informal, lo que imposibilita el seguimiento del resultado y el control de la gestión del residuo.
Mejorar pretratamiento / acondicionamiento			Sería necesario contar con instalaciones automatizadas para el tratamiento de los residuos; es decir, mejorar el nivel tecnológico
Limitaciones de reciclaje inherente al material			Aspecto de menor influencia en la actualidad
Capacidad instalada de reciclaje			Es preciso recabar información sobre la capacidad real de reciclaje por polímero. En casos como el del PET, la capacidad es mayor que la capacidad de recogida de residuos del país.
Desarrollo tecnológico necesario para el reciclaje			Aspecto de menor influencia en la actualidad

	Plásticos post industria	Plásticos post consumo	Observaciones
Producto acabado normalizado			Aspecto de menor influencia en la actualidad
Aceptación/demanda del material secundario			Precisa un análisis más detallado en el país, aumentando el alcance de las encuestas realizadas en la actualidad.

Tabla 72. Aspectos relevantes para implementar la economía circular en los residuos poliméricos

5.6.4. Acero

Producción de acero

El acero es un sector de gran relevancia en Colombia, y la producción nacional no cubre la demanda del mercado. Sobre un total de consumo de 3.766.000 en 2013, aproximadamente el 30% es de producción nacional. Teniendo en cuenta que la capacidad de fabricación a partir de mineral es muy limitada, la importancia de la recuperación de chatarra en el país es clave.

Generación, recuperación y reciclado

Según los datos de 2013, la exportación de chatarra es prácticamente equiparable a su importación. En total, en Colombia se consumen alrededor de 1 millón de toneladas de chatarra al año, principalmente de origen nacional. La principal fuente de chatarra, según cálculos propios, serían los residuos post-consumo (alrededor del 80%), mientras que la chatarra industrial constituiría el 20%.

No ha resultado posible contar con información pública y sectorial sobre generación de residuos en el país, ni tasas de reciclado. Sin embargo, atendiendo a la cantidad incorporada a la cadena de valor, y las posibles fuentes de generación, se puede aventurar que se trata de una recogida muy optimizada.

Tasa de reciclaje	Total	Residuo post-industrial	Residuo post-consumo
Chatarra férrica	85-90%	97% estimado en el estudio	85% (estimado en el estudio)

Tabla 73. Tasa de reciclaje en la cadena de valor del acero

El reciclaje de chatarra de acero en Europa es de alrededor del 85%, si bien varía en función del producto (ARCELORMITAL).

Al no conocer las fuentes de los residuos post-consumo, tampoco es posible identificar posibles alternativas para la mejora. La elevada informalidad de la recogida del residuo contribuye en gran medida a esta ausencia de información. Según las aplicaciones del acero en el país (se estima que el 70% se aplica en la construcción) y la información internacional, las principales estrategias para garantizar la recogida de chatarra se deben enfocar en residuos de construcción y demolición, aparatos eléctricos y electrónicos y vehículos fuera de uso.

Se desconoce la contribución del sector astillero a la generación de chatarra en el país, pero pudiera ser un punto a analizar.

Otros residuos siderúrgicos

Respecto a los residuos/subproductos (escorias, cascarilla, etc.) de la industria siderúrgica, sus ciclos no están aún optimizados, si bien la información disponible sobre su tratamiento es muy baja. Se han asumido las siguientes tasas de acuerdo a la información disponible.

Tasas de reciclaje	Tasa de reciclaje	Destino
Escorias de alto horno	100%	Cementera
Lodos de depuración de alto horno	0%	Disposición
Polvos de alto horno	0-20% ²³	Disposición-Reciclaje
Escoria Convertidor	100% ²⁴	Fertilizante
Polvo EAF	0%	Disposición

Tabla 74. Tasa de reciclaje en la cadena de valor del acero

Sólo hay información específica sobre reciclaje de escorias de alto horno y de convertidor. En el caso de las escorias de convertidor, se ha asumido un 100% de reciclaje, aunque se desconoce la cifra. En Europa la fracción destinada a esta aplicación es del 3%, aunque el total de aprovechamiento de esta fracción alcanzaría el 89%. Sería necesario contar con más información para un mejor análisis.

Las escorias de horno eléctrico se considera que están muy lejos de cerrar sus ciclos, mientras que constituyen una corriente residual cuantitativamente relevante. Se han realizado diversos estudios para analizar la viabilidad del uso de estas escorias (por ejemplo, en infraestructuras), pero en la actualidad no están siendo utilizadas. A nivel internacional su aplicación en rellenos está muy extendida. En Europa la tasa de reciclaje varía en función del tipo de acero y el país, pero de media el 38.6% de estas escorias está siendo aprovechada.

Cabe resaltar además que en Europa el 67% de los lodos y polvos de Alto Horno están siendo reciclados, la mayor parte de ellos en la propia planta (Joint Research Centre of the European Commission, 2013). Sería necesario contar con mayor información para evaluar la situación específica en Colombia.

Resultados generales

El consumo de acero del país depende mayoritariamente del producto importado, y aproximadamente el 75% de la producción de acero nacional utiliza la chatarra recuperada como materia prima.

El principal problema para el análisis, también en este caso, es la ausencia de información sobre cantidades de chatarra generada, recogida y reciclada. Las necesidades de la industria nacional de

²³ No se conoce el ratio de reciclaje real.

²⁴ No se conoce el ratio de reciclaje real. Se ha asumido que es el 100. A tratarse de un residuo habitualmente reciclado se ha asumido que existe al menos un mínimo de reincorporación al horno.

acero y los contactos con agentes del sector apuntan a que la tasa de recuperación es muy alta. Se ha estimado una tasa de reciclaje del 85%, una tasa alta pero que aún deja margen para la mejora. La alta informalidad del sector de recogida no permite mejores fuentes de información.

Respecto a los residuos siderúrgicos, existe amplio margen de mejora en lo que respecta a los lodos de depuración de Alto Horno, polvos de Alto Horno y Horno de Arco Eléctrico, escorias de Horno de Arco Eléctrico y cascarilla. El sector precisa un análisis más pormenorizado, que permita superar las carencias de información identificadas, y alcanzar altas tasas de reciclaje. La siguiente tabla resume algunos de los aspectos clave mencionados.

Criterios para identificar flujos residuales prioritarios	Chatarra férrica	Escorias Alto Horno	Escorias EAF	Escorias convertidor	Lodos depuración	Polvos Alto Horno	Polvo EAF	Cascarilla
Residuo final a disposición	139.952	0	182.665	0	4.068	4.843	18.267	48.000
Importación de residuos	83.413	710.052	0	0	0	0	0	0
Exportación de residuos	83.413	0	0	0	0	0	0	0
Tasa de recogida	85%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Tasa de reciclaje	85%	100%	0%	100% ²⁵	0%	0%	0%	20%
Puntos débiles identificados en benchmark internacional para los productos analizados	- Ausencia de información - Potencial de mejora.		- Potencial de reciclaje: construcción	- Ausencia de información (tasa de reciclaje, productos reciclados)				

Tabla 75. Datos clave referentes al flujo de diferentes corrientes de residuos de acero

5.6.5. Celulosa y papel

Residuos post-industriales

En primer lugar, cabe destacar los residuos generados en la propia actividad productiva, que, en el año 2015, ascendieron a un total de 561.380 toneladas.

²⁵ No se conoce el ratio de reciclaje real. Se ha asumido que es el 100.

Estos residuos fueron valorizados en un 73%, aunque se desconoce el origen y la composición de los mismos, así como el destino final del 64%. De forma genérica, el sector apunta a que dicho destino fue una valorización. Esta ausencia de información hace muy dificultosa la identificación de alternativas de valorización de mayor valor añadido. Se recomienda profundizar más con el sector en tipologías y opciones de recuperación.

Al comparar la situación en Colombia con la situación del sector en España, país referente en Europa, donde se consigue una tasa de valorización del 81%, se colige que al menos un 8% de los residuos generados actualmente en Colombia serían susceptibles de ser valorizados cuando no lo están siendo en la actualidad.

Asimismo, a falta de identificar los procesos concretos de valorización en Colombia, el potencial de mejora de los procesos actuales de compostaje y uso como materias primas en otras industrias podría mejorarse desde el 6 y 3% respectivamente, hasta el 9,3% de compostaje y el 5,8% de materias primas en otras industrias alcanzados en España. Otras opciones menos preferentes, que se alejan del objetivo de cierre de ciclos, serían la valorización energética, que en España representa un 27,5% (el 25,3% en las propias instalaciones productivas) y el uso directo agrícola que en España representa el 22,1%.

Residuos post-consumo

Los residuos de papel y cartón post-consumo representaron en el año 2015 un total de 784.917 toneladas recogidas. En este caso, la tasa de recolección del 61% en Colombia al ser comparada con la tasa de recolección del 71% en España muestra el potencial de mejora de los sistemas de recogida de este tipo de residuos.

Asimismo, la comparación de las tasas de reciclado de Colombia y España, 55% frente al 81% respectivamente, demuestran que existen alternativas de mejora en la valorización de este tipo de residuos.

Potencial de metabolización de otros residuos

La industria del papel tradicionalmente ha permitido aprovechar residuos procedentes de otras cadenas de valor. En concreto, en Colombia se aprovecha un 20% de los residuos de bagazo generados en la industria del azúcar. Teniendo en cuenta que el sector azucarero también demanda este residuo para la producción de energía, no es posible conocer la posibilidad de ampliar este aprovechamiento.

Resultados generales

Aunque no existe información detallada sobre la cantidad de residuos post-consumo generados, todo apunta a que este es el punto donde se pierde la mayor parte del material. Aunque la tasa de recogida y reciclaje es buena, deja un amplio margen de mejora en comparación con otros países como España.

No es posible valorar en detalle las estrategias de valorización de residuos post-industria por falta de información, si bien parece claro que también en este ámbito el potencial de mejora es amplio. Se han identificado las principales estrategias de aprovechamiento en otros países, pero no es posible establecer la comparación con la situación Colombiana.

Respecto a la metabolización de residuos de otras cadenas de valor, hay prácticas bien establecidas en el país, si bien este sector aún ofrece mayores oportunidades en este sentido.

Criterios para identificar flujos residuales prioritarios	Residuos de papel post-consumo	Lodos de destintado	Desechos de fibras y lodos de fibras de materiales de carga y de estucado	Otros lodos
Residuo final a disposición	Desconocido	25.479	31.399	25.969
Importación de residuos	97.012	0	0	0
Exportación de residuos	0	0	0	0
Tasa de recogida	61%	100%	100%	100%
Tasa de reciclaje	55%	73%	73%	73%
Puntos débiles identificados en benchmark internacional para los productos analizados	- Ausencia de datos - Amplio margen de mejora en el recogida y reciclaje	- Ausencia de información detallada - Potencial de mejora de la tasa de valorización de estos residuos. - Necesidad de datos fiables para evaluar potenciales procesos de aprovechamiento.		

Tabla 76. Datos clave referentes al flujo de diferentes corrientes residuos de la cadena de valor del la celulosa y el papel en Colombia

5.6.6. Resumen de resultados

El primer aspecto a resaltar nuevamente es la necesidad de recabar información de calidad que permitan superar las carencias identificadas en el estudio.

Por otro lado, el análisis de flujo realizado en el estudio permite identificar los principales puntos de pérdida de material en forma residuos enviados a disposición final.

Residuos a disposición final	Post-industrial	Post-consumo
Bioresiduos	12.591.610	5.057.788
Cemento-concreto	Despreciable	16.414.000
Polímeros	4.600	1.100.000
Acero	257.843	139.952 ²⁶
Papel-cartón	82.847	Alto ²⁷

Tabla 77. Principales residuos enviados a disposición final de acuerdo al análisis realizado

Como se aprecia, la pérdida de materiales es prioritaria en el caso del cemento/concreto, los bioresiduos, los polímeros y el papel y cartón, en ese orden. En la mayoría de los casos no hay información sobre la tasa de recogida de los residuos. Tan sólo pueden comentarse dos aspectos en este sentido:

- La tasa de recogida de residuos orgánicos post-consumo se supone que es equivalente a la cobertura de la recogida de basuras del país, al ir integrados con los residuos domésticos. Esta tasa sería del 83,4%, inferior a la media de América Latina y Caribe. El aprovechamiento de este residuo pasaría además por una recogida selectiva de esta fracción.
- La tasa de recogida de los residuos de construcción y demolición es inferior al 2%, muy por debajo de las prácticas Europeas.
- La tasa de recogida de papel es de 61%, inferior a la de otros países como España.

En cuanto a los residuos post-industria, los más significativos son los siguientes:

- Bioresiduos: la cantidad generada es muy importante y las tasas de aprovechamiento (basadas en valores de 2013) son bajas. Es necesario destacar que en el estudio realizado para la cadena de valor del azúcar se han identificado tasas de aprovechamiento cercanas al 90%, aunque cabe buscar procesos de reciclaje que permitan obtener materiales de mayor valor añadido.
- Acero: los residuos siderúrgicos son los más voluminosos, y dentro de ellos las escorias de Horno de Arco Eléctrico.
- Papel y Cartón: los lodos y otros residuos de la industria papelera presentan una tasa de aprovechamiento importante, aunque optimizable.

En referencia a las tasas de reciclaje, la siguiente tabla resume los principales datos calculados.

²⁶ Las escorias de Horno de Arco Eléctrico son los principales residuos enviados a disposición final.

²⁷ No ha sido posible cuantificar

Criterios para identificar flujos residuales prioritarios	Post-consumo	Material Post-industrial	Valoración
Tasa de reciclaje orgánica	0%	41%	En el caso del residuo post-consumo la tasa promedio europea es del 17%. La disposición final del 100% es muy superior a países Europeos, debido a La ausencia de otras opciones de valorización hace que la cantidad final enviada a disposición final sea elevada.
Tasa de reciclaje RCD	0.7%	²⁸	Esta tasa de recogida es mínima, muy lejos del 50% máximo (apartado 4.4.2)
Tasa de reciclaje Polímeros	22%	35%	Alto tasa de aprovechamiento post-consumo, si bien puede optimizarse hasta 35%, según mejores prácticas en países Europeos. La ausencia de otras opciones de valorización hace que la cantidad final enviada a disposición final sea elevada.
Tasa de reciclaje metal	85%	97% chatarra 0-100% otros residuos	Alto aprovechamiento de residuos post-consumo que puede optimizarse. Necesidad de información para evaluar la gestión de los residuos siderúrgicos. Las escorias de horno de arco eléctrico constituyen una fracción importante que no está siendo valorada en la actualidad, mientras que en Europa tiene demanda en infraestructuras y construcción. Es necesario medir la fracción de otros residuos que está siendo recuperada (escoria de convertidor, polvos, lodos, cascarilla) para evaluar su idoneidad.
Tasa de reciclaje papel	55%	73% otros residuos	La tasa de reciclaje post-consumo puede optimizarse, así como la tasa de aprovechamiento de los residuos papeleros. Se deben buscar y registrar destinos para los subproductos de la industria papelera en otras industrias.

Tabla 78. Tasas de reciclaje de las principales corrientes residuales

Respecto a la metabolización de otros residuos en las cadenas de valor analizadas, se observan los siguientes aspectos:

- La cadena de valor del cemento y el concreto presenta un gran potencial de metabolización de residuos que actualmente está infrutilizado. En la actualidad en Colombia se incorporan

²⁸ Corriente no significativa

menos de 200 kg de material residual por m³ de concreto (desde la producción de clínker), cuando en las prácticas internacionales esta tasa es de más de 1000 kg por m³.

- El sector paplero está metabolizando una importante cantidad de residuos orgánicos (bagazo). La tasa de incorporación de residuos a este sector podría ampliarse buscando nuevas fuentes.
- La cadena de valor ofrece la posibilidad de asimilar residuos de otras corrientes, bien mediante la producción de biopolímeros a partir de residuos, o mediante la incorporación de cargas recicladas o fibras de origen vegetal. No se han identificado prácticas en este sentido en el país.

6. Análisis de ciclo de vida

6.1. Objetivo y alcance de la tarea

La Subtarea 1.2 persigue identificar y analizar oportunidades para reducir, recuperar y tratar residuos sólidos de productos representativos de los sectores manufactureros y de la construcción colombianos. Para ello se ha realizado el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de productos relevantes calculando los potenciales impactos que llevan asociados en la situación actual de Colombia. Los resultados obtenidos se han comparado posteriormente con un escenario optimizado en el que se implantan nuevas alternativas de gestión de residuos (reducción, reutilización, reciclaje) basadas en las mejores prácticas internacionales. Las hipótesis planteadas están dirigidas a modelar oportunidades de reducción de residuo no valorizado (enviado a vertedero), así como a promover la sustitución de materia prima virgen por materia secundaria procedente de la valorización de residuos de otras industrias (simbiosis industrial).

La metodología diseñada para este análisis se ha basado en las siguientes etapas:

- Establecer un procedimiento de selección de los productos representativos, identificando y justificando los criterios empleados, así como su priorización.
- Seleccionar los productos
- Detallar los procesos de fabricación de los productos seleccionados, identificando entradas y salidas, unidad funcional y condiciones de contorno de los posteriores ACVs.

Los resultados de estas 3 actividades se han contrastado con el equipo técnico del DNP y el Banco Mundial con el fin de precisar el alcance y el número de productos y ACVs.

- Resumir la metodología de ACV, detallando las opciones a emplear (etapas del ciclo de vida a analizar, fuentes de datos consideradas, métodos de asignación de impactos, evaluación de sensibilidad, etc.).
- Presentar y discutir resultados de los ACVs realizados.

- Identificar oportunidades de reducción de residuos no valorizados, así como de incorporación de materiales reciclados en los procesos de fabricación de los productos.
- Definición y cuantificación de impactos evitados asociados a las oportunidades de reducción de residuos planteadas.
- Resumen de las oportunidades propuestas y conclusiones de la subtarea.

A continuación se desglosan y discuten cada uno de los apartados de la metodología.

6.2. Selección de productos

El equipo consultor ha empleado la metodología multicriterio (AHP), utilizada anteriormente en la subtarea ST1.1, para la selección de productos sobre los que realizar los ACVs. Los criterios empleados, así como su descripción y unidades de medida, se presentan a continuación.

6.2.1. Criterios de selección

Se plantean 3 ámbitos de decisión: materiales, medioambiente e información. En el ámbito de materiales se considera el volumen empleado de materiales clave, su necesidad de importación y la necesidad de renovación del producto con base en su vida útil prevista. En el ámbito medioambiente se considera la contribución del producto al efecto invernadero, la generación de residuos sólidos y el potencial de mejora basado en las mejores prácticas existentes. Por último se ha incluido el ámbito información para considerar la importancia fundamental de manejar datos fiables en un ACV.

Criterios	Definición	Unidades
C1 - Consumo de materiales clave	Volumen de materiales clave (biomateriales, cemento y concreto, polímeros, celulosa y papel, acero y textiles) empleados en la producción anual en Colombia	ton/año
C2 - Necesidad de importación	Importaciones anuales de la(s) categoría(s) asociada(s) al producto	ton/año
C3 - Vida útil del producto	Duración estimada del producto. Cuanto más breve sea su duración, mayor será su renovación y el interés en su mejora	1/años
C4 - Efecto invernadero	Contribución del producto al efecto invernadero derivada de la emisión de GEI (datos sectoriales de huella de carbono)	kg CO ₂ eq /ton
C5- Generación de residuos sólidos	Volumen de residuos generados por volumen unitario de producto	- (ton/ton)
C6 - Previsión de mejora	Potencial de mejora de reducción de residuos, valorización de subproductos o mejora de la eficiencia de materiales (diferencia entre su situación actual y su reciclabilidad óptima o mejores prácticas) <ul style="list-style-type: none"> - Alta: mejora superior a 25%, con evidencias técnicas=(1) - Media: mejora entre 5 y 25% =(0,5) 	-

Criterios	Definición	Unidades
	- Baja: mejora inferior a 5%, sin evidencias suficientes = (0)	
C7 - Disponibilidad de información	Fiabilidad de la información a manejar - Alta: contrastada por empresas o asociaciones = (1) - Media: obtenidos de estudios sectoriales o el DANE = (0,5) - Baja: estimado a partir de datos bibliográficos o bases de datos internacionales = (0)	-

Tabla 79: Definición de los criterios de selección

6.2.2. Ponderación de criterios

La asignación de pesos se realiza en dos (2) fases. En primer lugar los criterios bajo un mismo ámbito (materiales, medio ambiente e información) son comparados por pares. Una vez determinado el peso de cada criterio, se realiza una comparación similar entre los ámbitos considerados. De esta forma, el número máximo de elementos comparados por pares entre sí se limita a 3, lo cual facilita la consistencia de las comparaciones.

La Figura 1 muestra la contribución de cada criterio a la decisión final (idoneidad del producto para el ACV y la búsqueda de oportunidades de reducción de residuos e incorporación de residuos o subproductos valorizados).

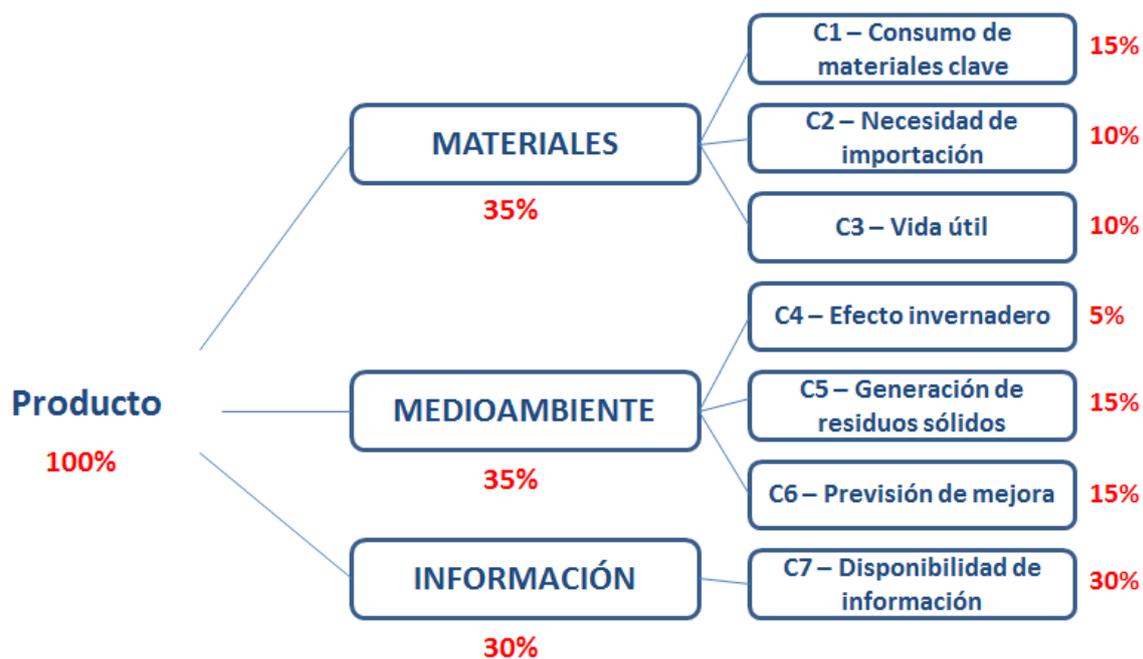


Figura 43: Contribución de cada criterio a la decisión

6.2.3. Listado inicial de productos

Teniendo en cuenta las limitaciones del presente estudio, se ha generado un listado inicial de productos a partir de los materiales más habituales en los sectores manufacturero y de la construcción en Colombia. Se han buscado productos susceptibles de ACV, descartando aquellos que incorporan gran cantidad de subcomponentes de diferente naturaleza (autos, computadoras, etc.)

Materiales clave	Productos	Consumo materiales	Necesidad importación	Vida útil	Efecto invernadero	Efectos carcinógenos	Residuos sólidos	Opciones mejora	
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	
		(ton/año)	(ton/año)	(años ⁻¹)	(kg CO ₂ eq /ton)	(CTUh/ kg)	(-)	(-)	
Biomaterial	Azúcar	22.728.758	0	0	450	3.4E-9	7,33	Media	
Biomaterial	Aceite de palma	4.580.930	0	0	2180	5,79E-08	0,55	Media	
Cemento	Mortero	571.650	87.988	0,02	225	9,8E-09	0	Alta	
Cemento	Concreto premezclado	2.255.350	347.143	0,01	279	0,00000471	0	Alta	
Polímeros	Bolsa LDPE	259.000	102.848	91,25	3213	0	0	Media	
Polímeros	PP – Fleje	240.000	59.624	91,25	1600	0,000000051	0	Media	
Polímeros	PVC – tubería	220.000	71.741	0,02	2000	0,000000109	0	Media	
Polímeros	PET - embalaje	163.000	140.804	3,3	1400	0,000000197	0	Media	
Polímeros	EPS - Icopor	78.000	6.909	3,3	5000	0,000000105	0	Baja	
Papel	Papel imprenta (a partir de fibra virgen)	384.000	57.600	0,02	430	4,445E-07	0,54	Media	
Papel	Papel empaque (a partir de papel reciclado)	588.000	88.200	0,2	885	6,28E-08	0,54	Media	
Acero	Palanquilla	1.800.000	2.750.000	0,01	1700	0,000000416	0,15	Media	
Textil	Tejido de algodón (gramaje 150 gr/m ²)	80.000	40.000	0,1	22	0,00000016	2400	Baja	
Textil	Hilados de poliéster con algodón (gramaje 100 gr/m ²)	50.000	20.598	0,1	25	0,000000245	1500	Baja	

Tabla 80: Listado inicial de productos.

6.2.4. Evaluación de productos

La siguiente tabla muestra los valores obtenidos la evaluación, siguiendo la metodología AHP.

Materiales clave	Productos	Consumo materiales	Necesidad importación	Vida útil	Efecto invernadero	Efecto carcinógeno	Residuos sólidos	Opciones mejora	Info disponible	Índice global
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	
		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Biomaterial	Azúcar	1,000	0,000	0,000	0,090	0,001	0,003	0,5	0	0,22981
Biomaterial	Aceite de palma	0,202	0,000	0,000	0,436	0,012	0,000	0,5	0	0,12706
Cemento	Mortero	0,025	0,032	0,000	0,045	0,002	0,000	1	1	0,45924
Cemento	Concreto premezclado	0,099	0,126	0,000	0,056	1,000	0,000	1	1	0,48031
Polímeros	Bolsa LDPE	0,011	0,037	1,000	0,643	0,018	0,000	0,5	1	0,51258
Polímeros	PP - Fleje	0,011	0,022	1,000	0,320	0,011	0,000	0,5	1	0,49475
Polímeros	PVC - tubería	0,010	0,026	0,000	0,400	0,023	0,000	0,5	1	0,39908
Polímeros	PET - embalaje	0,007	0,051	0,037	0,280	0,042	0,000	0,5	1	0,39885
Polímeros	EPS - Icopor	0,003	0,003	0,037	1,000	0,022	0,000	0	1	0,35442
Papel	Papel imprenta (a partir de fibra virgen)	0,017	0,021	0,000	0,086	0,094	0,000	0,5	1	0,38397
Papel	Papel empaque (a partir de reciclado)	0,026	0,032	0,002	0,177	0,013	0,000	0,5	1	0,39118
Acero	Palanquilla	0,079	1,000	0,000	0,340	0,088	0,000	0,5	1	0,50390
Textil	Tejido de algodón (gramaje 150 gr/m ²)	0,004	0,015	0,001	0,004	0,340	1,000	0	0	0,10232
Textil	Tejido de poliéster (gramaje 100 gr/m ²)	0,002	0,007	0,001	0,005	0,052	0,625	0	0	0,06394
Pesos		0,15	0,10	0,10	0,05	0,05	0,10	0,15	0,30	

Tabla 81: Resultados de la evaluación de productos aplicando la metodología AHP

6.2.5. Productos seleccionados

Los resultados obtenidos mediante la metodología AHP han sido nuevamente analizados teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Una segunda evaluación ambiental de las oportunidades de mejora identificadas en mortero, concreto premezclado y palanquilla requeriría un esfuerzo similar a un nuevo ACV.
- Se descarta incluir mortero por su semejanza con el concreto.
- Pese a los índices globales de los materiales, puede ser interesante incluir productos de papel en lugar de tres (3) productos basados en resinas.
-

Teniendo en cuenta esta revisión, los productos finalmente seleccionados han sido los siguientes:

1. Producto: Concreto Premezclado (Material: Cemento y concreto)
2. Producto: Envases PET (Material: Plástico)
3. Producto: Palanquilla (Material: Acero)
4. Producto: Papel empaque a partir de papel reciclado (Material: Celulosa y papel)

6.3. Metodología de ACV

6.3.1. Alcance y Objetivo

El objetivo de este estudio es evaluar los impactos ambientales asociados a determinados productos en los sectores de la manufactura y la construcción en la economía Colombiana de cara a:

- Identificar puntos críticos susceptibles de mejora, muy especialmente en lo referente al aprovechamiento y reciclaje de materiales
- Analizar la mejora ambiental alcanzable mediante el fomento de la economía circular

En este sentido, el estudio plantea el Análisis de Ciclo de Vida de los siguientes productos:

- Concreto premezclado
- Botella de PET, como producto representativo de envases de PET
- Barra de acero corrugado, como producto representativo producido a partir de palanquilla
- Cartón de embalaje 100% reciclado, como representación de productos de papel empaque a partir de papel reciclado

6.3.2. Ámbito de decisión

El estudio se ha desarrollado en el marco de la Misión de Crecimiento Verde (Green Growth Mission) del Departamento Nacional de Planeación (DNP). Los resultados del estudio persiguen ofrecer al DNP información de partida sobre la eficiencia de los materiales en los sectores manufactureros y de

construcción, así como posibles actuaciones dirigidas a optimizarla. Esta información podrá ser utilizada por el DNP para proponer políticas de acción a largo plazo.

En este contexto, los resultados del Análisis de Ciclo de Vida se combinarán con las conclusiones obtenidas en el análisis de flujos realizado en el marco de este mismo proyecto con el objetivo de identificar posibles estrategias de mejora. Para ello se ha realizado una aproximación al análisis de un escenario mejorado, simulando cuáles serían las implicaciones de la implementación de las medidas de mejora identificadas.

La siguiente tabla resume las principales hipótesis consideradas en los escenarios optimizados.

Escenarios de economía circular	
Concreto premezclado	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la tasa de reciclaje de los residuos de cemento y concreto post-consumo hasta el 50%. • Aumento de grado de sustitución de materias primas por residuos de acuerdo a los máximos identificados en los apartados anteriores, especialmente provenientes de las operaciones de construcción y demolición
Botella de PET	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento del contenido reciclado del producto hasta un 50% • Aumento de la tasa de reciclaje hasta un 50%
Barra de acero corrugado	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la tasa de reciclaje de la chatarra hasta el 97% • Aumento del reciclaje de los residuos siderúrgicos hasta los máximos establecidos en los apartados anteriores
Cartón de embalaje 100% reciclado	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la tasa de reciclaje de papel y cartón hasta el 81% • Aprovechamiento energético de las corrientes de residuos de papelera. • Aprovechamiento de las cenizas generadas en la valorización energética como materia prima para la producción de clínker.

Tabla 82: Resumen de las hipótesis consideradas en los escenarios optimizados

Los Análisis de Ciclo de Vida realizados presentan algunas limitaciones en cuanto a su exhaustividad, principalmente por la carencia de información detectada en diversos puntos del ciclo de vida, para los productos analizados. No obstante, suponen un punto de partida válido para evaluar la situación actual y las posibles actuaciones de mejora.

6.3.3. Aplicabilidad de los resultados

Teniendo en cuenta el alcance geográfico, tecnológico y temporal del estudio, los resultados son aplicables en el entorno de la economía Colombiana.

Tanto las tasas de recogida/reutilización/reciclado de materiales como la demanda y uso de materiales secundarios son específicas de este país, así como otros aspectos tales como el mix eléctrico.

6.3.4. Unidad funcional

Teniendo en cuenta que el objetivo del estudio se centra en una valoración de la influencia de los cambios en el flujo de materiales de determinados productos representativos, se han seleccionado unidades funcionales relacionadas la cantidad de material. El estudio compara dos escenarios para el mismo producto, y en ambos escenarios las funciones de los productos son equivalentes.

Por ese motivo las unidades funcionales seleccionadas para los estudios de Análisis de Ciclo de Vida se centran en la cantidad de material que incorporan:

- 1 m3 de concreto premezclado
- 1 tonelada de botellas de PET
- 1 tonelada de barras de acero corrugadas
- 1 tonelada de cartón de embalaje 100% reciclado

6.3.5. Métodos de asignación de cargas ambientales

Durante el estudio se han empleado las alternativas disponibles para evitar la asignación, de acuerdo a lo establecido en la Norma ISO 14040. Cuando esto no ha sido posible, la asignación se ha llevado a cabo utilizando diferentes criterios de distribución de las cargas ambientales.

La base de datos utilizada como fuente de datos secundarios es Ecoinvent 3.3, siguiendo el modelo de asignación "Allocation Recycled Content". Esta base de datos sigue el método atribucional, en el que se atribuyen las cargas de forma proporcional a los procesos específicos. Se basa en dos decisiones metodológicas:

- Se utiliza el suministro promedio (suministro sin restricciones) de los productos, tal como se describe en los de datos de actividad del mercado. Así, el modelo no utiliza restricciones debido a los mercados y la tecnología. En este modelo el producto, material o servicio puede ser proporcionado siempre, incluso si es escaso.
- Se utiliza la partición (asignación) para convertir los conjuntos de datos de múltiples productos a conjuntos de datos de un solo producto

Al modelar procesos complejos que incorporan materiales secundarios como entradas y tienen salidas de residuos que a su vez serán posteriormente reciclados (a veces en ciclo cerrado) la asignación se vuelve compleja. En este estudio, la asignación en los procesos de reciclaje se ha realizado siguiendo la Fórmula de Circularidad (Circularity Formula) propuesta por la Comisión Europea en el marco de la propuesta metodológica para el Cálculo de la Huella Ambiental (European Commission, 2016).

De acuerdo con la versión 6.1 de la metodología revisada del cálculo de huella ambiental de la Comisión Europea, en aquellos casos en los que se tenga que aplicar la multifuncionalidad de los

productos en situaciones de reutilización, reciclado o valorización energética de uno o más de esos productos, se aplicará la siguiente fórmula, compuesta por tres elementos:

- MATERIALES

$$(1 - R_1)E_v + R_1 \times \left(A E_{recycled} + (1 - A)E_v \times \frac{Q_{Sin}}{Q_p} \right) + (1 - A)R_2 \times (E_{recyclingEoL} - E_v^* \times \frac{Q_{Sout}}{Q_p})$$

VALORIZACIÓN ENERGÉTICA

$$(1 - B)R_3 \times (E_{ER} - LHV \times X_{ER,heat} \times E_{SE,heat} - LHV \times X_{ER,elec} \times E_{SE,elec})$$

DEPOSICIÓN EN VERTEDERO

$$(1 - R_2 - R_3) \times E_D$$

donde:

A: Factor de asignación de impactos y créditos entre el proveedor y el usuario de los materiales reciclados. En este estudio se plantea un valor de **A=0.5**.

B: Factor de asignación de los procesos de valorización energética: aplica tanto a las cargas como a los créditos. En este estudio se plantea un valor de **B=0**.

E_v = emisiones específicas y recursos consumidos (por unidad de análisis) resultantes de la adquisición y el trata-miento previo de material virgen.

E_v^* = emisiones específicas y recursos consumidos (por unidad de análisis) resultantes de la adquisición y el trata-miento previo de material virgen supuestamente sustituido por materiales reciclables:

$E_{recycled}$ = emisiones específicas y recursos consumidos (por unidad de análisis) resultantes del proceso de reciclado del material reciclado (o reutilizado), incluidos los procesos de recogida, clasificación y transporte.

$E_{recyclingEoL}$ = emisiones específicas y recursos consumidos (por unidad de análisis) resultantes del proceso de reciclado en la etapa de fin de vida, incluidos los procesos de recogida, clasificación y transporte.

E_D = emisiones específicas y recursos consumidos (por unidad de análisis) resultantes de la eliminación de residuos en la etapa de fin de vida del producto analizado (p. ej., depósito en vertederos, incineración, pirólisis).

E_{ER} = emisiones específicas y recursos consumidos (por unidad de análisis) resultantes del proceso de valorización energética.

$E_{SE,heat}$ y $E_{SE,elec}$ = emisiones específicas y recursos consumidos (por unidad de análisis) que habrían resultado de la fuente de energía específica sustituida, calor y electricidad, respectivamente.

R_1 [adimensional] = «contenido de material reciclado (o reutilizado)», es la proporción de material de las entradas en la producción que ha sido reciclado en un sistema previo ($0 \leq R_1 \leq 1$).

R_2 [adimensional] = «fracción de material reciclada (o reutilizada)», es la proporción del material en el producto que será reciclada (o reutilizada) en un sistema ulterior.

R_3 [adimensional] = proporción de material en el producto que se utiliza para la valorización energética (por ejemplo, incineración con valorización energética en la etapa de fin de vida ($0 \leq R_3 \leq 1$)).

LHV = poder calorífico inferior, [p. ej., J/kg] del material presente en el producto que se utiliza para la valorización energética.

$X_{ER,heat}$ y $X_{ER,elec}$ [adimensional] = eficacia del proceso de valorización energética ($0 < X_{ER} < 1$) tanto para el calor como para la electricidad, es decir, proporción entre contenido de energía de las salidas (p. ej., producción de calor o electricidad) y contenido de energía del material presente en el producto que se utiliza para la valorización energética.

Q_s = calidad del material secundario, es decir, calidad del material reciclado o reutilizado

Q_p = calidad del material primario, es decir, calidad del material virgen

Teniendo en cuenta que en todos los análisis se ha adoptado un valor de A igual a 0,5, la fórmula de la huella de circularidad asigna los impactos y beneficios derivados del reciclado a partes iguales al productor que utiliza el material reciclado y al productor que produce el producto reciclado.

La fórmula se aplica para cada uno de los elementos de manera independiente según corresponda en cada caso.

6.3.6. Alcance geográfico, temporal y tecnológico

En la medida de lo posible, el estudio se ha alimentado de datos primarios para los principales procesos productivos y de reciclaje, centrándose en tecnologías actuales y datos de los últimos 5 años. Del mismo modo, el estudio se ha enmarcado en las características de la economía Colombiana teniendo en cuenta el perfil tecnológico de sus empresas en los últimos 5 años.

En este apartado cabe destacar dos aspectos específicos referentes a la idoneidad de los datos utilizados para reflejar el marco tecnológico actual de Colombia:

- Electricidad: se ha modelado el mix energético Colombiano, considerando la diferentes fuentes de generación de energía eléctrica en el país (XM, 2016) (Banco Interamericano de Desarrollo, Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Tecnologías de la información y las Comunicaciones, Unidad de Planeación Minero-Energética, Iniciativa Colombiana Inteligente,

2016) (UPME, 2016). No ha sido posible disponer de información de datos de Análisis de Ciclo de Vida para cada una de las tecnologías de generación eléctrica en Colombia, por lo que se han utilizado datos de regiones latinoamericanas disponibles en la Base de datos Ecoinvent v3.3.

- Operaciones de transporte: la edad promedio de las flotas del transporte automotor de carga en Colombia es de 21 años (Barbero, 2017), por lo que se ha considerado el transporte en camiones con unas prestaciones cercanas a las correspondientes a esta edad media.

El estudio se centra en la situación actual de la tecnología Colombiana. El análisis de las variaciones globales a medio/largo plazo queda fuera del alcance del estudio. Los escenarios que modelan las implicaciones de la potenciación de la economía circular se centran en las condiciones actuales del país.

6.3.7. Fuentes y calidad de datos

El Análisis de Ciclo de Vida se ha basado en datos procedentes de diversas fuentes:

- Datos primarios: se han recopilado datos primarios para un gran número de materiales y procesos analizados:
 - Consumo de materiales y energía en procesos clave
 - Origen de las principales materias primas y distancias de transporte
 - Tasas de recogida y reciclaje de residuos
- Datos secundarios: cuando no ha sido posible acceder a datos primarios, el estudio ha utilizado datos provenientes de bases de datos contrastadas (Ecoinvent v3.3).
- La principal fuente de datos del Análisis de Ciclo de Vida es el Análisis de Flujos realizado en el apartado 5. En dicho apartado se detallan las diferentes fuentes de información consideradas y las estimaciones realizadas. Otras fuentes de información se detallan en cada uno de los Análisis de Ciclo de Vida.

6.3.8. Límites del sistema

Se ha planteado un estudio de la cuna a la tumba, incluyendo todas las etapas de extracción de materiales, producción y fin de vida.

Queda excluida del estudio la etapa de distribución de los productos. El estudio compara diferentes escenarios de uso de materiales y aprovechamiento de residuos, y las modificaciones introducidas en estos escenarios no influyen en la etapa de distribución del producto fabricado.

6.3.9. Metodología de Evaluación de Impactos

La metodología seleccionada para la evaluación de impactos se basa en las recomendaciones del manual ILCD (internacional Life Cycle Data System Handbook), desarrollado por el Joint Research Center de la Comisión Europea (Joint Research Center of the European Commission, Institute for Environment and Sustainability, 2011).

Los indicadores de impacto seleccionados en el marco del estudio son los siguientes:

- Contribución al Calentamiento Global: mostrado en kilogramos de CO2 equivalentes.
- Cambio Climático (Potencial de calentamiento global, expresado en kg de CO2 equivalentes).
- Agotamiento de la capa de ozono. Efectos negativos sobre la capacidad de protección frente a las radiaciones ultravioletas solares de la capa de ozono atmosférica. Expresado en kg de R11 equivalente.
- Toxicidad humana. Categoría de impacto correspondiente a los efectos nocivos sobre la salud humana debidos a la absorción de sustancias tóxicas mediante la inhalación de aire, la ingesta de alimentos o agua, o la penetración a través de la piel, en la medida en que estén relacionados con el cáncer. Expresado como CTUe (unidad tóxica comparativa para las personas).
- Toxicidad humana, no carcinogénicos. Categoría de impacto correspondiente a los efectos nocivos sobre la salud humana debidos a la absorción de sustancias tóxicas mediante la inhalación de aire, la ingesta de alimentos o agua, o la penetración a través de la piel, en la medida en que estén relacionados con efectos no cancerígenos. Expresado como CTUe (unidad tóxica comparativa para las personas).
- Partículas/sustancias inorgánicas con efectos respiratorios. Categoría de impacto que corresponde a los efectos nocivos sobre la salud humana debidos a las emisiones de partículas y de sus precursores (NOx , SOx , NH3). Expresado como kg equivalente de PM2,5 microgramos por metro cubico de polución.
- Potencial de Formación de ozono fotoquímico, expresado en kg equivalente de NMVOC (Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos del Metano).
- Acidificación. Pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra, en forma de ácidos, de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera. Expresado como mol equivalente de H+.
- Eutrofización. Crecimiento excesivo de la población de algas originado por el enriquecimiento artificial de las aguas de ríos y embalses como consecuencia del empleo masivo de fertilizantes y detergentes que provoca un alto consumo del oxígeno del agua.
 - Eutrofización del agua dulce: expresado como kg equivalente de P
 - Eutrofización del agua marina: expresado como equivalente de N
- Ecotoxicidad para los ecosistemas. Categoría de impacto ambiental relativa a los impactos tóxicos que afectan a un ecosistema, que son nocivos para distintas especies y que alteran la estructura y función del ecosistema. La ecotoxicidad es resultado de una serie de diferentes mecanismos toxicológicos provocados por la liberación de sustancias con un efecto directo

sobre la salud del ecosistema. Expresado como CTUe (unidad tóxica comparativa para los ecosistemas).

- Agotamiento de los recursos minerales, fósiles. Refleja el consumo de materiales extraídos de la naturaleza. Expresado como kg equivalente de antimonio (Sb).

6.4. Análisis de Ciclo de Vida de Concreto premezclado

El concreto premezclado es uno de los principales productos de construcción de país. Se consumen alrededor de 7.400.000 m³ (17.764.320 toneladas) anuales en Colombia. Sin embargo, también se generan importantes cantidades de concreto residual en las operaciones de construcción y demolición.

En el ciclo del concreto se metabolizan residuos tanto de construcción y demolición como de otros sectores (escorias de fundición, etc.).

6.4.1. Resumen del alcance del estudio

La unidad funcional para el Análisis de Ciclo de Vida es 1 m³ de concreto premezclado. Se plantea un estudio de la cuna a la tumba, por lo que incluye todas las etapas desde la extracción de la materia prima, su transporte y transformación, así como su fin de vida. Como se ha indicado en el apartado 6.3.8, se ha excluido la etapa de distribución del concreto para su comercialización, al considerar que este aspecto no es relevante para las implicaciones del producto en la economía circular, no así el acopio y la distribución del material secundario, que puede tener una importante repercusión. Igualmente quedan excluidas las fases de colocación y mantenimiento, debido a las diferentes alternativas existentes en función del tipo de aplicación.

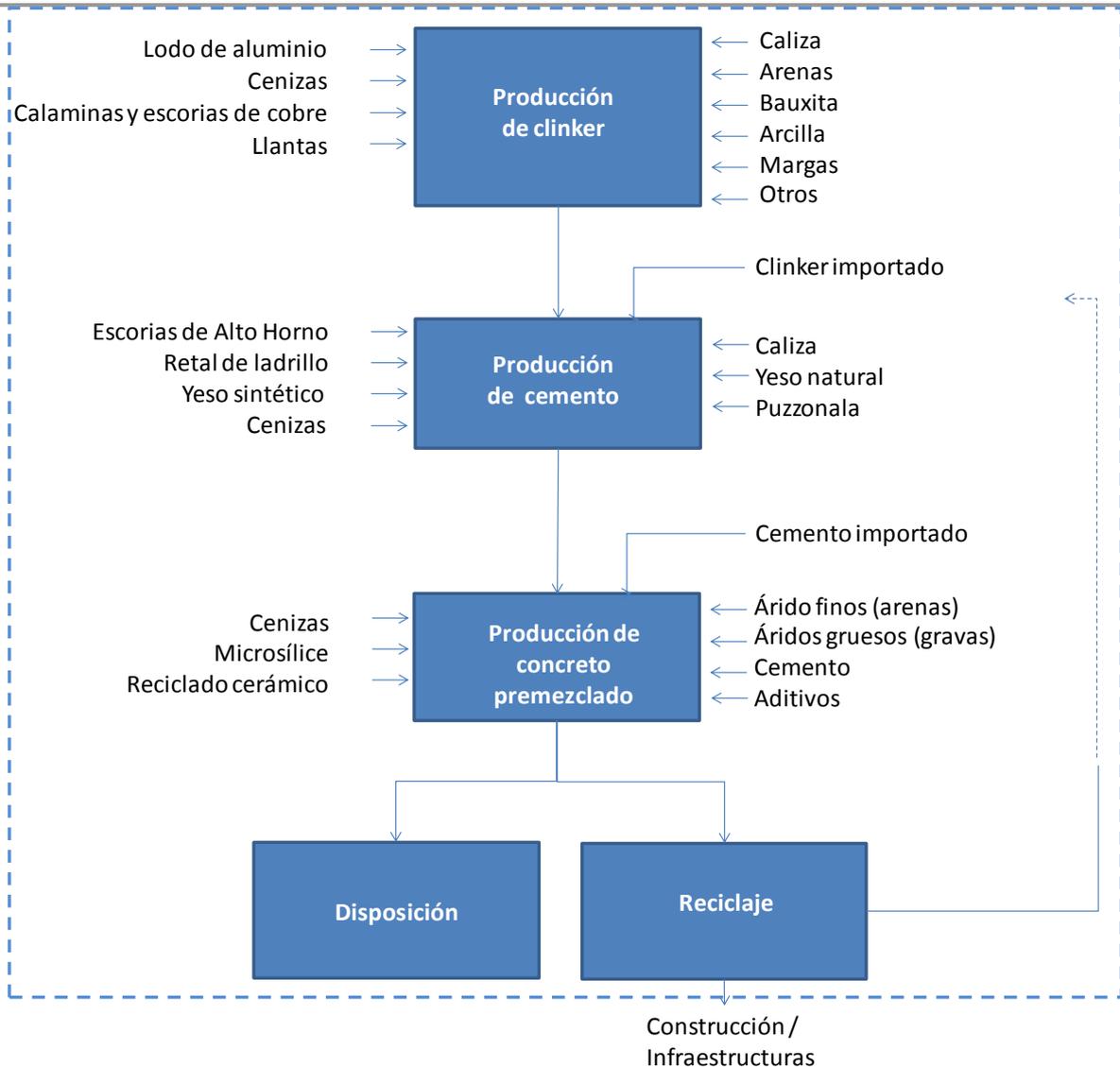


Figura 44: Límites del sistema de la producción de concreto premezclado

6.4.2. Producción

Los flujos de entrada y salida en el proceso productivo se han detallado en el Análisis de Flujos de este mismo estudio. Los datos sobre consumo de materias primas y energía, así como generación de residuos en las diferentes etapas han sido facilitados por algunas de las principales empresas Colombianas. Respecto a las emisiones al aire en plantas cementeras, no ha sido posible recabar datos específicos de todas las sustancias emitidas al aire en la industria colombiana, por lo que este dato se ha obtenido de bases de datos reconocidas a nivel internacional (Ecoinvent v3).

En las tres etapas principales de la cadena de valor del concreto premezclado se incorporan en mayor o menor medida materiales vírgenes y reciclados. La mayor parte de los materiales utilizados, de acuerdo a los datos recabados, son de producción nacional, incluyendo el clinker y el cemento.

Sin embargo, el porcentaje de incorporación de materiales reciclados en el proceso es muy limitado en comparación con otros países, y en particular, la incorporación de residuos construcción y demolición en la actualidad es prácticamente inexistente.

En el apartado 4.4.2 de este mismo informe se identifican las posibilidades de aumentar la metabolización de residuos en la fabricación de concreto. En función de estas consideraciones, en el presente estudio se han establecido los siguientes escenarios de cierre de ciclos para maximizar la economía circular: a) situación actual, con base en la información facilitada por las empresas Colombianas del sector y b) situación optimizada, la cual se estimó en el marco del estudio. Las siguientes tablas resumen los aspectos de circularidad claves considerados en el análisis, expresados en uso de materiales alternativos (kg) por producto.

Materiales alternativos	Escenario actual	Escenario economía circular	
	kg/ ton clínker		
Lodo de aluminio	0,4	12,5	0,4
Escorias de cobre y calaminas	9,7		9,7
Cenizas	1,6		1,6
Llantas	0,8		6,4
RCD	0		38,5
			51,4

Tabla 83: Residuos aprovechables como materias primas secundarias en la producción de clínker

Materiales alternativos	Escenario actual	Escenario economía circular	
	kg/ton cemento		
Escorias	72,3	80	72,3
RCD	0,3		84
Yeso sintético	3,1		40
Cenizas	3,5		3,5
			200

Tabla 84: Residuos aprovechables como materias primas secundarias en la producción de cemento

Materiales alternativos	Escenario actual	Escenario economía circular
	kg/m ³ concreto	
Escombros reciclados: grava y arena	0,24	1000
Cenizas	28,5	30
Microsílice	0,1	

Tabla 85: Residuos aprovechables como materias primas secundarias en la producción de concreto

6.4.3. Reciclaje y fin de vida

En la actualidad la tasa de recogida y reciclaje de residuos de construcción y demolición es muy baja. El escenario de economía circular propuesto se ha basado en la tasa de reciclaje más alta existente en diversos países Europeos, que se sitúa alrededor del 50% (Lotfi, Eggimann, Wagner, Mroz y Deja, 2015).

Materiales alternativos	Escenario actual	Escenario economía circular
	Tasa de reciclaje	
Tasa de reciclaje	2%	50%

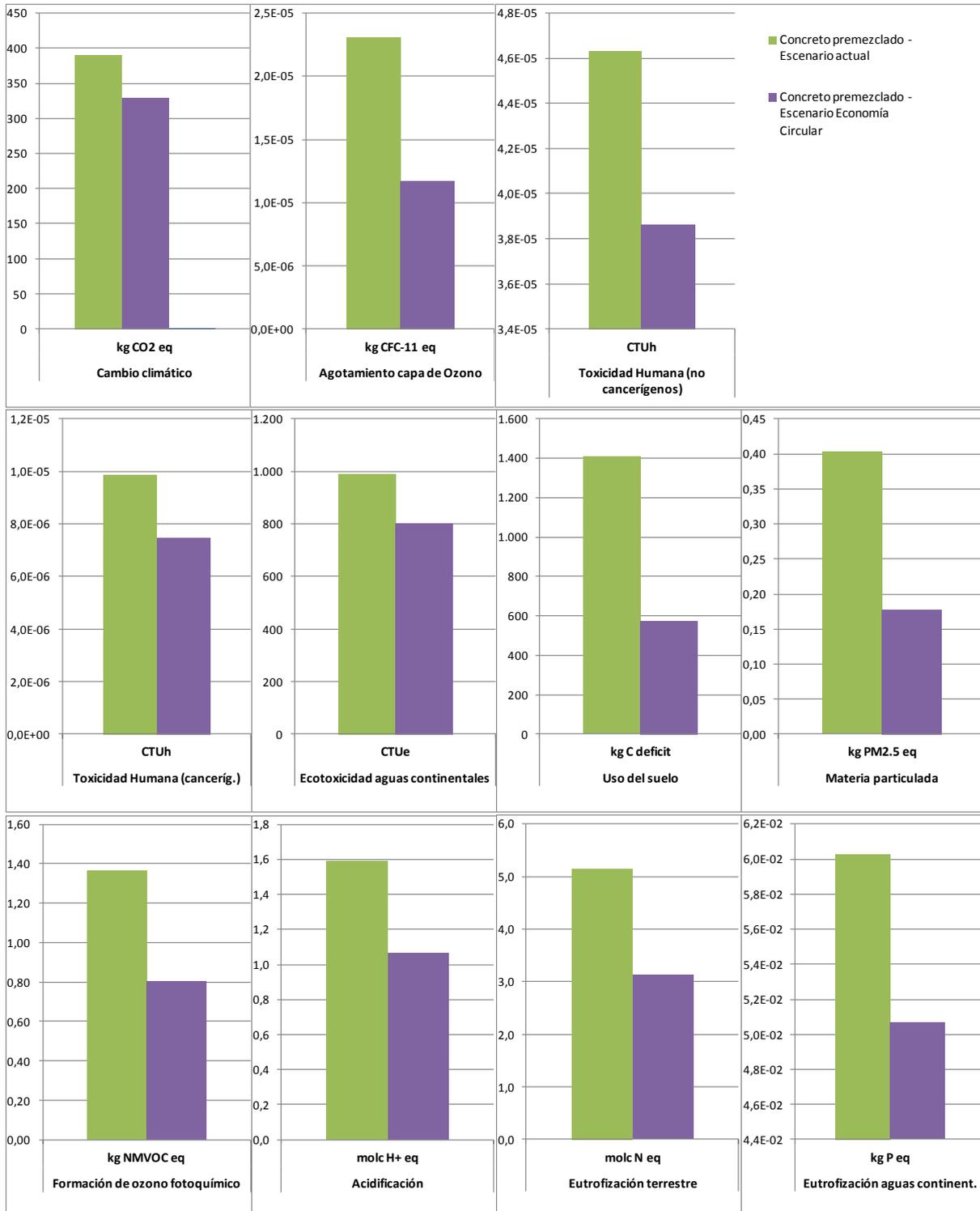
Tabla 86: Tasas de reciclaje de residuos de cemento y concreto post-consumo en el escenario actual y en el de economía circular

No es posible conocer en este punto de desarrollo las distancias a las que deberían de ser transportados los residuos de construcción y demolición, ni el tipo de vehículo utilizado. La aplicación final de los residuos también tiene una influencia relevante en esta distancia, ya que algunas aplicaciones como la reutilización en obra llevarían asociados desplazamientos mínimos, pero no es así para el reciclaje en plantas cementeras o concreteras. El país dispone de un importante número de plantas cementeras así como 60 concreteras, distribuidas por todo el país. Esto ofrece la oportunidad de que las distancias de transporte a estas plantas sea más limitado.

Ante las incógnitas que se presentan para modelar la etapa de transporte de los residuos reciclados se ha optado por considerar una distancia estimada. Por un lado, se ha considerado que la distancia de las plantas para la separación y acondicionamiento de los residuos es de 50 km, mientras que los depósitos estarían a 25 Km. Por otro lado, se ha considerado una distancia de 200 km desde la planta de acondicionamiento a la cementera, y 50 Km hasta la concretera. Teniendo en cuenta la influencia del transporte (ver resultados más abajo) en futuros estudios, a medida que se desarrollen sistemas de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición será necesario analizar con mayor detalle la logística de recogida y distribución.

6.4.4. Resultados y conclusiones

Las siguientes figuras muestran los resultados del Análisis de Ciclo de Vida comparativo entre los dos escenarios. Cada gráfica refleja la contribución de los diferentes escenarios a cada una de las categorías de impacto analizadas.



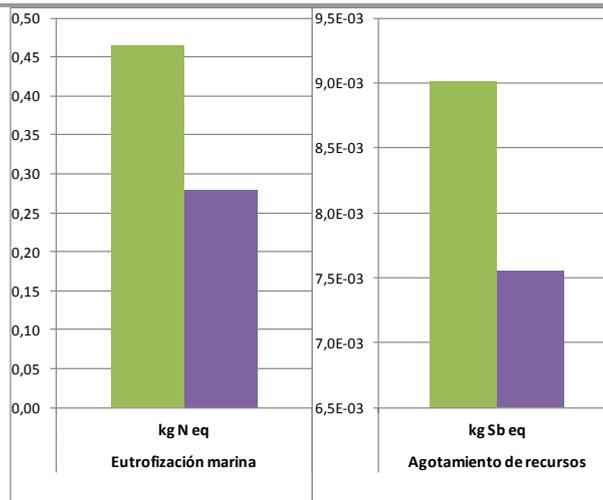


Figura 45: Impactos ambientales de la producción de concreto premezclado en los escenarios actual y de economía circular

La siguiente figura resume la reducción que se alcanzaría a en un escenario de economía circular para cada categoría de impacto, representada como porcentaje de reducción sobre el escenario actual. Como puede verse, en la categoría de impacto “Cambio Climático” se consigue una reducción de más del 20% asociada al aumento de uso de materiales residuales en la industria cementera y concretera, partiendo del aumento de la recuperación y reciclaje de residuos de construcción y demolición.

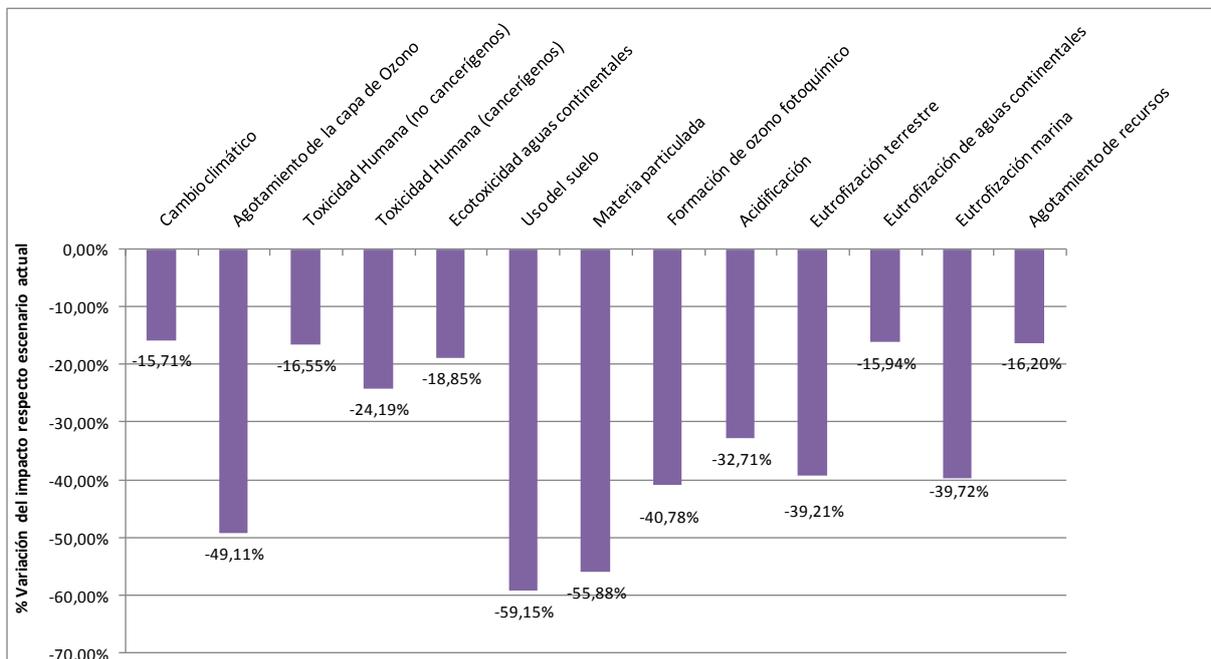


Figura 46: Variación de los impactos ambientales en la producción de concreto premezclado en el escenario de economía circular respecto al escenario actual. Se representa como porcentaje de reducción identificado en cada categoría de impacto

El aumento de la cantidad de residuos a metabolizar en el ciclo del concreto premezclado mejora sustancialmente el perfil ambiental del producto. Las categorías de impacto que muestran un mayor porcentaje de mejora son:

-
- “Uso del suelo”: La reducción está asociada principalmente al menor número de operaciones de extracción como a la reducción de la disposición final de residuos de construcción y demolición.
 - “Agotamiento de la capa de ozono” y “Materia particulada”: la reducción está asociada al menor uso global de diesel en el ciclo de vida analizado.

Los beneficios ambientales de la incorporación de RCDs varían en función de la etapa de producción en la que se adicionan, y principalmente, del material al que sustituyen. El mayor beneficio ambiental se obtiene cuando el residuo sustituye materiales de mayor valor añadido (por ejemplo clínker, cemento o metales). Cuando los materiales sustituidos no conllevan impactos ambientales considerables es necesario valorar si operaciones como el transporte pueden hacer que el impacto producido sea mayor que el evitado.

En la fabricación de clínker se ha considerado que es posible sustituir hasta el 5% de la energía calorífica del carbón por llantas usadas, si bien esta tasa de sustitución relativamente moderada conlleva una reducción de impactos ambientales limitada (aproximadamente entre el 1 y el 3% de los impactos ambientales asociados a una tonelada de clínker).

Teniendo en cuenta el global de la fabricación del cemento, incluyendo la obtención de clínker, la incorporación de adiciones minerales suplementarias procedentes de subproductos sustituyendo a minerales naturales tiene un beneficio importante, así como el uso de yeso sintético en lugar de yeso natural. Los residuos como escorias de acería y residuos de construcción y demolición permiten reducir la cantidad de clínker necesaria en el proceso, y el yeso sintético también evita consumir yeso que en gran medida tiene asociados etapas de transporte importantes, al tratarse de un material con un alto grado de importación.

Sin embargo, la mejora ambiental obtenida en la etapa de producción de cemento constituye menos del 5% de la reducción de impactos estimada para cada m³ de concreto premezclado. Esto se debe a al reducido consumo cemento por m³ de concreto (0,33 ton por m³ de concreto premezclado).

Por el contrario, analizando la mejora alcanzada por tonelada de cemento, se observa que ésta es significativa. En el escenario de economía circular propuesto se observa una reducción de impactos de entre el 3% ((toxicidad humana, no cancerígenos) y el 25% (uso del suelo). A modo de ejemplo, por tonelada de cemento se emiten alrededor de 40 kg de CO₂ menos. Extrapolando esta cantidad a toda la industria cementera se produciría una reducción de aproximadamente 400.000 toneladas de CO₂ al año.

El aumento de la incorporación de yeso sintético en la cementera permite también reducir los impactos ambientales, aunque la cantidad admitida en proceso es más limitada (alrededor de 40 kg/tonelada de cemento). La reducción de impactos alcanzada por el uso de yeso sintético supone entre el 0 y el 5% de la reducción alcanzada en esta etapa.

En cuanto a los impactos en las concreteras, el impacto evitado por la incorporación de residuos de construcción y demolición del material depende en gran medida de la etapa de transporte y el tipo

de transporte utilizado para su adquisición. Teniendo en cuenta que el impacto asociado a la obtención de los áridos es muy bajo, el impacto de transportar escombros en vehículos poco eficientes puede ser superior a la mejora alcanzada. El escenario de economía circular propuesto (que considera 50 km de transporte a la planta de separación y 50 km a la concretera) ofrece una reducción global aunque limitada. En este sentido, la optimización de los medios de transporte (actualización de la flota, maximización del uso de vehículos) también permitirá reducir el impacto ambiental.

Cabe destacar que la principal mejora ambiental se asocia al incremento de la tasa de reciclaje (alrededor del 80% de la reducción del impacto reducido) que permite contar con material secundario aplicable en diferentes usos.

6.5. Análisis de Ciclo de Vida de Botella de PET

EL PET es el polímero de crecimiento más rápido a escala mundial, con una demanda media de 2.67 kg de PET por persona. En algunos países esta demanda es mucho mayor, llegando a ser de 9.35 kg/persona en Estados Unidos, y 6.78 kg/persona en México (Kedia, 2014).

En Colombia en 2015 se consumieron 163.000 toneladas de PET. El 86% de la resina consumida en el país fue importada (ACOPLÁSTICOS, 2017c). Una de las aplicaciones más extendidas del PET es la fabricación de botellas. Dada su reciclabilidad, este es uno de los productos plásticos más recuperados a nivel internacional. Las botellas de PET para bebidas no alcohólicas constituye el producto más característico.

6.5.1. Resumen del alcance del estudio

La unidad funcional para el Análisis de Ciclo de Vida es 1 tonelada de botellas de PET, y el estudio se ha centrado en botellas de PET para bebidas no alcohólicas. Estos envases se fabrican con un contenido medio de resina reciclada del 25%, tal y como se ha mencionado en el apartado 6.3.4. Esta tasa se basa en datos facilitados por agentes industriales de Colombia.

Se ha considerado un peso medio de botellas de PET de 33g (ENKA, 2017).

Se plantea un estudio de la cuna a la tumba, por lo que se incluyen todas las etapas desde la extracción de la materia prima, su transporte y transformación, así como su fin de vida.

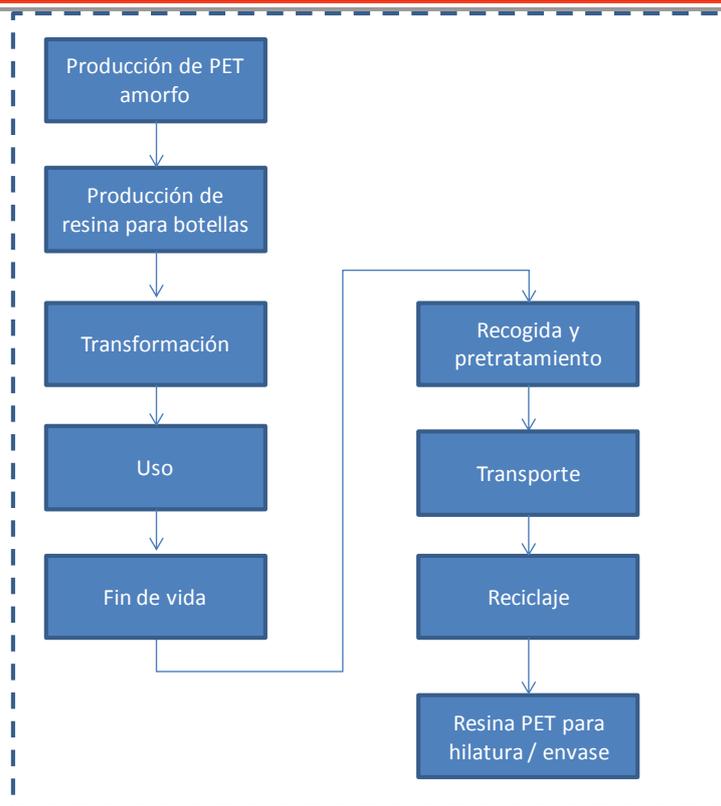


Figura 47: Límites del sistema de la producción de envases de PET reciclado

Tal y como se ha mencionado anteriormente, se ha excluido la etapa de distribución de la botella para su comercialización, ya que este aspecto no se ve afectado por las hipótesis asumidas en el escenario de economía circular. Del mismo modo, no se han considerado otros elementos de la botella (tapón, etiqueta, etc.) ya que los cambios propuestos en el escenario de economía circular afectan únicamente al material de la botella.

6.5.2. Producción

Para la fase de producción se ha considerado una tonelada de botellas con un contenido en material reciclado del 25%.

En cuanto al origen de la materia prima virgen, se han tenido en cuenta los datos de importaciones de resinas de PET para el año 2015 reportados por Acoplásticos.

Origen de las importaciones de PET para envase (%)	
México	55,9
China	15,3
Taiwan	8,7
Corea del sur	5,5
Otros	14,6
TOTAL	100

Tabla 87: Importaciones de PET para envases en Colombia (ACOPLÁSTICOS, 2017c)

Los datos referentes a la producción de la resina y la fabricación de la botella se han basado en valores medios internacionales, no específicos de Colombia. Para el caso de la resina este aspecto no es especialmente relevante, ya que la mayor parte es importada y se ha partido de modelos de producción internacional (Ecoinvent 3.3).

Así mismo, debido a la ausencia de datos, la fase de transformación del PET para la fabricación de la botella se ha modelado a partir de datos medios internacionales (Ecoinvent v3.3), considerando el mix energético de Colombia.

6.5.3. Recogida pos-consumo y reciclaje

Los residuos se centralizan en diversos puntos de acopio cercanos a las zonas de recogida, donde en la mayoría de los casos son compactados. Las distancias de transporte de residuos constituyen un dato variable en función de la logística de almacenamiento y transporte adoptada por los diferentes agentes intermedios. A modo de aproximación, y a falta de datos reales, se ha considerado la recogida de residuos domésticos en las principales ciudades del país, estimando una distancia media de 200 km de transporte a planta.

La etapa de reciclaje se ha modelado partiendo de datos primarios de empresas colombianas.

De acuerdo a información facilitada por fuentes empresariales, en la actualidad se reciclan en Colombia alrededor de 46 millones de toneladas de PET, lo que supone un 30% del consumo de esta resina en envases. Es necesario tener en cuenta que no toda la resina recuperada se destina a envase, ya que una parte importante se destina a hilaturas y textiles²⁹. Atendiendo a los beneficios obtenidos por empresas recicladoras por la venta de diferentes materiales reciclados, se puede estimar que el PET reciclado para envase constituye aproximadamente el 21% del producto reciclado obtenido (ENKA, 2017). Esto significa que para hacer extensiva la producción de envases con un alto contenido en PET reciclado es imprescindible aumentar la cantidad de material reciclado, ya que la actual no alcanzaría a satisfacer la demanda. La siguiente tabla ofrece más información sobre los materiales reciclados obtenidos en una empresa Colombiana.

Distribución de productos a partir de PET reciclado (%)	
Filamento	27,3
Fibra	13,1
Hilo industrial	38,4
Resina	21,2

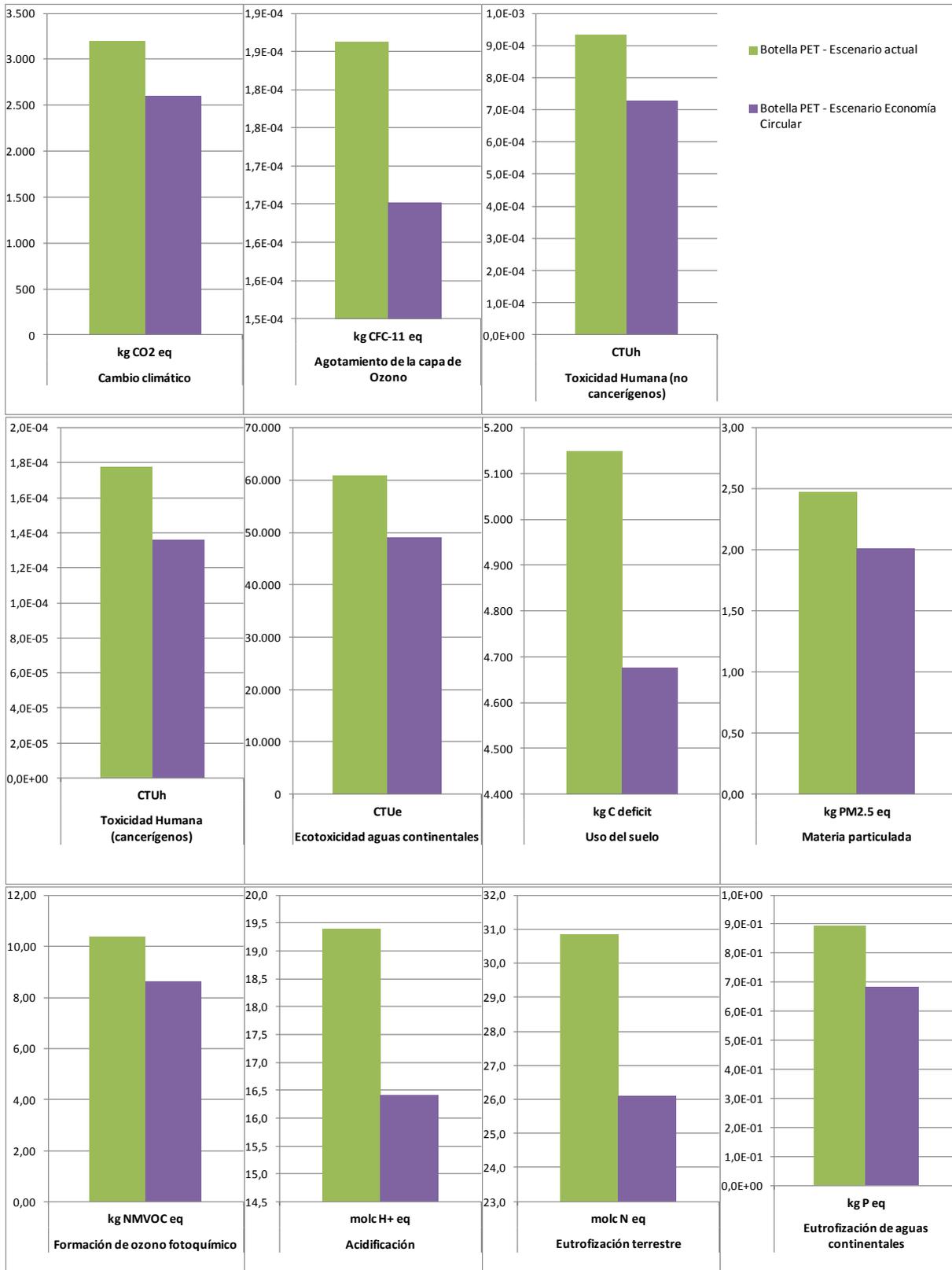
Tabla 88: Distribución de productos a partir de PET reciclado (ENKA, 2017)

En este estudio, se han establecido dos escenarios en la etapa de fin de vida: a) la situación actual con una tasa de reciclaje del 30% y b) una situación optimizada en la que la tasa de reciclaje alcanza el 50%. Este escenario óptimo se basa en los resultados obtenidos mediante recogida selectiva en Europa, que están entre 40-60% (European Commission, 2015).

6.5.4. Resultados y conclusiones

Los resultados del Análisis de Ciclo de Vida se muestran en las siguientes figuras. La Figura 48 representa la contribución de los escenarios a cada categoría de impacto analizada.

²⁹ Fuentes industriales



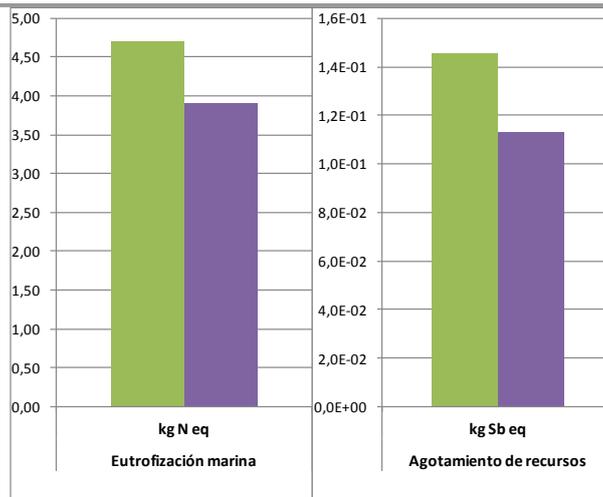


Figura 48: Impactos ambientales de la producción de envase de PET reciclado en los escenarios actual y de economía circular

La siguiente figura resume la reducción que se alcanzaría a en un escenario de economía circular para cada categoría de impacto. La reducción a alcanzar se representa como porcentaje de reducción sobre el escenario actual. Tal y como se muestra en la imagen, el escenario circular, con un importante aumento de la tasa de reciclaje y de la incorporación de material reciclado, conlleva una mejora ambiental global.

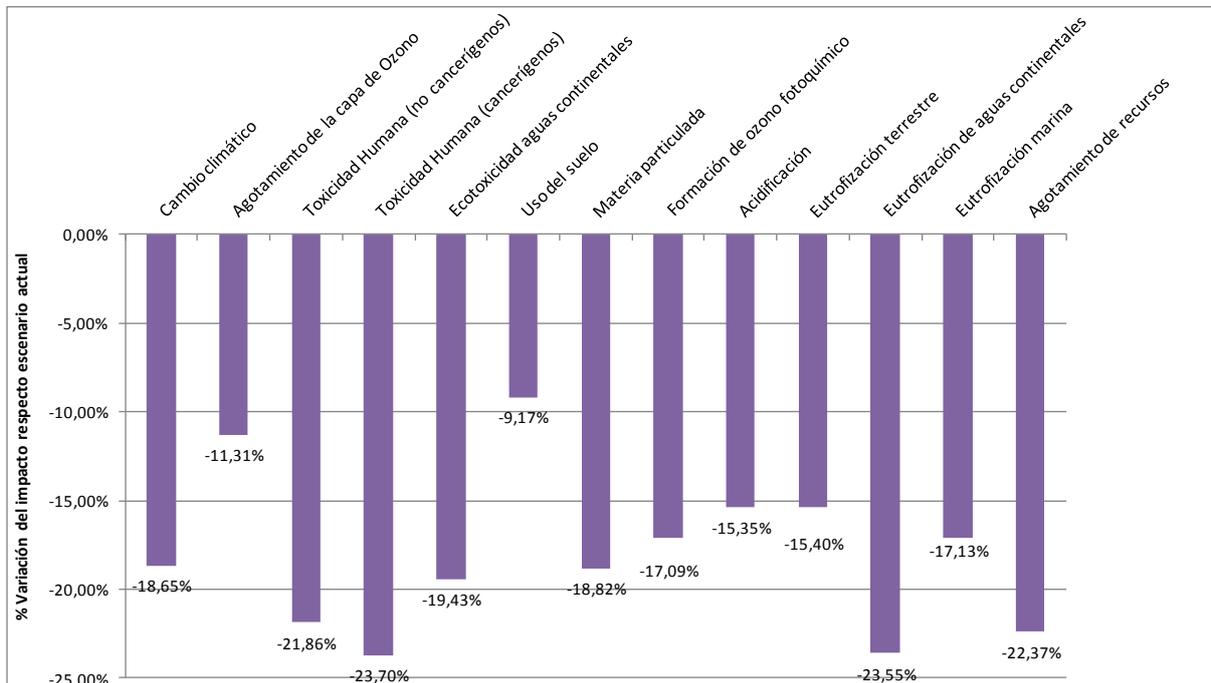


Figura 49: Variación de los impactos ambientales en la producción de envases de PET reciclado en el escenario de economía circular respecto al escenario actual

En el escenario actual, la principal contribución a los impactos ambientales del ciclo de vida de la botella (más del 70% en prácticamente todos los impactos ambientales) está asociada al consumo de la resina, es decir, el PET. A modo de ejemplo el consumo de PET virgen es responsable del 75% de las emisiones de CO2 en el escenario actual, y 80% de la contribución al agotamiento de recursos.

En este sentido cabría evaluar el uso de otros polímeros de menor impacto ambiental (por ejemplo biopolímeros), si bien su potencial beneficio ambiental deberá ser analizado en función de las especificaciones de la aplicación y las características de nuevo material a seleccionar.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que no son sólo los impactos asociados a la obtención del material los que se reflejan en este análisis, sino también su transporte. La reducción del impacto ambiental asociado al transporte de la resina, sustituyéndola por PET reciclado nacional tiene una repercusión significativa, ya que países como China, Taiwan y Corea figuran entre los proveedores relevantes de PET.

Por otro lado, en el escenario actual, las operaciones de reciclaje contribuyen en menos de un 5% a todas las categorías de impacto analizadas. En este caso los impactos se han calculado partiendo de datos facilitados por empresas recicladoras de Colombia.

En este contexto, el aumento en un 20% de la tasa de reciclaje (hasta alcanzar el 50%) y la producción de botellas con un 50% de contenido en PET reciclado permiten reducir la emisión de 580 kg de CO₂ por tonelada de botellas.

La etapa de transformación de la resina para la producción de botellas tiene una contribución menor, de entre el 10%-30% a prácticamente todos los impactos. El aspecto de mayor influencia en esta etapa es el consumo energético, y no se ha visto afectado por los cambios en el escenario de economía circular.

Es necesario mencionar que la etapa de producción de las botellas de PET, en principio, debería tener menores impactos ambientales que en otros países, ya que el aspecto más relevante de la transformación es el consumo energético, y el mix eléctrico del país (dominado por fuentes renovables) conlleva menores impactos ambientales que el de otras regiones. Sin embargo, no ha sido posible contar con datos específicos de consumos energéticos en la producción de botellas en Colombia, por lo que no es posible ahondar en esta etapa.

Por último, la disposición de residuos de botellas de PET afecta principalmente (con casi un 60% de contribución) a la categoría impacto Ecotoxicidad de aguas continentales, debido a los lixiviados en el depósito y las operaciones de transporte y vertido. La reducción de residuos depositados en vertedero (de 0.7 toneladas) permite reducir el 19% de las emisiones ecotóxicas a aguas continentales.

6.6. Análisis de Ciclo de Vida Barra de acero corrugado

El acero es un material clave en Colombia, ya que la demanda de éste es muy superior a la producción nacional. De hecho, las importaciones suponen aproximadamente el 70% del consumo de acero en el país. La mayor parte del acero del país se produce a partir de chatarra, en hornos de arco eléctrico, y se estima que el reciclaje de residuos férricos presenta una tasa del 85%.

Dado que el principal consumidor de acero en Colombia es el sector de la construcción, la barra de acero corrugado como producto elegido para el análisis de ciclo de vida es un exponente claro del sector.

6.6.1. Resumen del alcance del estudio

La unidad funcional para el Análisis de Ciclo de Vida es 1 tonelada de barras de acero corrugado.

Se plantea un estudio de la cuna a la tumba, por lo que incluye todas las etapas desde la extracción de la materia prima, su transporte y transformación, así como su fin de vida.

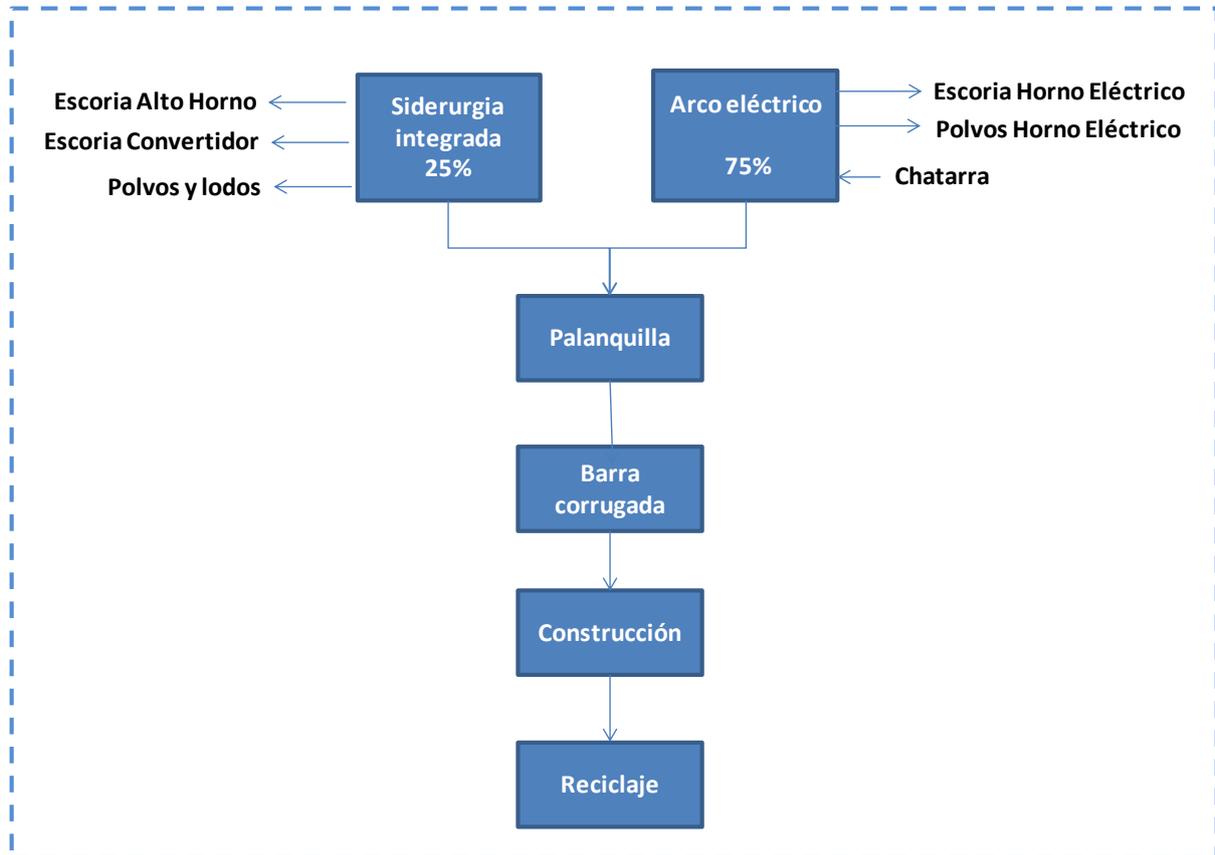


Figura 50: Límites del sistema de la producción de barras de acero corrugado

Tal y como se ha detallado anteriormente, la distribución ha quedado fuera del alcance del estudio, ya que este aspecto no se ve afectado por las hipótesis asumidas en el escenario de economía circular. Del mismo modo, no se han considerado los materiales adicionales que rodean al producto en la etapa de uso (por ejemplo, el cemento), ya que el estudio se centra en el material de acero.

Producción

Se ha analizado la producción del acero en siderurgia integrada y semi-integrada. Las tasas de producción en cada proceso se han calculado según la información detallada en el apartado 5.4. En ese mismo apartado se detallan los principales consumos de materia prima y energía, así como su procedencia.

Como se menciona en dicho apartado, en este caso no ha sido posible contar con datos específicos de los procesos siderúrgicos colombianos. Por ese motivo se han utilizado datos medios provenientes de bases de datos reconocidas de Análisis de Ciclo de Vida (Ecoinvent v3.3).

Es especialmente relevante la ausencia de datos primarios relacionados con emisiones al aire de estos procesos. Los datos utilizados reflejan un aumento de emisiones de metales pesados en la producción de acero a partir de chatarra en comparación con la producción a partir de mineral (Alto Horno), que no ha sido posible contrastar con fuentes industriales colombianas.

Un aspecto importante del estudio es que gran parte del acero consumido en Colombia proviene de otros países, con el consiguiente impacto asociado al transporte. Los orígenes principales del acero son los siguientes:

Países de origen del acero importado en Colombia (%)	
China	25%
Japón	17%
México	17%
Brasil	13%
Turquía	7%
Corea del Sur	5%
Rusia	4%
España	3%
Otros	9%

Tabla 89: origen de las importaciones de acero en Colombia (Naranjo, 2016)

De cara a la economía circular, el ciclo del acero se basa en la integración de materiales reciclados (chatarra) en la fabricación. Otro aspecto importante lo constituyen los residuos de los procesos siderúrgicos y metal-mecánicos, que en algunos casos ofrecen importantes oportunidades. En este caso la relevancia de estos residuos está ligada tanto a su alto volumen, como a su potencial impacto ambiental.

En el escenario actual una parte importante de los residuos siderúrgicos no está siendo reciclada. En el escenario de economía circular se propone un incremento en la tasa de reciclaje, de acuerdo a los estándares internacionales. El apartado 5.4 aporta más detalles sobre la justificación de las hipótesis consideradas en el escenario de economía circular.

Residuos generados anualmente	ton/año	Escenario actual	Escenario economía circular
Escorias de Alto Horno	80.710	Aprovechamiento en cementera 100%	Aprovechamiento en cementera 100%
Lodos de depuración de Alto Horno	4.068	Disposición final	67% Reciclaje ³⁰

^{30 30} Media Europea (Joint Research Centre of the European Commission, 2013)

Polvos de Alto Horno	4.843	Disposición final	67% Reciclaje ³⁰
Escoria de Convertidor	58.111	100% Fertilizante Thomas (Cepeda Gil, 2010).	100% Fertilizante Thomas (Cepeda Gil, 2010).
Escorias de Horno Eléctrico	182.665	Disposición	38.6% Reciclaje: construcción e infraestructuras, rellenos
Polvo de Horno Eléctrico	18.267	Disposición (reciclaje 0-20%) ³¹	100% Cementera
Cascarilla	60.000	20% siderurgia integrada ³¹	100% siderurgia integrada

Tabla 90: destino de los residuos evaluados en los escenarios actual y de economía circular

6.6.2. Recogida post-consumo y reciclaje

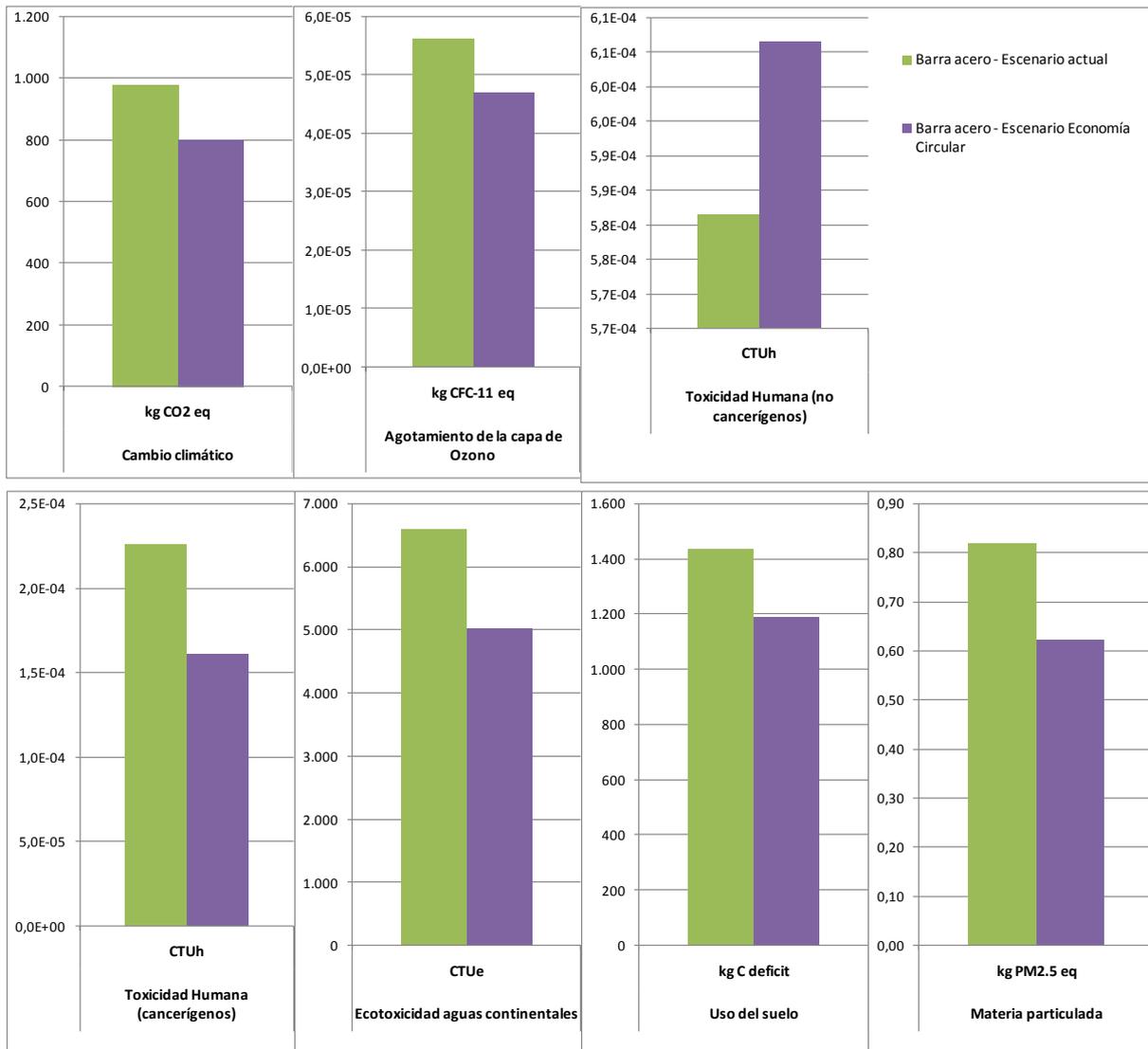
Se ha estimado una eficiente tasa de reciclaje de chatarra post-consumo, de aproximadamente 85%. Sin embargo, esta tasa podría mejorarse para llegar incluso a un 97%.

En el marco de este estudio se ha asumido que el incremento de la recogida de chatarra permitirá obtener más acero nacional, reduciendo la importación.

6.6.3. Resultados y conclusiones

Los resultados del Análisis de Ciclo de Vida se muestran en las siguientes figuras. En primer lugar, la Figura 51 representa la contribución de los escenarios modelados a cada categoría de impacto analizada.

³¹ No se ha tenido acceso a información específica sobre la generación de estos residuos. Estimación propia.



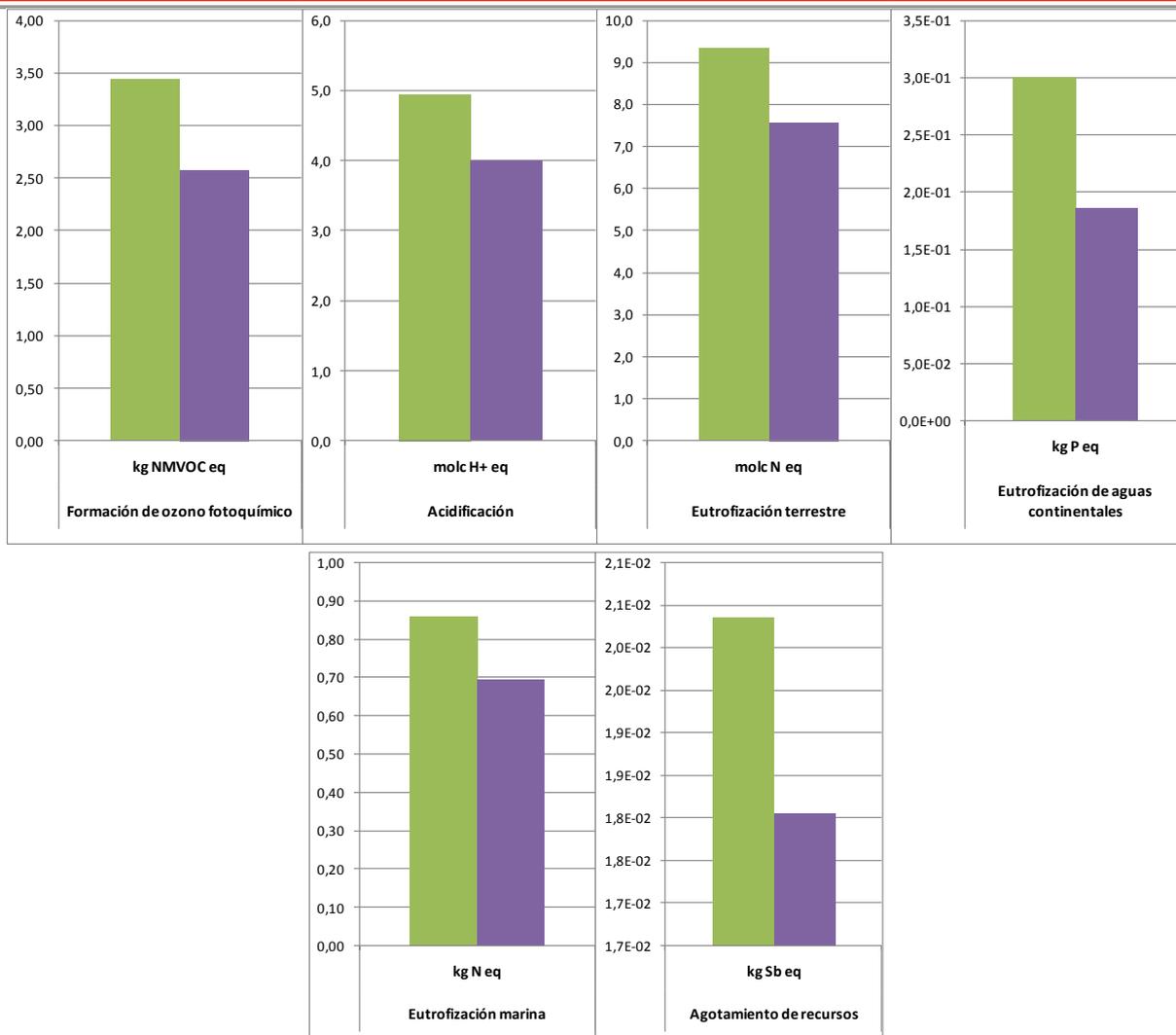


Figura 51: Impactos ambientales de la producción de barras de acero corrugado en los escenarios actual y de economía circular

En la evaluación de estos resultados es necesario resaltar que la calidad de los datos es menor que en los anteriores estudios de Análisis de Ciclo de Vida presentados, habiéndose utilizado una mayor cantidad de datos secundarios (provenientes de bases de datos) en lo referente al funcionamiento de la siderurgia en el país.

En general se aprecia una importante reducción de los impactos ambientales en el escenario de economía circular, donde impactos como la contribución al Calentamiento Global muestran una mejoría del 18%, lo que supone la reducción de la emisión de 180 kg de CO2 por tonelada de producto.

La siguiente figura resume la reducción al que se alcanzaría a en un escenario de economía circular para cada categoría de impacto, representada como porcentaje de reducción sobre el escenario actual.

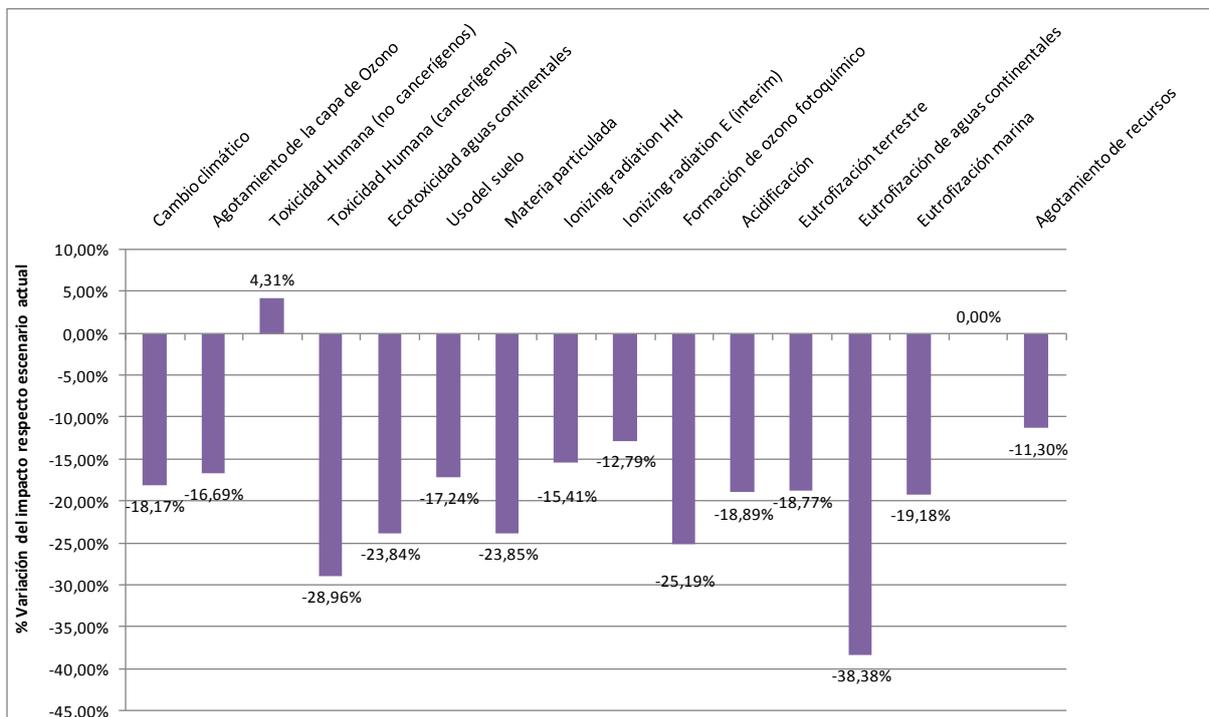


Figura 52: Variación de los impactos ambientales en la producción de barras de acero corrugado en el escenario de economía circular respecto al escenario actual

La reducción asociada a la mejora en la gestión de los residuos es limitada en muchas de las categorías de impacto analizadas. La contribución de la mejora en la gestión de los residuos a la reducción del impacto ambiental de las barras de acero es menor al 5% para la mayoría de los impactos (considerando todo el ciclo de vida de 1 tonelada de barras de acero), excepto para aquellos relacionados con la toxicidad humana, ecotoxicidad y uso del suelo.

- En las categorías de impacto relacionadas con la toxicidad y la ecotoxicidad se observa que la mejora alcanzada se debe prácticamente en su totalidad a la reducción de emisiones en el depósito final de residuos.

En este sentido, cabe mencionar que la mejora alcanzada en la categoría de impacto denominada Toxicidad Humana (efectos no cancerígenos) se ve compensada por un aumento en las emisiones del Horno de Arco Eléctrico. En consecuencia en todo el ciclo de vida esta categoría de impacto muestra un ligero aumento. Esto se debe a que los datos de Análisis de Ciclo de Vida utilizados reflejan que la producción de acero a partir de chatarra da lugar a la generación de emisiones de metales pesados superiores a las generadas en el Alto Horno, por lo que el aumento de la tasa de producción Siderurgia Integrada/Semi-integrada conlleva este efecto. Para una mayor fiabilidad de este resultado sería necesario validarlo con datos específicos de la industria colombiana.

- Por otro lado, evitando la disposición final de residuos y utilizando las escorias de Horno de Arco Eléctrico en construcción, se permite así mismo una importante reducción global del uso del suelo (cerca al 20%).

En consecuencia, excepto para las categorías de impacto “Ecotoxicidad aguas continentales” y “Toxicidad Humana, efectos cancerígenos”, la reducción de los impactos ambientales está relacionada con el aumento de la tasa de recogida y reciclaje de chatarra en la etapa de fin de vida.

Este mayor reciclaje, además se ha asociado a mayor capacidad de producción nacional y menor consumo de acero importado. De acuerdo a las bases de datos de Análisis de Ciclo de Vida utilizadas, y considerando también los datos relativos a las operaciones de transporte del material, el acero nacional que se produciría en el escenario de economía circular (con un ligero aumento de acero a partir de chatarra) tiene aún menor impacto que la producción media internacional (Ecoinvent 3.3), aunque para poder validar este dato sería necesario realizar análisis más exhaustivos.

6.7. Análisis de Ciclo de Vida de Cartón de Embalaje 100% Reciclado

Teniendo en cuenta que los empaques representan el 49% de los productos de la industria de papel y cartón colombiana, que la pulpa de papel reciclado representa el 60% de la pulpa utilizada para la fabricación de papel y cartón y que en Colombia, la tasa de recogida de empaques para su reciclado es del 71%, para la realización del análisis de ciclo de vida se ha seleccionado el cartón de embalaje 100% reciclado como producto representativo del sector.

6.7.1. Cartón de Embalaje 100% Reciclado

La cantidad de pulpa procedente de papel reciclado consumida en Colombia en el año 2015 fue de aproximadamente 882.000 toneladas. Cerca de un 49% de esta pulpa se destinó a la producción de empaques, de tal manera que, de las cerca de 800.000 toneladas de empaques consumidas, aproximadamente 600.000 toneladas se produjeron a partir de papel y cartón reciclado.

6.7.2. Resumen del alcance del estudio

La unidad funcional para el Análisis de Ciclo de Vida es una tonelada de cartón de embalaje 100% reciclado.

Se plantea un estudio de la cuna a la tumba, por lo que incluye todas las etapas desde la extracción de la materia prima, su transporte y transformación, así como su fin de vida.

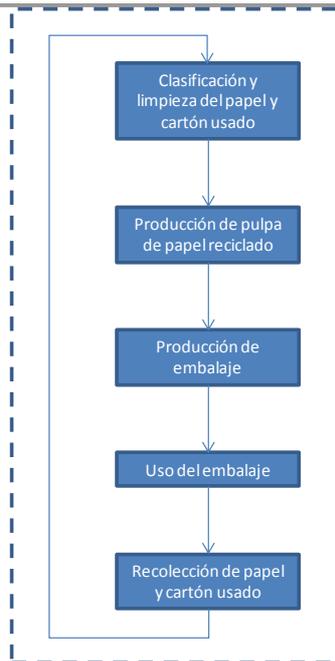


Figura 53: Límites del sistema de la producción de cartón de embalaje 100% reciclado

Se ha excluido la etapa de distribución del embalaje para su comercialización, al considerar que este aspecto no es relevante para las implicaciones del producto en la economía circular. Esto es así debido a que en los dos escenarios analizados, actual y el futuro de economía circular, la ubicación de las plantas productoras, vías de distribución de los productos, vías de recogida y gestión de los residuos de papel y cartón son las mismas y por tanto los impactos ambientales asociados también lo son y no suponen un factor diferencial.

6.7.3. Producción

Para la producción del embalaje se ha tenido en cuenta la información correspondiente a la industria de la pulpa, papel y cartón colombiana en el año 2015 que se recoge en el Informe de Sostenibilidad publicado por la Cámara de la Industria de la pulpa, papel y cartón de ANDI.

De cara al modelado del proceso productivo, se ha partido de un proceso promedio internacional de producción de Testliner³² 100% a partir de pulpa de papel y cartón reciclado que ha sido adaptado a las condiciones específicas del mercado colombiano teniendo en cuenta la información específica recopilada.

6.7.4. Recogida pos-consumo y reciclaje

En el año 2015 la tasa de recolección de papel y cartón en Colombia alcanzó el 57%, llegando al 71% en el caso de los empaques. En total se recolectaron más de 785.000 toneladas (Cámara de la industria de pulpa, papel y cartón de ANDI, 2015).

³² El cartón de embalaje más habitual es el cartón corrugado, que, típicamente, está formado por dos láminas lisas de cartón y una lámina ondulada que se coloca entre las dos lisas. Las láminas lisas son llamadas linerboard y cuando se producen a partir de pulpa de papel reciclado reciben el nombre de testliner.

En cuanto a la tasa de reciclaje alcanzó el 55%, de las cuales el 11% correspondió a importación. En total se reciclaron aproximadamente 882.000 toneladas de papel y cartón (Cámara de la industria de pulpa, papel y cartón de ANDI, 2015).

Por otro lado, la producción de empaque a partir de papel reciclado supone la generación de residuos en una cantidad nada despreciable. En el caso que nos ocupa, las principales corrientes de residuos generados en la producción de embalajes fueron los siguientes:

Residuos producción embalajes	Cantidad (t)
Desechos de fibras y lodos de fibras, de materiales de carga y de estucado, obtenidos por separación mecánica	43.966
Lodos del tratamiento in situ de efluentes distintos de los especificados en el código 030310 ³³	36.362

Tabla 91: Residuos generados en la producción de embalaje con potencial para su aprovechamiento como materias primas secundarias

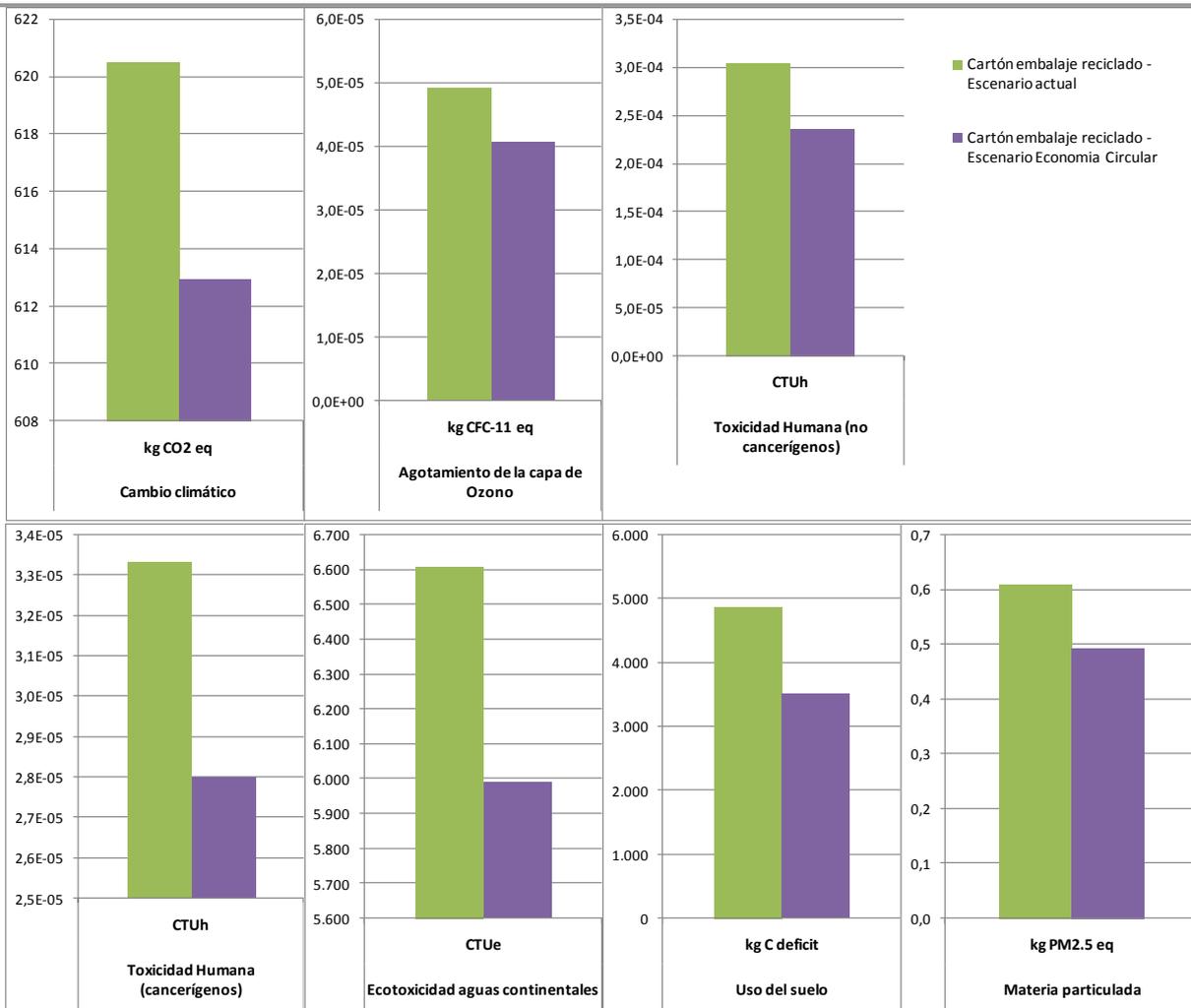
Estas corrientes de residuos, para las que se desconoce su tratamiento específico en el fin de vida, en un modelo de Economía Circular podrían ser valorizables energéticamente debido al alto contenido en fibras de celulosa, con un alto poder calorífico, que incorporan (en torno al 30% en base húmeda). De esta manera, en el escenario de economía circular se contempla su uso como combustible de una caldera de cogeneración que abastezca a las propias instalaciones de producción del embalaje, evitando el consumo de otros combustibles.

Asimismo, las cenizas generadas en la combustión de los lodos, debido a su contenido en carbonato cálcico principalmente (hasta un 25% en base húmeda), pueden ser aprovechadas como materias primas secundarias en la industria de fabricación de clínker, de manera que en el escenario de economía circular se contempla este uso.

6.7.5. Resultados y conclusiones

Los resultados del Análisis de Ciclo de Vida se muestran en las siguientes figuras. En primer lugar, la Figura 54 representa la contribución de los escenarios modelados a cada categoría de impacto analizada.

³³ El código 030310 se corresponde según la codificación establecida en el listado de residuos de la Unión Europea a “Desechos de fibras y lodos de fibras, de materiales de carga y de estucado, obtenidos por separación mecánica”.



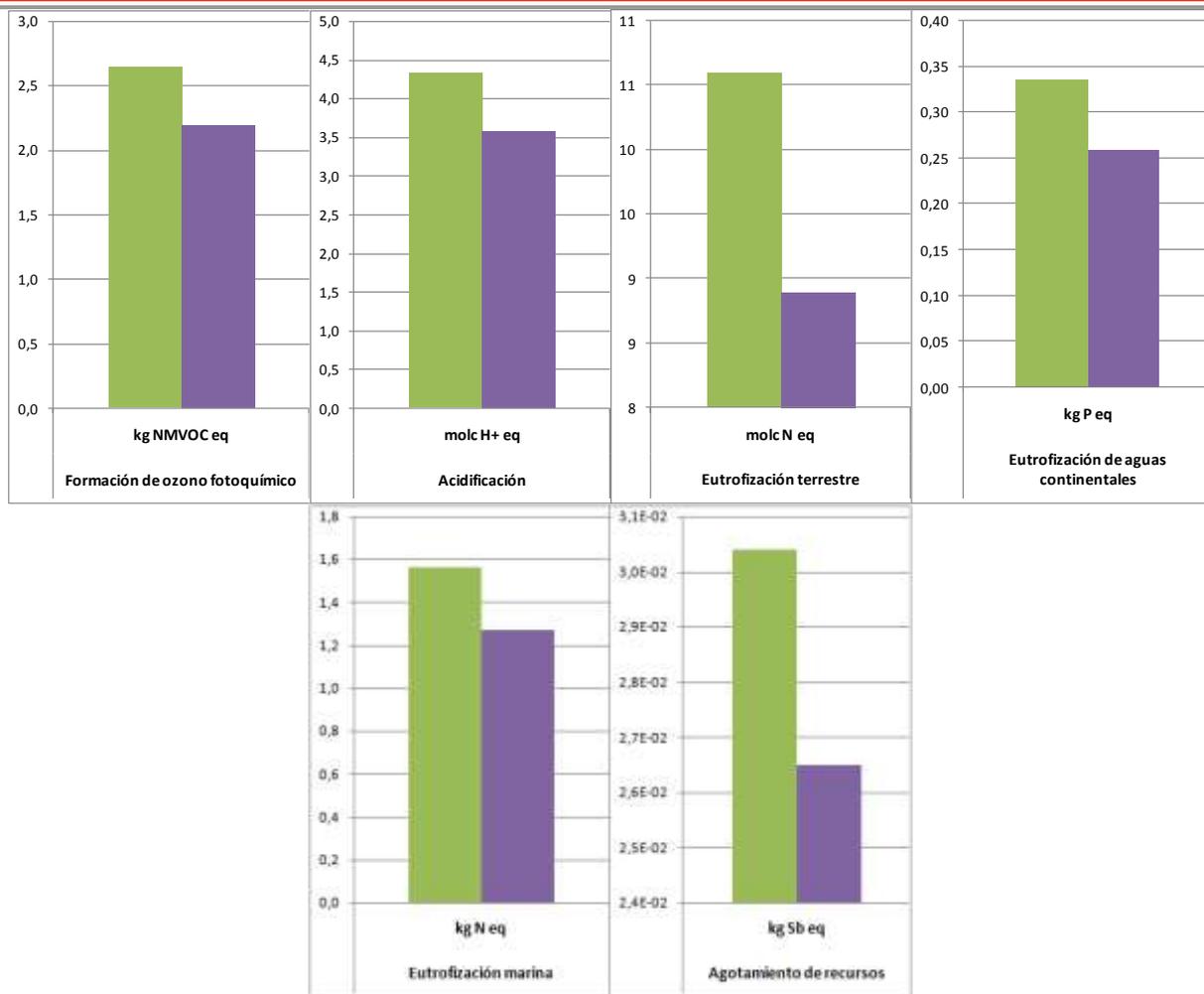


Figura 54: Impactos ambientales de la producción de cartón de embalaje 100% reciclado en los escenarios actual y de economía circular

La Figura 55 resume la reducción que se alcanzaría a en un escenario de economía circular para cada categoría de impacto. La reducción a alcanzar se representa como porcentaje de reducción sobre el escenario actual. La figura muestra que la valorización energética de la totalidad de los lodos generados en la producción del cartón de embalaje 100% reciclado y, el posterior aprovechamiento de las correspondientes cenizas generadas en dicha valorización como materia prima secundaria en la producción de clínker, conlleva un beneficio neto ambiental.

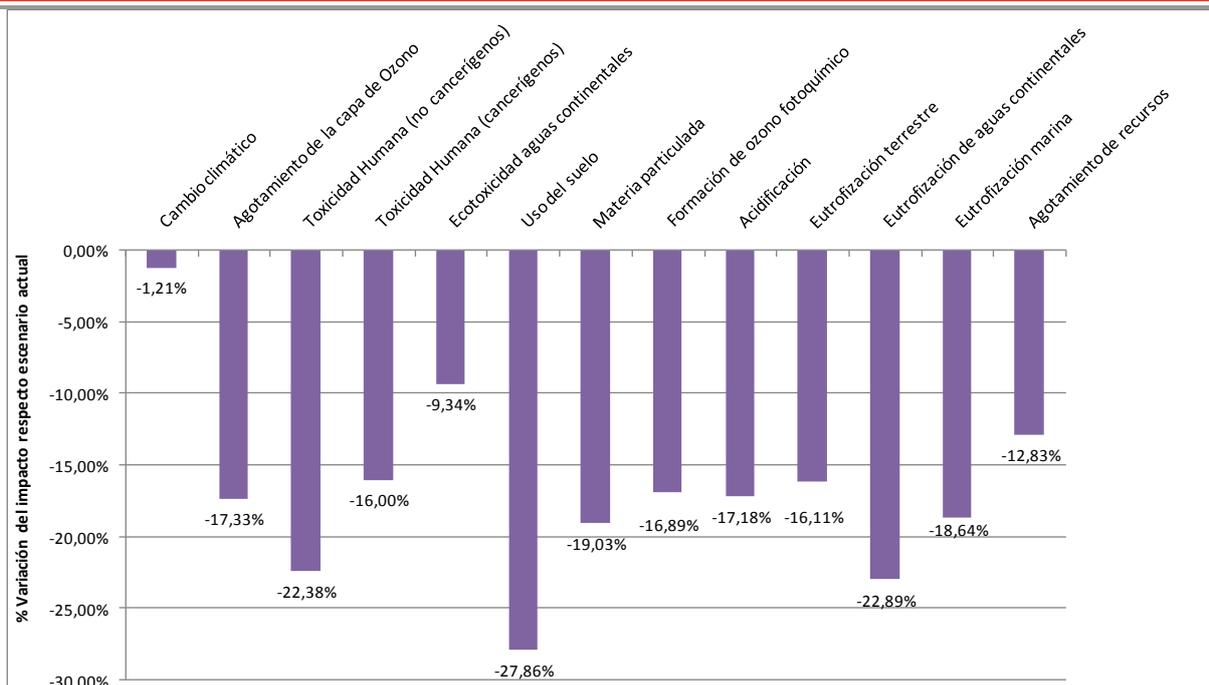


Figura 55: Variación de los impactos ambientales en la producción de cartón de embalaje 100% reciclado en el escenario de economía circular respecto al escenario actual

En cuanto a la mejora ambiental respecto de cada una de las categorías de impacto evaluadas, tal y como se muestra en la Figura 54, todas ellas mejoran, reduciéndose el impacto correspondiente a cada categoría.

6.8. Conclusiones

Como conclusión general del Análisis de Ciclo de Vida cabe destacar que las mejoras modeladas en los escenarios optimizados suponen una importante reducción de impactos ambientales.

A modo de ejemplo, y estimando la repercusión que estas mejoras podrían tener a escala colombiana, podríamos estar hablando de una reducción de más de millón de toneladas de CO₂ en los escenarios de economía circular analizados.

Reducción potencial (ton CO ₂ equivalente) Extrapolación al volumen de mercado de Colombia	
Concreto premezclado	>1.000.000
Botellas de PET	99.450
Barra corrugada de acero ³⁴	255.387
Cartón de embalaje 100% reciclado	4.510

Tabla 92: Evaluación de la reducción de emisiones de CO₂ en los escenarios de economía circular estudiados respecto a los escenarios actuales

³⁴ Se ha extrapolado al total de aceros largos producidos en el país.

El concreto y el acero presentan unos potenciales de reducción muy importantes principalmente debido a la dimensión del mercado de estos productos.

Un aspecto clave que repercute en el potencial de reducción de impactos es la situación actual del cierre de ciclos en el país. En el caso del concreto premezclado en la actualidad se trata de un proceso prácticamente lineal, por lo que el volumen de residuos valorizable presenta amplias oportunidades.

En el caso de la chatarra, el cartón de embalaje y las botellas de PET el reciclaje está implantado y presenta tasas eficientes, si bien hay margen para una importante mejora hasta llegar a los niveles de los países más avanzados. En estos casos, sin embargo, se identifican algunos factores críticos, como por ejemplo:

- el aumento de la concienciación social para la separación de residuos,
- la mejora de la cobertura del servicio, incluyendo áreas locales,
- la formalización y capacitación del sector de la recogida y clasificación de residuos, para optimizar la calidad de la corriente recogida,
- mejoras tecnológicas en la clasificación de residuos para mejorar la calidad de la corriente reduciendo tiempo y costes (especialmente relevante en las botellas de PET),
- aprovechamiento de determinadas corrientes residuales como corrientes de materias primas secundarias,
- el ecodiseño de productos para minimizar elementos que reduzcan la reciclabilidad del producto (especialmente relevante en las botellas de PET)

En algunos de los productos aparece otro elemento clave, como es la gestión de los residuos que se generan en la industria (en el caso de las barras corrugadas, donde se han identificado numerosos residuos siderúrgicos cuyo aprovechamiento es limitado) o la capacidad de metabolizar residuos del propio sector o de otros (como en el caso del cemento, donde se ha identificado la posibilidad de incorporar un mayor número de residuos, sobre todo de construcción y demolición).

Otros aspectos clave a tener en cuenta en la evaluación de los resultados obtenidos son los siguientes:

- Mix eléctrico de Colombia: la producción de energías renovables (principalmente hidroeléctrica) del país es muy importante, por lo que el consumo eléctrico tiene menor impacto ambiental. Este aspecto es especialmente relevante en sectores de alta demanda eléctrica (por ejemplo el siderúrgico).
- Transporte de residuos: las etapas de transporte pueden conllevar repercusiones ambientales importantes en la recogida y reciclaje de residuos. En aquellos casos en los que el reciclaje se destina a aplicaciones de bajo valor añadido (por ejemplo, sustitución de grava en concretera, relleno en construcción, etc.) el beneficio ambiental por tonelada es más reducido, por lo que el impacto asociado a un transporte no eficiente y de larga distancia puede llevar a cuestionar la sostenibilidad de toda la estrategia de fin de vida. En este caso hay que tener en cuenta además que la edad media del transporte automotor de cargas en

Colombia es de 21 años, lo que significa que el consumo de combustible y las emisiones del transporte son importantes.

- Importaciones: para algunos de los productos analizados la importación de materias primas tiene una importante repercusión ambiental (por ejemplo en el caso del acero, el PET e incluso el concreto, debido a las importaciones de insumos para cementeras). La producción en el país y la sustitución de materias vírgenes por materiales reciclados locales permite reducir impactos al minimizar el transporte

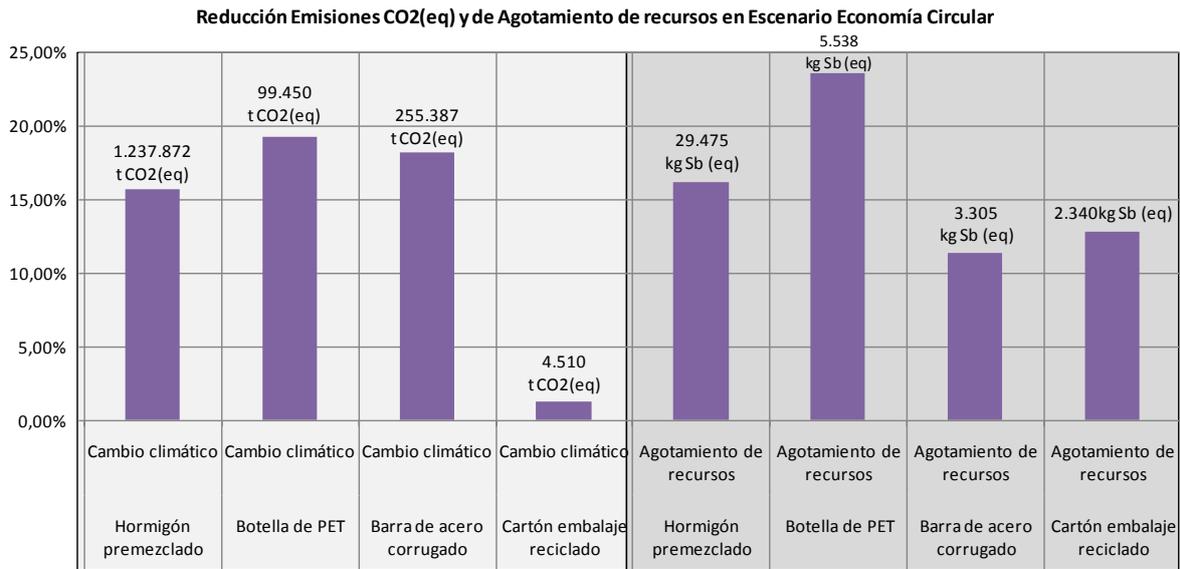


Figura 56: Reducción global de CO₂(eq) y de Agotamiento de recursos en Escenario de Economía Circular

A continuación se resumen las conclusiones más relevantes del Análisis de Ciclo de Vida de los productos analizados.

CONCRETO PREMEZCLADO

- Los beneficios ambientales de la incorporación de RCDs varían en función de la etapa de producción en la que se adicionan, y principalmente, del material al que sustituyen.
- La incorporación de residuos en la cementera, sustituyendo a materiales de alto valor añadido como el clínker o el mineral de hierro (que se asocian a importantes impactos en su producción) conlleva una reducción de impactos significativa. Por tonelada de cemento se consigue una reducción de entre el 3% y el 25% de los impactos. A modo de ejemplo, por tonelada de cemento se estima una reducción de 40 kg de CO₂, lo que extrapolado al global de la producción en Colombia, daría lugar a la reducción de aproximadamente 400.000 toneladas de CO₂ al año.
- La sustitución del yeso por yeso sintético también permite reducir impactos, aunque de forma más limitada. La reducida cantidad de yeso sintético incorporada por tonelada de cemento hace que el uso de este material secundario sea responsable tan solo de menos del 5% de la reducción global alcanzada.

- Las concreteras permiten metabolizar 1 tonelada de agregados gruesos por m³. Teniendo en cuenta que el material sustituido no conlleva un impacto importante, la ventaja ambiental alcanzada es limitada. En este punto el transporte juega un papel muy relevante, ya que en caso de transportes mayores a 100 km (considerando transporte a planta de pretratamiento y posteriormente a la planta cementera) no se observa beneficio ambiental, ya que el impacto del transporte sería superior al del material evitado.
- La principal ventaja ambiental alcanzada en la optimización del flujo circular de materiales en la producción de hormigón está asociada al aumento de la tasa de reciclaje hasta llegar al 50%. Esto permite reducir los impactos de la disposición final (considerando el transporte y las operaciones de un depósito controlado), así como la obtención de nueva materia prima para su incorporación a posteriores ciclos de vida.

BOTELLAS DE PET

- El principal impacto del ciclo de vida de la botella está asociado con el consumo de material, es decir, el PET, que proviene principalmente de terceros países.
- El escenario propuesto propone aumentar el contenido de PET reciclado en la botella hasta el 50%, reduciendo la cantidad de resina virgen y las emisiones en su transporte, al tratarse de material principalmente importado.
- En este contexto, el aumento en un 20% de la tasa de reciclaje (hasta alcanzar el 50%) y la producción de botellas con un 50% de contenido en PET reciclado permiten evitar la emisión de 580 kg de CO₂ por tonelada de botellas.
- Para aumentar la tasa de reciclaje (indispensable para contar con el material reciclado suficiente en el mercado) es clave aumentar la tasa de recogida. Teniendo en cuenta que solamente en la planta de reciclaje pueden perderse alrededor del 25% de los materiales³⁵, sería necesario alcanzar una tasa de recogida del 60%. Un adecuado pretratamiento, acompañado por la involucración de recolectores formados, permitiría mejorar la calidad de la corriente que entra en la planta de reciclaje, reduciendo pérdidas de material.
- El ecodiseño también permitiría mejorar la reciclabilidad del residuo final, diseñando botellas con materiales compatibles para el reciclaje o fácilmente separables. Sin embargo, este aspecto es de muy difícil cuantificación.

BARRA DE ACERO CORRUGADO

- La mejora ambiental que se identifica en el escenario de economía circular propuesto en este informe viene determinada principalmente por el aumento del reciclaje de chatarra aún posible en Colombia, excepto para las categorías de impacto "Toxicidad Humana, cancerígenos" y "Ecotoxicidad aguas continentales". La eliminación del depósito final de

³⁵ Fuentes industriales Colombianas y Europeas.

residuos siderúrgicos es prácticamente el responsable único de la reducción de las emisiones de sustancias tóxicas.

- La mejor gestión de los residuos siderúrgicos contribuye en un 20% aproximadamente a la reducción que se da en la categoría de impacto “Uso del Suelo” a lo largo de todo el ciclo de vida. Ello se debe a la menor ocupación de los vertederos y la menor demanda de recursos.
- Para el resto de las categorías de impacto, la mejora de la gestión de los residuos siderúrgicos aporta entre el 1 y el 5% de la mejora alcanzada en todo el ciclo de vida de las barras corrugadas de acero.
- La categoría de impacto denominada “Toxicidad Humana (efectos no cancerígenos)” muestra un ligero aumento del 17%, ya que las fuentes de datos utilizadas asocian un aumento de las emisiones de algunos metales en la producción de acero a partir de chatarra en comparación con la producción a partir de mineral. Teniendo en cuenta que en el estudio no ha sido posible contar con datos específicos de emisiones en las siderurgias colombianas, estos valores deberían validarse de cara al análisis de resultados y a revisiones futuras.
- En el estudio se ha asumido que el aumento del reciclaje está asociado a una mayor capacidad de producción nacional y menor consumo de acero importado. De acuerdo a las bases de datos de Análisis de Ciclo de Vida utilizadas, y considerando también los datos relativos a las operaciones de transporte del material, el acero nacional que se produciría en el escenario de economía circular (con un ligero aumento de acero a partir de chatarra) tiene aún menor impacto que la producción media internacional (Ecoinvent 3.3), aunque para poder validar este dato sería necesario realizar análisis más exhaustivos.

CARTÓN DE EMBALAJE 100% RECICLADO

- La mejora ambiental conseguida procede principalmente del aprovechamiento energético de las corrientes residuales de lodos de la producción del cartón de embalaje 100% reciclado y del posterior aprovechamiento como materia prima secundaria de las cenizas de la combustión de dichos lodos en la industria de fabricación de clínker.
- Aunque en la actualidad la tasa de reciclaje de papel y cartón en Colombia está en el 55%, hay margen de mejora para alcanzar las tasas de los países más desarrollados. En el escenario de una economía circular en Colombia, esto se ha tenido en cuenta de tal manera que, la tasa de reciclaje considerada fue del 81%, equivalente a la de España, país de referencia en este sentido.
- Considerando las propiedades físicas y químicas de las cenizas generadas en la combustión de los lodos, éstas presentan unas propiedades similares a las del clínker más puzolánico, con lo que si se considera una sustitución 1 a 1, el aprovechamiento de las mencionadas cenizas podría evitar la producción de aproximadamente 5.000 toneladas anuales de clínker.
- La antedicha valorización energética supone un ahorro en el consumo de combustibles fósiles ya que se plantea realizar dicho aprovechamiento en la misma planta de producción

del cartón de embalaje 100% reciclado.

7. Análisis de factores de gobernanza, técnicos-tecnológicos, económico-financieros, de mercado y sociales

7.1. Contextualización

En este capítulo se identifican los principales aspectos relacionados con el estado actual frente a la promoción de la economía circular, las limitaciones y oportunidades a través de la información obtenida durante la fase de diagnóstico en entrevistas con diferentes departamentos de la administración colombiana, cámaras y asociaciones sectoriales, empresas del sector manufacturero y de la construcción, acorde con la priorización de materiales realizada y la revisión de información secundaria asociada.

Se realiza un análisis del diagnóstico de partida, en cuanto a posicionamiento de diversos planos frente a los nuevos paradigmas de economía circular. Estos planos de análisis son a) **gobernanza** (incluyendo legislación, normativa e instrumentos de planificación y control), b) **técnicos-tecnológicos** (incluyendo una visión del nivel tecnológico actual para la transformación de las diferentes corrientes), c) **económico-financieros y de mercado**, así como d) aspectos **socio-culturales** (incluyendo la diversidad de agentes que intervienen en la cadena de valor). A continuación se describe cada plano analizado.

7.2. Aspectos de gobernanza

Contexto

La implementación de la economía circular se ve afectada por el marco normativo y regulatorio. Con base en el análisis de estos aspectos asociados con las políticas de producción y de gestión de residuos sólidos post-consumo, se identificarán oportunidades o barreras existentes que serán la base para proponer recomendaciones de ajustes o nuevos desarrollos normativos. Cabe aclarar que, si bien **los residuos municipales** no son objeto específico del estudio, **determinan el cierre de ciclos de ciertos materiales priorizados hacia algunas de las actividades manufactureras priorizadas**.

El contexto en que se desarrolla **la mayor parte de manejo de residuos sólidos en Colombia es a través de la prestación del servicio público de aseo**, lo que hace necesario que la gestión de residuos municipales tenga un manejo articulado en el marco de un modelo de economía circular. Asimismo, se deben fortalecer actividades orientadas al manejo diferenciado de materiales con potencial de recuperación que, en la actualidad, van a disposición final en rellenos sanitarios.

El **desarrollo normativo reciente está orientado en este sentido; el CONPES 3874 de 2016** establece **la economía circular como una estrategia a largo plazo**. Sin embargo, no plantea planes específicos por grandes corrientes de residuos (por ser una política y no un plan), aunque contiene acciones para que los Ministerios involucrados analicen y propongan reglamentaciones para el manejo adecuado

de dichos flujos de residuos (e.j.: acciones 1.4, 1.5 “RCD, textiles, agrícolas no peligrosos, llantas, entre otros”; 1.6 “Envases y empaques”; 1.7 “otras corrientes”; 3.1 “RCD”; 3.3 “orgánicos” en el Plan de Acción y Seguimiento). No incluye una planificación por grandes tipos de residuos (manufactureros no peligrosos, peligrosos, municipales y de construcción & demolición), ni se prevén instrumentos económicos para la implementación de acciones específicas orientadas a dichos residuos.

➤ Servicio Público de Aseo.

Los antecedentes jurídicos del marco normativo de la gestión de residuos en Colombia, tiene su origen en el Código Sanitario Nacional - Ley 9 de 1979 y el Decreto-Ley 2811 de 1974, los cuales dividieron el tema entre la perspectivas sanitaria y las de carácter ambientales; posteriormente con la expedición de la Constitución Política de 1991, de la Ley 99 de 1993 y de la Ley 142 de 1994 se ha establecido una amplia reglamentación que se agrupa en normas de carácter general y reglamentación específica asociada.

La Constitución Política de Colombia de 1991, estableció el derecho a un medio ambiente sano como derecho colectivo, se fortaleció la descentralización, promovió la participación ciudadana y dio paso a la organización empresarial en los servicios públicos; aspecto que se desarrolla en la Ley 142 de 1994; la cual estableció el ordenamiento institucional para el sector, las condiciones para la creación de operadores del servicio, los indicadores de continuidad, calidad y cobertura y dio paso al desarrollo del marco regulatorio.

Este desarrollo empresarial permitió incorporar elementos de economía de mercado con el fin de aumentar la cobertura, la eficiencia y la calidad de los servicios públicos. Las señales regulatorias orientadas a cubrir los costos económicos de la operación de los servicios han consolidado un mercado de operadores especializados públicos y privados, lo cual ha venido registrando mejoras en la sostenibilidad de la prestación del servicio así como ha fortalecido la intervención del Estado acorde con sus fines sociales.

A continuación se relacionan los principales documentos de Política y el marco jurídico representado por las leyes, decretos y resoluciones que aplican al manejo de residuos sólidos, con énfasis en lo pertinente con este estudio:

Políticas y Documentos CONPES	
Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible. 2010.	
Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Documento CONPES 3874. (2016).	
Residuos Sólidos - Generales³⁶	
Decreto 2981 de 2013	Establece el Programa para la Prestación del Servicio de Aseo y ajusta las actividades del servicio público de aseo en (1) la Recolección, (2) el Transporte, (3) el Barrido, limpieza de vías y áreas públicas, (4) Corte de césped, poda de árboles en las vías y áreas públicas, (5) Transferencia, (6) Tratamiento, (7) Aprovechamiento, (8) Disposición final y (9) Lavado de

³⁶ Decreto 1077 de 2015. Decreto Único reglamentario del Sector Vivienda y Desarrollo Territorial, compila el Decreto 2981 de 2013, el Decreto 596 de 2016 y el Decreto 838 de 2005.

	áreas públicas.
Decreto 596 de 2016	Reglamenta el esquema de reciclaje y aprovechamiento en el servicio público de aseo y el régimen transitorio para la formalización de los recicladores de oficio. Se espera, como resultado, la formalización de la población de recicladores y un <i>aumento en la separación en la fuente y acopio de materiales como papel, cartón, metal y botellas plásticas que van a la industria transformadora.</i> Esta norma no aplica a residuos de construcción.
Servicios Públicos de Acueducto, Alcantarillado y Aseo	
Ley 142 de 1994 y sus modificatorias	Por la cual se establece la regulación de los servicios públicos domiciliarios y sus modificatorias en especial la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001.
Resolución 720 de 2015	Comprende el nuevo marco tarifario del servicio público de aseo para municipios con más de 5.000 suscriptores en el área urbana, vigente para los próximos 5 años. Se incorpora el costo del tratamiento de lixiviados, permitiendo a los operadores el ajuste a los objetivos de calidad definidos por las autoridades ambientales. <i>Con esta norma se busca mejorar los estándares de operación relacionados con la compactación y el tratamiento de lixiviados.</i>
Resolución CRA No. 718 de 2015	Esta norma contiene avances, de los cuales vale la pena resaltar para efectos de este estudio: <ul style="list-style-type: none"> • El <i>reconocimiento tarifario del aprovechamiento y reciclaje</i> como una actividad del servicio público de aseo. • La <i>remuneración vía tarifa</i> a las tecnologías alternativas para el tratamiento y disposición final de residuos sólidos, buscando impulsar sistemas de servicios públicos ambientalmente sostenibles. • Costos de recolección y transporte de residuos no aprovechables • Se incorpora un régimen de calidad y descuentos a través del cual, una <i>falla en la calidad del servicio prestado, deberá ser objeto de una reducción en la tarifa que pagarán los usuarios.</i>

Tabla 93: Política y marco jurídico que aplican al manejo de residuos sólidos

➤ Residuos Peligrosos.

En materia de residuos peligrosos el contexto en el país se resume así:

- Los ***residuos químicos industriales son considerados dentro de la categoría*** de residuos o desechos peligrosos; antes del 2005 la normatividad relacionada no estaba consolidada por una directriz nacional, se manejaba desde el sector salud y consistía en reglamentaciones específicas para el sector industrial y para el hospitalario.
- En el 2005 se formuló la Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos y el Decreto 4741 de 2005, con lo que se avanzó a nivel nacional hacia una gestión más organizada.

- En el 2008, con la entrada en vigencia de la Resolución 1362 de 2007, se **reglamentó el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos, el cual es una herramienta que permite capturar información de manera sistemática, normalizada y homogénea, sobre la generación y la gestión de los residuos o desechos peligrosos.**
- Adicionalmente Colombia en 1998 en el marco de la suscripción del Convenio de Basilea y todos sus anexos, aprobó la Ley 430, cuyo principal objeto es el de regular todo lo relacionado con la prohibición de introducir desechos peligrosos al territorio nacional, en cualquier modalidad y estableció la responsabilidad por el manejo integral de los residuos o desechos peligrosos generados en el país, contemplando los procesos de producción, gestión y manejo de los mismos.
- El tema en general está **a cargo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS a través de la Corporaciones Autónomas Regionales encargadas de autorizar a los operadores especializados en el manejo, transporte y disposición final de estos residuos y el Registro de Generadores lo administra a nivel nacional el IDEAM.**
- El **flujo de información se inicia con el establecimiento generador**, quién reporta vía web los datos de generación y correspondiente forma de gestión, esta información se trasmite a la correspondiente autoridad ambiental, la cual reporta al IDEAM, al que le corresponde mantener disponible esta información para que las autoridades ambientales puedan consultarla, revisarla, procesarla, generar reportes y realizar la divulgación de información consolidada; así mismo el IDEAM genera salidas de información, con los datos transmitidos por las autoridades ambientales regionales y consolidados a nivel nacional, para ponerlas a disposición del público en general de forma agregada. En síntesis el manejo se registra en el siguiente gráfico:

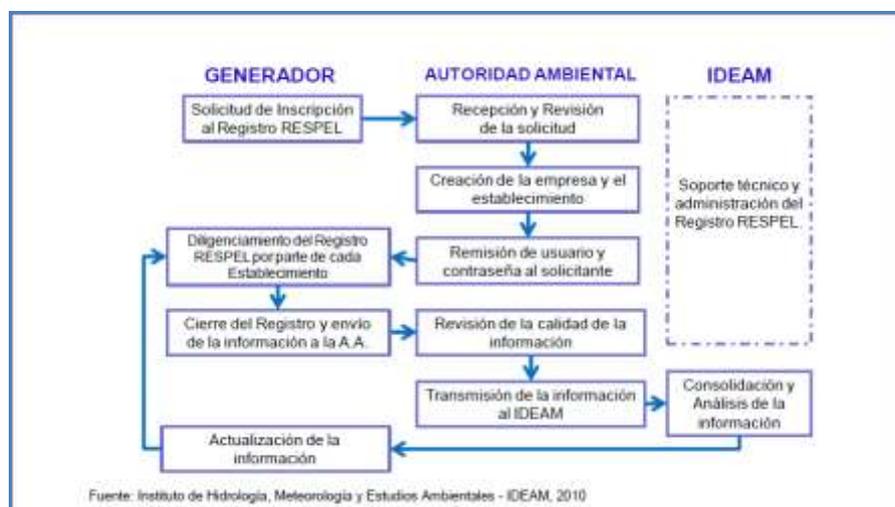


Figura 57: Flujo de información en materia de residuos peligrosos.

➤ **Residuos de Construcción– RCD.**

La **Resolución No. 472 de febrero de 2017 reglamenta la gestión integral de residuos generados en las actividades de construcción y demolición** con potencial de recuperación, incluye los productos de excavación y sobrantes de la adecuación de terreno, productos de cimentaciones como arcillas, bentonitas, pétreos como concreto, arenas, gravas, gravillas, cantos, pétreos (asfálticos, ladrillos y bloques, cerámicas, sobrantes de mezcla de cementos, concretos hidráulicos), no pétreos (vidrio, metales como acero, hierro, cobre, aluminio, con o sin recubrimiento de zinc o estaño, plásticos

como PVC, polietileno, policarbonato, acrílico, espumas de poliestireno y poliuretano, gomas y cauchos, compuestos de madera.

Establece las medidas de manejo ambiental en puntos limpios y plantas de aprovechamiento y crea la figura de gestores como agentes de gestión, con responsabilidad frente a las autoridades ambientales regionales; sin embargo, no desarrolla instrumentos económicos asociados.

➤ Residuos industriales no peligrosos

No existe resolución específica al respecto.

Marco institucional

En Colombia, frente al sector de **la prestación del servicio de aseo y sobre la gestión de residuos, la responsabilidad es municipal**, como lo señala el marco normativo general de acuerdo con la Constitución Política Nacional; de ahí que corresponda, principalmente, a los municipios promover, financiar o cofinanciar proyectos de interés municipal, particularmente en lo relacionado con la construcción, ampliación, rehabilitación y mejoramiento de la infraestructura de los servicios públicos.³⁷

Bajo estas consideraciones se establecieron desarrollos normativos específicos en los cuales se ratifica esta directriz estableciendo el alcance, las responsabilidades por los efectos ambientales y en salud pública de los prestadores del servicio de aseo y las competencias de los municipios en cuanto a la prestación del servicio público de aseo en todos sus componentes.

Igualmente, se establecen instrumentos de intervención estatal, se definen roles, funciones y competencias a una serie de entidades que conforman la estructura institucional según los niveles nacional, regional y local como se presenta en la siguiente figura:

³⁷ Consejo de Estado, Sección Primera. Exp: 63001-23000-2004-00901-0, Sentencia del 22 – 05- 08, CP: Marco Antonio Velilla

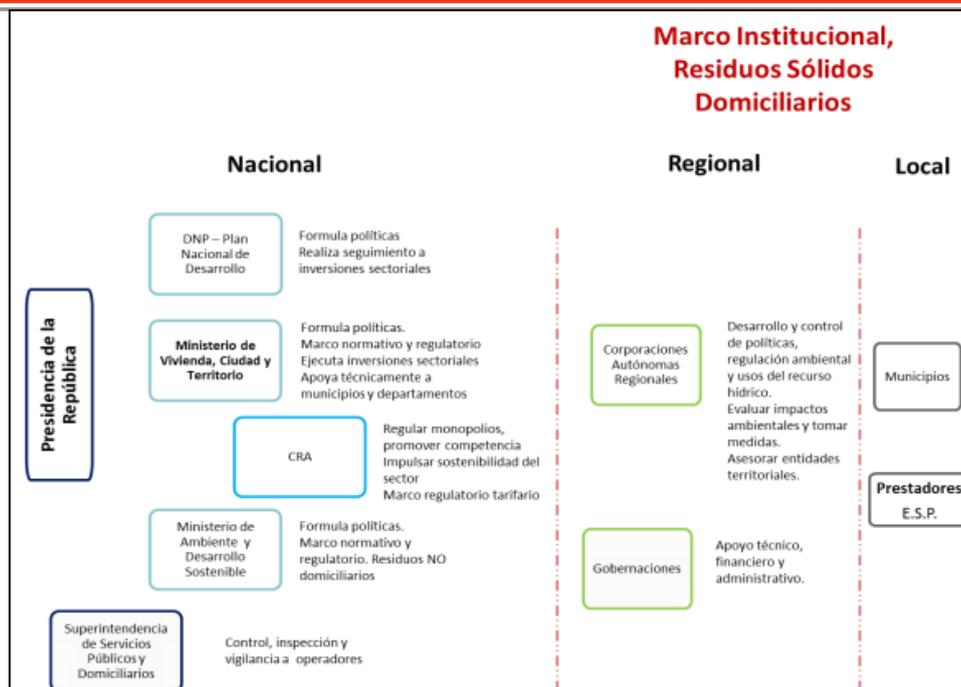


Figura 58: Marco Institucional de Residuos Sólidos Domiciliarios

Adicionalmente, para brindar apoyo a los entes territoriales, desde el Gobierno Nacional existen estrategias de financiación para el Sector de Agua potable y Saneamiento Básico que apoyan a las regiones en la ejecución de proyectos de inversión relacionados con el manejo de residuos asociados al servicio público de aseo, de las cuales se resaltan las siguientes:

- **Sistema General de Participaciones – SGP-APSB (Subsidios e Inversiones).** El Gobierno Nacional realiza transferencias de recursos, específicamente para dos usos generales: **subsidios a los estratos 1, 2 y 3 e inversiones que estén definidas en los planes de gestión integral de residuos sólidos** – PGIRS y como complemento a inversiones de los prestadores de los servicios de agua potable y saneamiento básico. Son recursos de destinación específica orientados a inversión en infraestructura que requiera el municipio o distrito para asegurar la prestación del servicio público en área rural y urbana.
- **Sistema General de Regalías.** Los Departamentos y municipios pueden destinar hasta el 90% del total de estos recursos para proyectos de inversión establecidos como prioritarios en planes de desarrollo territorial, se busca promover el **desarrollo de las entidades territoriales, incluye la inversión y estructuración de proyectos del sector de saneamiento básico.**

A continuación se resumen las principales barreras identificadas en cuanto a aspectos normativos e institucionales:

Diagnóstico de partida en Colombia	Recomendación de mejora hacia escenarios de economía circular
------------------------------------	---

		Diagnóstico de partida en Colombia	Recomendación de mejora hacia escenarios de economía circular
GOBERNANZA	Aspectos comunes	<p>El manejo de los residuos se rige por la Ley 142 de 1994 que reglamenta la prestación del servicio público de aseo y sus decretos reglamentarios, en los cuales el tratamiento y procesos de valorización no han sido regulados.</p>	<p>Se requiere desarrollo adicional y armonización normativa frente al sector de la gestión de materiales y residuos con potencial de recuperación para los diversos flujos económicos.</p>
		<p>La Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos - CONPES 3874 de 2016 plantea la transición hacia un modelo de economía circular, buscando fortalecer el reciclaje y la valorización económica.</p> <p>En términos globales, se evidencia una ausencia integral de planificación estratégica, con acciones específicas y dotación de recursos económicos en cuanto a la gestión de materiales en los sectores de la industria manufacturera y de la construcción, bajo el paradigma de cierre de ciclos.</p>	<p>Para lograr la transición planteada se requiere del desarrollo de instrumentos económicos, regulatorios y de carácter técnico que permitan la implementación de estrategias sostenibles y articuladas de forma sectorial.</p> <p>Se requiere reforzar los instrumentos de gobernanza que consoliden el ciclo de los materiales; especialmente, instrumentos de planificación, dotación económica y seguimiento que establezcan objetivos, acciones, indicadores de seguimiento y doten de los recursos suficientes para la implementación de las diferentes acciones priorizadas.</p>
		<p>Ausencia de un plan específico de residuos industriales no peligrosos</p>	<p>Elaborar un plan específico de residuos industriales no peligrosos, que desarrolle la política de prevención de residuos, conforme a la normativa vigente para avanzar en el cumplimiento del objetivo de reducción de los residuos, definiendo líneas estratégicas y obligaciones de los agentes involucrados</p>
		<p>El sector institucional asociado está representado en varias entidades con diferentes roles y competencias, con cierta ausencia de articulación institucional.</p> <p>Necesidad de agilizar los trámites administrativos de acceso a exenciones fiscales por implantación de tecnologías limpias.</p>	<p>Se requieren esfuerzos para mejorar la coordinación y unidad de criterio en el sector institucional relacionado con el tema El diagnóstico realizado por la OCDE (2014), así como entrevistados en la etapa de diagnóstico señalan la falta de articulación institucional, así como la necesidad de políticas claras y procedimientos ágiles que eviten la duplicidad de esfuerzos y conceptos algunas veces contradictorios.</p>

		Diagnóstico de partida en Colombia	Recomendación de mejora hacia escenarios de economía circular
Aspectos específicos		<p>Se detecta <i>inconsistencia entre las estadísticas oficiales de generación de residuos de la industria manufacturera</i> y las estimaciones sectoriales.</p> <p>Asimismo, se evidencia la <i>ausencia de información armonizada</i> para los diferentes flujos de residuos. Los flujos de información que nutren las estadísticas se encuentran segregados entre diferentes entidades.</p>	<p>Se identifica, por ende, la necesidad de <i>armonizar criterios frente a las estadísticas y crear sistemas ágiles de información</i> que permitan estimar, como mínimo, la generación y niveles de recuperación de los recursos materiales embebidos en los residuos manufactureros y de la construcción.</p> <p>Adicionalmente, se recomienda que la <i>recogida y seguimiento de información estadística la centralice aquel departamento que más responsabilidad manifieste en cuanto a la consecución de objetivos de cierre de ciclos de recursos materiales.</i></p>
		<p><i>Escaso control administrativo en cuanto a tareas de selección en origen.</i></p>	<p>Se requiere potenciar <i>soluciones administrativas para incrementar el control de la información y reducir la informalidad en la separación en la fuente</i> de recursos materiales post-consumo y opciones de gestión asociadas tras la recogida en origen.</p>
		<p>El desarrollo normativo existente <i>sobre residuos de construcción y demolición no establece instrumentos económicos</i> que promuevan el aprovechamiento de los materiales con potencial de recuperación.</p>	<p><i>Dotación económica específica</i> para promover el cierre del ciclo de materiales de construcción.</p>

Tabla 94: Situación de gobernanza en Colombia y recomendaciones de mejora

7.3. Aspectos técnico-tecnológicos y logísticos, buenas prácticas y tecnologías disponibles

A continuación se recogen las principales barreras identificadas en cuanto a aspectos técnicos, tecnológicos y logísticos:

Diagnóstico de partida en Colombia	Recomendación de mejora hacia escenarios de economía circular
------------------------------------	---

		Diagnóstico de partida en Colombia	Recomendación de mejora hacia escenarios de economía circular
TECNOLÓGICO	Aspectos comunes	Los productos actuales no se diseñan con criterios de fin de vida sostenibles (reutilización, valorización, etc.)	Se identifica, como estímulo a la demanda de materiales recuperados, la aplicación de criterios de eco-diseño en las actividades industriales y de la construcción que permitan una mejor segregación de los diferentes recursos materiales y su ulterior recuperación en los diferentes ciclos productivos, así como identificar estrategias que permitan señales de mercado más estables.
	Aspectos específicos	Insuficiente recuperación y retorno de materiales desde la etapa de post-consumo a los procesos manufactureros; especialmente, para los materiales de construcción, poliméricos y celulósicos .	Resulta necesario articular las señales del sector de prestación del servicio público de aseo con las requeridas para fortalecer las infraestructuras y actividades de recolección en origen y separación de materiales en su etapa post-consumo ; preferentemente, productos poliméricos, de naturaleza celulósica (papel-cartón) y materiales de construcción asociados a obra menor en un ámbito de recogida urbana.
		Ausencia de infraestructuras para la recuperación de recursos materiales de residuos de construcción y bajo nivel tecnológico para el cierre de ciclos de recursos materiales poliméricos .	Se requiere avanzar en infraestructuras e incremento del nivel tecnológico asociado, principalmente, a la transformación y reciclaje de materiales de naturaleza polimérica y de construcción que garanticen un suministro estable y de mayor calidad de dichos recursos hacia las correspondientes actividades manufactureras.
		Existen niveles tecnológicos más cercanos a mejores escenarios en cuanto a cierre de ciclos de acero, celulósicos y bio-residuos del sector agroindustrial (foco en actividad de transformación de caña de azúcar) para producir papel/cartón.	Desarrollar la oportunidad existente de valorización de bio-residuos en actividades de bioeconomía.

		Diagnóstico de partida en Colombia	Recomendación de mejora hacia escenarios de economía circular
		<p><i>Escasa información sobre el aprovechamiento de subproductos y residuos de los sectores del acero y el papel y ausencia de experiencias de simbiosis industrial para concatenar el cierre de ciclos entre actividades manufactureras y de la construcción.</i></p>	<p>Se recomienda <i>impulsar actividades y negocios de simbiosis industrial que permitan concatenar el cierre de ciclos</i> en determinados sectores productivos. Esto es aplicable, <i>preferentemente, entre el sector del acero y el sector de la construcción</i>, a partir de los subproductos generados por la actividad del primero, así como <i>entre el sector primario y el sector del papel</i> con objetivos de concatenar cierre de ciclos entre sectores.</p>

Tabla 95: Situación técnico-tecnológica y logística en Colombia y recomendaciones de mejora.

Para cada una de las 5 familias de materiales/productos seleccionadas en los apartados anteriores, se define la situación tecnológica en Colombia, comparándola con las mejores prácticas internacionales.

Situación en Colombia	Mejores prácticas internacionales
Trasformación de productos agrícolas y residuos asociados	
Gran parte de los residuos agrícolas no reutilizados son enviados a botaderos a cielo abierto sin condiciones sanitarias	Manejar paja, rastrojos y restos de poda según aplicaciones (alimentación o lecho de ganado, obtención de papel, glucosa o furfural, fabricación de tableros, aislante, material de relleno, combustible, estiércol o para compostaje)
Gran parte de los residuos agrícolas son utilizados en aplicaciones de bajo valor añadido	Utilización de residuos agrícolas para la producción de productos de alto valor añadido, como lo son entre otros, los biocombustibles o bioplásticos
Resulta muy habitual que las plantas manufactureras dispongan de instalaciones de cogeneración para el autoabastecimiento energético	Vertido de energía a la red Cenizas valorizadas como material puzolánico a distintas formulaciones de cementos y concretos
Cemento, concreto y cierre de ciclo de dichos materiales	
Ausencia de protocolos de deconstrucción/demolición	Protocolos marco de deconstrucción <ul style="list-style-type: none"> - EU Construction and Demolition Waste Protocol (2016) - EU demolition guidelines (2017)
Ausencia de directrices de separación de materiales de construcción en origen	Inventarios y herramientas orientadas a asegurar la trazabilidad y calidad de los materiales. <i>Tracimat</i> : sistema de aseguramiento de la calidad de los RCDs que certifica el riesgo de los materiales de demolición y facilita la gestión de

	<p>aquellos obtenidos en una demolición selectiva eficiente mediante un reparto de costes en los agentes de la cadena de valor (Tracimat)</p>
<p>Tecnología básica de trituración de residuos de construcción y demolición</p>	<p>Separación automática de fracciones mediante tecnología de infrarrojos (NIR), visión (VIS) e hiperespectral (HSS)</p> <p>Trituración y separación de finos de concreto mediante tecnología ADR y HAS (Advanced Dry Recovery y Heat Air Sorting)</p>
<p>Ausencia de instalaciones de transformación de RCDs y zonas de almacenamiento o sitios para la disposición de residuos no peligrosos situados en zonas aisladas</p>	<p>Plantas de tratamiento y gestión de RCDs con inspección a la entrada, compuestas por equipos ajustables de triturado, separación electromagnética de metales, cribado, separación por NIR/VIS y tasas ajustadas en función de la separación</p>
<p>Baja calidad de los productos reciclados. En su mayoría no cumplen con las normativas para utilización en construcción, no poseen programas de manejo ambiental y las condiciones laborales y de salud ocupacional son deficientes</p>	<p>Comercialización de agregado reciclado de calidad controlada</p> <ul style="list-style-type: none"> - Control de calidad en línea por espectroscopia laser (LIBS) <p>Promoción mediante programas de compra pública verde y otros incentivos económicos</p>
<p>Polímeros y residuos asociados de fin de vida útil</p>	
<p>Baja tasa de recogida: necesidad de aumentar la concienciación y la disponibilidad de infraestructuras para la recogida (también en zonas rurales)</p>	<p>Alta concienciación.</p> <p>Cobertura de servicio de recogida separada cercana al 100%</p>
<p>Limitaciones tecnológicas en el pretratamiento de residuos que permitan maximizar la pureza de la corriente residual y minimizar costos e impactos asociados al transporte.</p>	<p>Disponibilidad de sistemas separación de alta velocidad (como por ejemplo <i>Near Infra Red - NIR</i>) obteniendo una corriente de alta calidad rápidamente (PETCORE).</p> <p>Disponibilidad de sistemas de prensado para optimizar el transporte y la distribución.</p>
<p>Limitaciones en formación de recolectores y clasificadores, asociada en gran medida a la informalidad del sector.</p>	<p>Capacitación de la cadena de recogida y clasificación.</p>
<p>Baja implantación del ecodiseño; específicamente, mayor diseño para el reciclaje.</p>	<p>Implicación de toda la cadena de valor de los plásticos para identificar y evitar aspectos que implican el aumento de su impacto ambiental y su reciclabilidad.</p> <p>Ayudas económicas para la implantación del ecodiseño en la empresa (subvenciones o reducciones fiscales).</p> <p>Guías de ecodiseño para promover la compatibilidad de los materiales del producto (por ejemplo en envases, botellas, etc.)</p>
<p>Papel, cartón y residuos de las industrias de impresión y empaques</p>	

No se han encontrado datos de los destinos de gran parte del residuo clasificado como valorizado.	A falta de identificar los procesos concretos de valorización en Colombia, el potencial de mejora de los procesos actuales de compostaje y uso como materias primas en otras industrias podría mejorarse
	Minimizar el material no-papel adherido o de difícil separación/reciclaje (adhesivos, tintas...)
	Regulación de las empresas recolectoras y recicladoras de papel
	Uso de contenedores que eviten el mezclado con otros materiales, humedad
	Tecnologías de destintado
	Valorización de lodos
Acero y subproductos siderúrgicos	
Alta tasa de recuperación de chatarra	Enfocar la recuperación de chatarra en residuos de construcción y demolición, aparatos eléctricos y electrónicos y vehículos fuera de uso Chequear industria naval.
Aprovechamiento de escorias de horno alto (adición al cemento) y escorias de convertidor (fertilizante). La valorización del resto de residuos tiene mucho recorrido de mejora.	Plantas de tratamiento integrales que incluyen dos o tres sistemas de desferretizado, molinos primarios y secundarios, criba y silos de agregado siderúrgico Carbonatación acelerada de escorias
Ausencia de directrices de almacenamiento diferenciado de escorias negras, su valorización y utilización como agregado siderúrgico	Demostración del uso de agregados siderúrgicos en concreto estructural

Tabla 96: Situación tecnológica en Colombia, comparada con las mejores prácticas internacionales

7.4. Aspectos económico-financieros y de mercado

Frente al reto de modelos de economía circular y en consideración al contexto del manejo de residuos en el país, se requiere de la creación de otros instrumentos económicos complementarios a la tarifa por prestación del servicio público de aseo que permitan estimular las inversiones costo eficientes en:

- **Infraestructura asociada a la separación de materiales con potencial de recuperación.**
- Introducción de **tecnologías para recolección selectiva** por puntos de acopio vs. Recolección puerta a puerta, incluye dotación de flota vehicular adecuada para la recolección selectiva.
- Introducción de **tecnologías para la separación y clasificación de residuos en plantas especializadas por tipo de material.**
- **Promover procesos de recuperación de biomateriales.**

De acuerdo con el estudio realizado por DNP (2014) **estas inversiones establecidas para el periodo de 2015 a 2024, expresadas en pesos constantes de 2013, equivalen a \$3.4 billones de pesos**, sin incluir los costos asociados a operación y mantenimiento.

De conformidad con lo anterior, se ratifica la **necesidad de identificar fuentes de recursos financieros**, a través de políticas articuladas para brindar seguridad y sostenibilidad de este tipo de iniciativas. A continuación se describen las barreras analizadas para este plano.

		Diagnóstico de partida en Colombia	Recomendación de mejora hacia escenarios de economía circular
ECONÓMICO/ FINANCIERO / MERCADO	Aspectos comunes	<p>El marco tarifario actual (Resolución 720 de 2015) es una barrera para incorporar tratamientos previos, toda vez que establece que se podrán emplear alternativas a relleno sanitario, siempre y cuando el costo a trasladar a los usuarios en la tarifa no exceda el Costo de Disposición Final definido.</p>	<p>Se requiere revisar la metodología tarifaria para incorporar costos de infraestructura y de operación de tratamientos para recuperar materiales y desincentivar la disposición final de los residuos.</p>
		<p>Fallas de logística inversa y de suministro. El suministro de material a la industria transformadora no es estable lo que afecta a la viabilidad de negocios y decisiones de inversión.</p> <p>Asimismo, se evidencian altos costos logísticos, asociados a la infraestructura vial del país.</p>	<p>Se requiere del diseño de estrategias para resolver fallas de mercado, fortaleciendo la selección en el origen, profesionalizando las actividades de logística inversa y priorizando inversiones para la recuperación de materiales de mayor valor añadido.</p>
		<p>Los presupuestos públicos de inversión en infraestructura para la gestión de residuos se destinan principalmente, a rellenos sanitarios y por ende, se siguen priorizando recursos económicos hacia paradigmas de economía lineal.</p>	<p>Planificar inversiones estratégicas que contribuyan a mejorar la oferta de recursos materiales recuperados desde la recogida post-consumo hasta el tratamiento de los residuos para la producción de recursos materiales intermedios.</p> <p>La prioridad de dotación económica pública se debería canalizar hacia sistemas de recogida post-consumo de recursos poliméricos, celulósicos (papel/cartón) y materiales de construcción de ámbito urbano. Asimismo, cabe plantear la posibilidad de colaboración público-privada para la inversión de infraestructura de tratamiento de RCD o plantas automáticas de separación de polímeros post-consumo por familia.</p> <p>Dotar de seguridad jurídica al inversor.</p>

		Diagnóstico de partida en Colombia	Recomendación de mejora hacia escenarios de economía circular
		Se registran deficiencias en los esquemas de financiación dirigidos a las regiones y municipios . Dichos esquemas se realizan de forma aislada y sin adecuados mecanismos de seguimiento.	Necesidad de mayor articulación y unidad de políticas sectoriales .
		Ausencia de incentivos a la inversión privada en infraestructura y logística de recuperación de materiales que permita la tecnificación de la industria.	Se requieren incentivos tributarios al reincorporar materiales en nuevos ciclos productivos que reconozcan los costos y beneficios económicos, sociales y ambientales; no exclusivamente los costos financieros (internalización de costos).
		Modelo incompleto de responsabilidad extendida del productor. No hay instancias que recauden y gestionen los recursos económicos asociados.	Profundizar en el modelo, regulando tareas y responsabilidades por parte de los generadores, gestores, valorizadores y consumidores.
		Existen beneficios tributarios por implantación de tecnologías limpias. Sin embargo su complejidad desalienta a los potenciales beneficiarios.	Se requiere optimizar el trámite de acceso a las exenciones por tecnologías limpias. Además es importante la ampliación de ítems a ser considerados frente a las necesidades de implementar tecnologías de producción más limpia y de recuperación eficiente de recursos de materiales que puedan retornar al ciclo productivo con total garantía.
		Ausencia de programas de subvención pública que estimulen la investigación y demostración de soluciones de economía circular de los materiales objetivo.	A medio-largo plazo, se recomienda asignar dotación económica específica para estos programas que permita al sector privado y académico sentar las bases de viabilidad en el cierre de ciclos de los recursos materiales priorizados. Se recomienda priorizar aquellas corrientes que parten con un mayor potencial de mejora: cierre de ciclos de RCD y materiales base cemento. A medida que se vayan cerrando fallas en la oferta, se priorizarán planteamientos dedicados a estimular la demanda sobre materiales de mayor valor en el mercado (polímeros, metales y celulósicos).

		Diagnóstico de partida en Colombia	Recomendación de mejora hacia escenarios de economía circular
	Aspectos específicos	<p><i>Limitaciones de mercado (falta de información pública, ausencia de conocimiento técnico y de tecnología) para aprovechar recursos de subproductos siderúrgicos, lodos papeleros y determinadas familias de polímeros.</i></p>	<p>Se recomienda elaborar <i>estudios específicos de viabilidad tecno-económica que establezcan las bases de negocio para usuarios de estos materiales</i> (subproductos siderúrgicos, lodos papeleros y determinadas familias de polímeros).</p>
		<p>Existe un <i>mercado de fabricantes de materiales de construcción que demandan recursos minerales; sin embargo, la oferta de recursos minerales procedentes del reciclaje de RCD es escasa</i>, así como recursos minerales procedentes <i>de otras industrias</i>.</p>	<p><i>Realizar estudios acerca de la continuidad y calidad del suministro</i> hacia los fabricantes para confirma la existencia de garantías de suministro.</p> <p>Se recomienda <i>priorizar la inversión de infraestructuras y estimular estudios de viabilidad de simbiosis industrial</i> entre el <i>sector de la construcción y el sector manufacturero</i>.</p> <p>Necesidad de <i>conectar a los diferentes agentes de la cadena de valor y dotar al mercado de las infraestructuras necesarias para la valorización de RCDs</i>.</p> <p>Necesidad de <i>realizar estudios sobre el efecto de impuestos e incentivos combinados</i> para promover la recuperación de materiales considerando valores agregados en aspectos sociales y ambientales</p>

Tabla 97: Situación económico-financiero y de mercado en Colombia y recomendaciones de mejora

7.5. Aspectos sociales y académicos

		Diagnóstico de partida en Colombia	Recomendación de mejora hacia escenarios de economía circular
SOCIAL Y ACADEMICOS	Aspectos comunes	<p>Fallas culturales que dificultan la separación de residuos por tipología de material en actividades post-consumo.</p> <p>Insuficiente capacitación sectorial en nuevos procesos y tecnologías de recuperación de recursos materiales.</p>	<p>Se recomienda articular campañas de formación y capacitación a diferentes niveles:</p> <ul style="list-style-type: none"> - divulgación a la ciudadanía; - formación a recolectores; - formación académica específica en materia de cierre de ciclos de los diferentes recursos materiales (políticas, tendencias, nichos de oportunidad, procedimientos administrativos, logística inversa, tecnología, manipulación y uso efectivo de materias primas recuperadas en productos manufactureros o de construcción).
		<p>Alta informalidad en la recogida de recursos en corrientes post-consumo.</p>	<p>Desarrollo de instrumentos de control que permitan regularizar la masa laboral que se encuentra en la actualidad en actividades de economía sumergida.</p> <p>Generación y registro de nuevos empleos asociados a actividades y servicios de recuperación de recursos materiales.</p>
	Aspectos específicos	<p>Disposición ilegal de los residuos, principalmente, RCD.</p>	<p>Inventario de botaderos ilegales y restauración de los mismos incorporando a la ciudadanía, como ya se está abordando a través de instrumentos específicos a nivel nacional.</p>

Tabla 98: Situación social y académica en Colombia y recomendaciones de mejora

7.6. Aspectos medioambientales

		Diagnóstico de partida en Colombia	Recomendación de mejora hacia escenarios de economía circular
MEDIOAMBIENTAL	Aspectos comunes	Flota de transporte automotor de carga obsoleta (principalmente tecnología EI) que contribuye a un consumo de combustible elevado y por ende a altas emisiones de CO ₂ y de contaminantes locales (PM ₁₀ , PM _{2.5} , NO _x , CO).	Se recomienda mejorar el esquema logístico de recogida y transporte y renovar progresivamente la flota .
		Como aspecto favorable cabe destacar el mix eléctrico existente en el país basado en un alto porcentaje en las energías renovables . Esto conlleva a un impacto positivo ambiental en procesos manufactureros	Con el fin de mantener el aspecto favorable del mix eléctrico se recomienda evitar importaciones de electricidad de otros países. Se recomienda además identificar y recuperar recursos materiales primarios y secundarios con el fin de reducir importaciones. Se recomienda seguir invirtiendo en energías renovables y considerar la potencial valorización energética de residuos de alto poder calorífico y escaso valor añadido.
	Aspectos específicos	<u>Concreto premezclado y barras de acero corrugadas:</u> Son los productos que mayor potencial tienen de beneficio ambiental en cierre de ciclo.	<u>Concreto premezclado y barras de acero corrugadas:</u> Se recomienda aumentar la tasa de reciclaje de recursos procedentes de los RCDs Identificar más cantidad de chatarra para producir más acero nacional y evitar importaciones. Mayor aprovechamiento de subproductos siderúrgicos por su volumen de generación.
		<u>Botellas de PET:</u> El aspecto que más contribuye al impacto ambiental es la limitada tasa de reciclaje.	<u>Botellas de PET:</u> Se recomienda disponer de procesos de recuperación de calidad Mejora de las infraestructuras y de la logística. Formación a los consumidores y recolectores.

		Diagnóstico de partida en Colombia	Recomendación de mejora hacia escenarios de economía circular
		<p><u>Cartón 100% reciclado:</u></p> <p>Los procesos no aprovechan los residuos generados (lodos en mayor proporción)</p>	<p><u>Cartón 100% reciclado:</u></p> <p>Se recomienda una valorización energética (incineración de lodos)</p> <p>Valorización de las cenizas en la industria cementera.</p> <p>Producción de abonos/compost</p>

Tabla 99: Situación medioambiental en Colombia y recomendaciones de mejora

7.7. Conclusiones

Sobre los **aspectos de gobernanza** frente al manejo de residuos, con una visión integral, se evidencia:

- El manejo de residuos se rige por la Ley 142 de 1994 que reglamenta la prestación del servicio público de aseo y sus decretos reglamentarios, en los cuales el tratamiento y procesos de valorización no han sido regulados. Se requiere armonización normativa frente al sector del manejo y gestión de materiales y residuos con potencial de recuperación para los diversos flujos económicos.
- La Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos - CONPES 3874 contiene acciones dirigidas a avanzar hacia un modelo de economía circular en el marco de su competencia (gestión integral de residuos). Propone elementos normativos, económicos e institucionales para ir en esa dirección; y dichos elementos son propuestos a un nivel general y no detallado. Sin embargo, no se necesitan acciones específicas que permitan su implementación.
- En términos globales, se evidencia una ausencia integral de planificación estratégica armonizada en cuanto a gestión de recursos materiales del sector manufacturero y de construcción bajo paradigma de cierre de ciclos. Se requiere reforzar los instrumentos de gobernanza que consoliden el ciclo de los materiales; especialmente, instrumentos de planificación y seguimiento que establezcan objetivos, acciones, indicadores de seguimiento y doten de los recursos suficientes al despliegue de las diferentes acciones priorizadas.
- El sector institucional asociado está representado en varias entidades con diferentes roles y competencias. Se requieren esfuerzos para mejorar la coordinación y unidad de criterios en el sector institucional.
- Se detecta inconsistencia en las estadísticas de generación de residuos oficiales y las estimaciones sectoriales. Asimismo, no se ha identificado un procedimiento de recogida de información armonizado para los diferentes flujos de residuos. Los flujos de información que nutren la estadística se encuentran segregados entre diferentes departamentos. Se identifica, por ende, la necesidad de armonizar criterios frente a las estadísticas y crear sistemas ágiles de información que permitan estimar, como mínimo, la generación y niveles de recuperación de los recursos materiales embebidos en los residuos manufactureros y de construcción priorizados. Adicionalmente, se recomienda que la recogida y seguimiento de

información estadística la centralice aquel departamento que más responsabilidad manifieste en cuanto a la consecución de objetivos de cierre de ciclos de recursos materiales.

- Escaso control administrativo en cuanto a tareas de selección en origen de recursos materiales. Para ello, se requiere potenciar soluciones administrativas para incrementar el control de la información y reducir la informalidad en las etapas de selección en origen de recursos materiales post-consumo y opciones de gestión asociadas tras la recogida en origen.

En cuanto a los **aspectos técnicos-tecnológicos**:

- Insuficiente identificación y recuperación de recursos desde la etapa post-consumo a los procesos manufactureros; significativamente, para los materiales de construcción, poliméricos y celulósicos con origen en los productos papel/cartón. Resulta necesario articular las señales del sector de prestación del servicio público de aseo con las requeridas para fortalecer las infraestructuras y actividades de recolección en origen y separación de materiales en su etapa de post-consumo; preferiblemente, productos poliméricos, de naturaleza celulósica (papel-cartón) y materiales de construcción asociados a obra menor en un ámbito de recogida urbana.
- Ausencia de infraestructuras para recuperación de recursos materiales de residuos de construcción y bajo nivel tecnológico para el cierre de ciclos de recursos materiales poliméricos. Niveles tecnológicos más universales (similares a mejores prácticas internacionales) en cuanto a cierre de ciclos de acero y celulósicos para producir papel/cartón. Se requiere avanzar en infraestructuras e incremento del nivel tecnológico asociado, principalmente, a la transformación y reciclaje de materiales de naturaleza polimérica y de construcción que garanticen un suministro estable y de mayor calidad de dichos recursos hacia las correspondientes actividades manufactureras (dentro del mismo sector o en otro distinto).
- Escasa información sobre el aprovechamiento de subproductos para el sector del acero y el papel y ausencia de experiencias de simbiosis industrial para concatenar cierre de ciclos. Se recomienda impulsar actividades y negocios de simbiosis industrial (el uso que hace una empresa o sector de los residuos o subproductos (entre los que se incluyen la energía, el agua, la logística y los materiales) de otros), que permitan concatenar el cierre de ciclos en determinados sectores productivos. Esto es aplicable, preferentemente, entre el sector del acero y el sector de la construcción, a partir de los subproductos generados por la actividad del primero, así como entre el sector primario y el sector del papel con objetivos de concatenar cierre de ciclos entre sectores.
- Los productos actuales no se diseñan con criterios de fin de vida. Se identifica, como estímulo a la demanda de materiales recuperados, la necesidad de promover la aplicación de criterios de eco-diseño en las actividades industriales y de construcción que permitan una mejor segregación de los diferentes recursos materiales y su ulterior recuperación en los diferentes ciclos productivos, así como identificar estrategias que permitan generar señales de mercado más estables.

Frente a los **estímulos económico-financieros y de mercado**:

-
- El marco tarifario actual (Resolución 720 de 2015) es una barrera para incorporar tratamientos previos, toda vez que establece que se podrán emplear alternativas a relleno sanitario, siempre y cuando el costo a trasladar a los usuarios en la tarifa no exceda el Costo de Disposición Final definido. Se requiere revisar la metodología tarifaria para incorporar costos de infraestructura y de operación de tratamientos para recuperar materiales.
 - Fallas de logística inversa y de suministro. El suministro de material a la industria transformadora no es estable lo que afecta a la viabilidad de negocios y decisiones de inversión. Asimismo, se evidencian altos costos logísticos, asociados a la infraestructura vial del país. Se requiere del diseño de estrategias para resolver fallas de mercado, fortaleciendo la selección en origen, profesionalizando las actividades de logística inversa y priorizando inversiones para recuperación de materiales de mayor valor añadido.
 - Los presupuestos públicos de inversión de infraestructura para la gestión de residuos se destinan, principalmente, a depósitos sanitarios y por ende, se siguen priorizando recursos económicos hacia paradigmas de economía lineal. Existe la necesidad de planificar inversiones estratégicas que contribuyan a mejorar la oferta de recursos materiales recuperados desde la recogida post-consumo hasta el tratamiento de los residuos para la producción de recursos materiales intermedios. La prioridad de dotación económica pública se debería canalizar hacia sistemas de recogida post-consumo de recursos poliméricos, celulósicos (papel/cartón) y materiales de construcción de ámbito urbano. Asimismo, cabe plantear la posibilidad de colaboración público-privada para la inversión de infraestructura de tratamiento de RCD o plantas automáticas de separación de plásticos post-consumo por familia de polímeros.
 - Se registran deficiencias en los esquemas de financiación dirigidos a las regiones y municipios. La financiación se realiza de forma aislada y sin adecuados mecanismos de seguimiento. Necesidad de mayor articulación y unidad de políticas sectoriales.
 - Falta de incentivos a la inversión privada en infraestructura y logística de recuperación de materiales que permita la tecnificación de la industria. Se requieren estudios que soporten los costos evitados al reincorporar materiales en nuevos ciclos productivos que reconozcan los costos y beneficios económicos, sociales y ambientales; no exclusivamente los costos financieros (Internalización de costos).
 - Inexistencia de mercado para subproductos siderúrgicos, lodos papeleros y determinadas familias de polímeros. Se recomienda elaborar estudios específicos de viabilidad tecn-económicas que establezcan las bases de negocio para con estos recursos de las actividades manufactureras de acero, papel e industria de fabricación de productos plásticos.
 - Existencia de mercado demandante de recursos minerales pero falta de oferta en cuanto a recursos minerales procedentes del cierre de ciclos de materiales base cemento, así como recursos minerales procedentes de otras industrias (papel, siderurgia, etc.). Se recomienda priorizar la inversión de infraestructuras de reciclaje y valorización y estimular estudios de viabilidad de simbiosis industrial entre el sector de la construcción y el sector manufacturero. Necesidad de conectar a los diferentes agentes de la cadena de valor y dotar al mercado de las infraestructuras necesarias. Necesidad de realizar estudios de profundidad sobre la incorporación de impuestos e incentivos combinados para promover la recuperación de materiales considerando valores agregados en aspectos sociales y ambientales.
-

-
- Modelo incompleto de responsabilidad extendida a productor. Se debe profundizar en el mismo.
 - Existen instrumentos financieros de exención por implantación de tecnologías limpias. Sin embargo, se requiere optimizar el trámite de acceso a las exenciones por tecnologías limpias, así como considerar la ampliación de ítems a ser considerados frente a las necesidades de implementar tecnologías de producción más limpia y de recuperación eficiente de recursos de materiales que puedan retornar al ciclo productivo con total garantía.
 - Ausencia de programas de subvención pública que estimulen la investigación y demostración de soluciones de economía circular de los materiales objetivo. Se recomienda asignar dotación económica específica para este instrumento que contribuya a ayudar al sector privado a sentar las bases de viabilidad para el cierre de ciclos de los recursos materiales priorizados. Se recomienda priorizar en aquellas corrientes que parten de un diagnóstico más desfavorecido: cierre de ciclos de RCD y materiales base cemento. A medida que se vayan cerrando fallas en la parte de oferta, se priorizarán planteamientos dedicados a estimular la demanda sobre materiales de mayor valor en el mercado (polímeros, metales y celulósicos).

En cuanto a los **aspectos socio-culturales**:

- Fallas culturales que dificultan una verdadera separación de productos por tipología material en actividades post-consumo. Se recomienda articular campañas de formación y capacitación a diferentes niveles: i) divulgación a la ciudadanía; ii) formación a recolectores; iii) formación sectorial específica en materia de cierre de ciclos de los diferentes recursos materiales (políticas, tendencias, nichos de oportunidad, procedimientos administrativos, logística inversa, tecnología, manipulación y uso efectivo de materias primas recuperadas en productos manufactureros o de construcción).
- Alta informalidad en la recogida de recursos en corrientes post-consumo. Cuantificar y regularizar la masa laboral que se encuentra en la actualidad en actividades de economía sumergida. Generación y registro de nuevos empleos asociadas a actividades y servicios de recuperación de recursos materiales.
-

Finalmente, en cuanto a los **aspectos ambientales**:

- Se recomienda mejorar las infraestructuras y el esquema logístico de recogida y transporte, renovando progresivamente la flota de vehículos para reducir las emisiones por ton.km recorridos.
- Necesidad de promover el aprovechamiento de subproductos y residuos de fin de vida útil para el cierre de ciclos, tanto en el mismo sector (polímeros, siderurgia, construcción, etc.) como entre diferentes sectores (siderurgia-construcción, papel-construcción, etc.).

8. Análisis de 5 experiencias internacionales de implementación de modelos de economía circular

El presente apartado tiene como objetivo ahondar en el conocimiento de los diferentes instrumentos y pilares que han de engranarse para estimular negocios de economía circular, sobre la base de revisión de 5 experiencias internacionales. Las experiencias se han seleccionado a partir de los siguientes criterios:

- Enfoque holístico que garantizara acceso a información y conocimiento a aspectos legislativos y regulatorios, planificación marco, nivel tecnológico avanzado y rol de la innovación, relación entre diferentes agentes de la cadena de valor, identificación de instrumentos económico-financieros, así como aspectos sociales si estuvieran disponibles.
- Representatividad de cada uno de los materiales y productos priorizados en las fases anteriores, amén del análisis de una política marco supranacional.
- Acceso a información detallada, no sólo a través de fuentes publicadas, sino también a partir de entrevistas con administraciones regionales cuya planificación ya se estructura en torno a objetivos de economía circular. A este respecto, por cercanía y progreso, la administración de la Comunidad Autónoma del País Vasco (España) ha constituido un referente en este apartado.

Bajo tales criterios, los siguientes sub-apartados abordan la revisión de las siguientes experiencias:

- Marco de Economía Circular en la Unión Europea
- Cierre de ciclos de materiales de construcción en la región del País Vasco (España)
- Cierre de ciclos de polímeros en Holanda
- Recomendaciones globales de ecodiseño y gestión para la circularidad del papel (ámbito internacional)
- Cierre de ciclos de recursos materiales del sector siderúrgico en la región del País Vasco (España)

Para aligerar el cuerpo central del presente informe sin perder información, **se incorporan las cinco experiencias como anejos**, dejando a continuación las conclusiones de las mismas.

8.1. Conclusiones de clave de éxito en avance hacia modelos de economía circular derivadas de la revisión de 5 experiencias internacionales

Como resumen global de las experiencias se obtienen las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Se confirma la incorporación de la economía circular en la visión y planes estratégicos de países
- Priorización de corrientes que más importancia manifiestan en cuanto a resolución de cierre de ciclos. En Europa, se tienen priorizadas las siguientes: **Plásticos**, Materiales Críticos, **Residuos de Construcción y Demolición**, **Biomasa y bioproductos** y residuos alimentarios. 3 de las corrientes priorizadas en Europa coinciden con las priorizadas en el presente estudio.

-
- **La economía circular presenta retos de parte de la oferta** (desde la recogida del residuo industrial o de construcción hasta la recuperación/reciclaje de nueva materia prima aprovechable) **y de la demanda** (incorporación de materiales reciclados en los nuevos ciclos productivos, incluido el ecodiseño). **En la mayoría de las experiencias internacionales se ha avanzado, notablemente, en facilitar instrumentos que ordenen la oferta de la cadena de valor, alcanzando tasas de recuperación y reciclaje superiores al 50% en los residuos manufactureros y de construcción objeto de estudio.** El gran reto lo constituye la estimulación de la oferta para garantizar el cierre efectivo de ciclos. **El ordenamiento de la oferta puede implicar plazos entre 15 y 20 años en países con PIB medio-alto.**
 - **Claves para articular el funcionamiento de la oferta:** i) planificación sectorial de gestión de residuos y planes específicos; ii) normativa ambiental y técnica específica; iii) control de acciones a cargo de un único departamento gubernamental; iv) métodos estadísticos consolidados para los diferentes períodos de planificación; v) acuerdos público-privados para invertir en infraestructuras de recogida y reciclaje; vi) directrices de selección en origen; vii) incorporación del I+D en mejora de tecnología y estudio de usos; viii) existencia de instrumentos de subvención y desgravación fiscal; ix) demostración y experiencia piloto de cierre de ciclos. Por encima de todo, prohibir el vertido, penalizar la mezcla en origen y favorecer soluciones de gestión de reutilización, remanufactura y reciclaje frente al vertido.
 - **Claves para articular la demanda:** i) eco-diseño; ii) compra pública verde e innovadora; iii) acuerdos público-privados para facilitar el cierre de ciclos en procesos; iv) subvenciones de proyectos demostración; v) desarrollo de nuevos instrumentos financieros (ej: reducir impuestos a uso de materiales reciclados); vi) campañas de divulgación y capacitación sectoriales.

9. Conclusiones finales

En cuanto a la priorización de materiales cabe destacar lo siguiente:

- La priorización de materiales se efectúa mediante la aplicación de un método multicriterio a partir de la definición de criterios macroeconómicos, generación de residuos post-industria y post-consumo, diferencia entre el máximo potencial de reciclaje en cada actividad y la tasa de reciclaje y recuperación actual, impacto ambiental evitado y valor económico de los recursos materiales recuperados.
- Atendiendo al valor económico y potencial contribución a la macroeconomía del país, **los polímeros y metales** (con especial atención al acero) se erigen como materiales que pueden contribuir, notablemente, a mejorar la competitividad de la actividad manufacturera del país, crear nuevas oportunidades de negocios, toda vez que coadyuvan a reducir los impactos ambientales asociados. Estos dos materiales forman parte de un gran número de productos de consumo industrial (productos para construcción, automoción, bienes de equipo) y domiciliario (aparatos eléctricos y electrónicos).

- Atendiendo al volumen de recursos desaprovechados, **el concreto y los biomateriales procedentes de la actividad manufacturera agroindustrial** constituyen nichos de oportunidad para el sector de la construcción y actividades emergentes de bioeconomía, respectivamente.
- El **papel** representa uno de los flujos materiales mejor optimizados en Colombia, en cuanto a criterios de economía circular.
- La generación de material **textil** post-industrial y post-consumo resulta ser despreciable, en comparación al resto de los flujos materiales estudiados a la luz de la información disponible. Con todo, se sugiere vigilar potenciales oportunidades de negocio de economía social en torno a la recogida, clasificación, reutilización y reciclaje de productos textiles.

En cuanto al análisis de flujos de los materiales priorizados, cabe formular el siguiente corolario:

- A fin de elaborar análisis de flujos de materiales de mayor precisión, que evite múltiples estimaciones, **el país se ha de dotar de sistemas estadísticos de recogida de información más consistentes y asumidos por todo el tejido manufacturero y de construcción colombiano**.
- Las principales pérdidas de recursos para cada una de las familias de materiales objeto de estudio se resumen en la tabla siguiente:

Recursos a disposición final	Post-industrial	Post-consumo
Bioresiduos	12.591.610	5.057.788
Cemento-concreto	Despreciable	16.414.000
Polímeros	4.600	1.100.000
Acero	257.843	139.952 ^[1]
Papel-cartón	82.847	Alto ^[2]

Tabla 100: Principales recursos enviados a disposición final de acuerdo al análisis realizado

- La **pérdida de recursos materiales resulta predominante** en el caso de **la actividad de construcción (materiales base cemento) y en la actividad manufacturera agroindustrial (bioresiduos)**. Los recursos materiales poliméricos presentan potencial de mejora en cuanto a cierre de ciclos, mientras que el acero y el papel manifiestan un mayor aprovechamiento de los recursos post-industrial y post-consumo. **Atendiendo al análisis de flujos de partida, las principales medidas han de orientarse a mejorar el cierre de ciclos de los materiales de construcción (preferentemente cemento y concreto), los biomateriales y su aprovechamiento en actividades emergentes de bioeconomía de mayor valor agregado, así**

^[1] Las escorias de Horno de Arco Eléctrico son los principales residuos enviados a disposición final.

^[2] No ha sido posible cuantificar

como los polímeros. En un segundo plano cabría priorizar los subproductos del sector acero y papel. Asimismo, cabe abordar **acciones de profundización específicas en torno a otros metales que puedan constituir materias primas críticas** cuya recuperación se obtenga a partir de actividades de reciclaje de aparatos eléctricos y electrónicos, u otros bienes de equipo industriales.

Como conclusión general de los Análisis de Ciclo de Vida cabe destacar **que las mejoras modeladas en los escenarios optimizados suponen una importante reducción de impactos ambientales, permitiendo una reducción de más de millón de toneladas de CO₂ en los escenarios de economía circular analizados.**

El concreto y el acero presentan unos potenciales de reducción de impactos muy importantes debido principalmente a la dimensión del mercado de estos productos. En el caso del concreto premezclado, en la actualidad, se trata de un proceso prácticamente lineal, por lo que el volumen de residuos valorizable presenta amplias oportunidades.

En el caso de la chatarra, el cartón de embalaje y las botellas de PET la recogida está implantada y presenta tasas de reciclaje notables, si bien hay margen para una importante mejora hasta llegar a los niveles de los países más avanzados. Asimismo, existe una importante tasa de incorporación de material reciclado, que el propio sector industrial colombiano tiene como objetivo aumentar.

En cuanto al análisis de los diferentes **factores** que determinan el cierre de ciclos, se enuncian las siguientes conclusiones:

- En cuanto al plano de **gobernanza**, el diagnóstico arroja las siguientes deficiencias: i) ausencia de plan de acción estratégico a medio y largo plazo; ii) inconsistencia entre estadísticas y ausencia de información para algunas corrientes materiales, así como ausencia de armonización de inventarios y descentralización de información; iii) escaso control administrativo en cuanto a tareas de selección en origen; iv) ausencia de presupuestos anuales para promover la consecución de objetivos y acciones priorizadas en el cierre del ciclo de materiales
 - En cuanto al plano **tecnológico**, cabe destacar lo siguiente: i) Ausencia de infraestructuras de recogida selectiva post-consumo (polímeros, celulósicos y RCD). Bajo nivel tecnológico para el reciclaje de polímeros y RCD. Bajo rendimiento de reciclaje de celulósicos; ii) Necesidad de captar mayor cantidad de recursos materiales post-consumo (polímeros, celulósicos, RCD); iii) Escasa información sobre aprovechamiento de subproductos de los sectores del acero y el papel. Ausencia de experiencias de simbiosis industrial para el cierre de ciclos entre actividades; iv) Reducida formación sectorial en materia de cierre de ciclos: aspectos administrativos, nuevos procesos y tecnología de separación/tratamiento, nuevos eco-productos
 - En el plano **económico**, destacan las siguientes fallas: i) Limitados recursos económicos e incentivos a inversiones estratégicas: sistemas de recogida selectiva de productos post-consumo (polímeros, celulósicos y materiales de construcción) y sistemas de tratamiento. Altos costos logísticos; ii) Ausencia de colaboración público-privada. Falta de seguridad
-

jurídica al inversor; iii) Deficiencias en los esquemas de financiación dirigidos a las regiones y municipios; iv) Ausencia de incentivos a la inversión privada en infraestructura y logística; v) Complejidad de deducciones por tecnologías limpias; vi) Ausencia de programas de subvenciones I+D+i; vii) Fallas de logística inversa y suministro. El suministro no es estable. Elevada informalidad en la recogida de recursos.

- En el plano **ambiental**, se concluye lo siguiente: i) Alto potencial de reducción de emisiones al aire (CO₂) relacionado con materiales de construcción (concreto y cemento), sector de acero y polímeros; ii) Transporte automotor de carga obsoleto; iii) Alta contribución (favorable) de la energía renovable al mix eléctrico; iv) Elevada disposición final de residuos industriales y de construcción; especialmente, escorias de acería y RCD, junto con ausencia de priorización en acciones de prevención y reutilización; v) Baja implantación del eco-diseño y selección/clasificación en origen.
- Finalmente, en el plano **social**, se colige: i) fallas culturales que dificultan la separación de materiales post-consumo: polímeros y celulósicos (papel-cartón); ii) Insuficiente capacitación sectorial en nuevos procesos y tecnologías de recuperación de recursos materiales y conceptos de economía circular de productos y materiales; iii) Alta informalidad en la recogida de recursos en corrientes post-consumo.

10. Bibliografía

- ASPAPPEL-Asociación española de fabricantes de pasta, papel y cartón. (2015). *Memoria de sostenibilidad 2014*.
- ACOPLÁSTICOS. (2010-12). *Las materias plásticas en Colombia: principales variables de su evolución en el trienio 2010-2012*.
- ACOPLÁSTICOS. (2017a). *Directorio Colombiano de Reciclaje de Productos Plásticos 2016-2017*.
- ACOPLÁSTICOS. (2017b). *Gráficas encuesta Reciclaje*.
- ACOPLÁSTICOS. (2017c). *Plásticos en Colombia 2016-2017*.
- AGENCY, E. E. (2013). *Municipal waste management in Spain*.
- AKTIVA servicios financieros. (2013). *Estudios sectoriales. ¿DOS SECTORES PESADOS? LA METALURGIA Y METALMECÁNICA EN COLOMBIA*.
- AKTIVA Servicios Financieros. (2016). *Estudios Sectoriales. La industria del cemento en Colombia 2016*.
- Alcaldía de Bogotá. Subsecretaría de Planeación y Política Subdirección de Información Sectoria. (2017). *Concreto premezclado y Cemento Gris*.
- ALUNA CONSULTORES LIMITADA. (2011). *Aproximación al mercado de reciclables y las experiencias significativas*.
- ANDI - Comité Colombiano de Productores de Acero. (2014). <http://www.andi.com.co/>. Recuperado el 19 de Julio de 2017, de http://www.andi.com.co/cpa/Documents/Estudios%20y%20Estadisticas/CNA%202013%20Acero_20140313_035831.pdf
- ANDI. (2014). <http://www.andi.com.co/>. Recuperado el 18 de Julio de 2017, de http://www.andi.com.co/cpa/Documents/Estudios%20y%20Estadisticas/Copia%20de%20producci%C3%B3n%20consolidada%20diciembre%202013%20final_20140220_103713.pdf
- ANDI. (2015, Enero 2015). <http://www.andi.com.co>. Retrieved Agosto 02, 2017, from http://www.andi.com.co/cpa/Documents/Estudios%20y%20Estadisticas/Copia%20de%20producci%C3%B3n%20consolidada%20diciembre%202013%20final_20140220_103713.pdf ANDI. (2017). *Informe de Sostenibilidad de la Industria Papelera en Colombia*. Bogotá.
- ARCELORMITAL. (s.f.). <http://corporate.arcelormittal.com/>. Recuperado el 04 de Septiembre de 2017, de <http://corporate.arcelormittal.com/sustainability/our-10-outcomes/resources/recycling-steel>

ARGOS. (2017). *Integrated report 2016*.

ASOCAÑA. (2 de Agosto de 2017). *www.asocapa.org*. Recuperado el 21 de Agosto de 2017, de <http://www.asocana.org/modules/documentos/5528.aspx>

ASOCAÑA Sector Azucarero Colombiano. (Febrero de 2015). *www.asocana.org*. Recuperado el 6 de Julio de 2017, de <http://www.observatoriovalle.org.co/wp-content/uploads/2014/12/presentaci%C3%B3n-sector-azucarero-colombiano-feb-15.pdf>

ASPAPEL. (2016). *Informe de sostenibilidad*.

ASPAPEL-Asociación española de fabricantes de pasta, papel y cartón. (2007). *Diagnóstico de la generación y gestión de residuos sólidos en la industria papelera española*.

BAJPAI, P. (2015). *Pulp and Paper Industry: Chemicals*. Patiala, Punjab, India: Elsevier.

BANCO MUNDIAL. (2017). *www.bancomundial.org*. Recuperado el 24 de Agosto de 2017, de <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.RUR.TOTL.ZS>

BECERRA-QUIROZ. (2016). Sostenibilidad del aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca, Colombia. *Ingeniería Solidaria*, 133-149.

BETANCOURT-S., D. J.-M. (2016). Síntesis y caracterización de la mezcla polipropileno-poliestireno expandido (icopor) reciclado como alternativa para el proceso de producción de autopartes. *Revista Luna Azul*, 43.

BID. (2015). *Situación de la gestión de Residuos Sólidos en América Latina y el Caribe*.

BOPV. (2012). Decreto 112/2012 por el que se regula la producción y gestión de los RCD en la CAPV.

BRICEÑO, I., VALENCIA, J., & POSSO, M. (2015). Potencial de generación de energía de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia. *Palmas*, 36(3), 43-53.

Cámara de la industria de pulpa, papel y cartón de ANDI. (2015). *Informe de sostenibilidad*.

CAPURRO, L. (2016). Aspectos Generales del Sector Azucarero Colombiano 2015-2016.

CASTAÑO. (2013). *Gestión de residuos de construcción en Bogotá: perspectivas y limitantes*.

CEDEX. (2007). *CEDEX Materiales*. Recuperado el 11 de Julio de 2017, de Residuos de la fabricación del concreto preparado: <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/36/residuos-procedentes-de-la-fabricacion-de-hormigon-preparado/>

CEMA. (2015). *Observatorio reciclado y valorización de residuos en la industria cementera en España 2015*.

CENICAÑA. (2004). *www.cecicana.org*. Recuperado el 12 de Julio de 2017, de http://www.cenicana.org/pop_up/fabrica/diagrama_obtencion.php

-
- CENICAÑA. (2008). *www.cecicana.org*. Recuperado el 12 de Julio de 2017, de http://www.cenicana.org/pop_up/fabrica/diagrama_etanol.php
- CEPEDA GIL, E. M. (2010). *Diseño, implementación y estandarización del sistema de abastecimiento bajo el esquema de consignación y outsourcing para EPP's y rodamientos en la división de suministros de Acerías Paz del Río S.A. Universidad Industrial de San.*
- CEPI, Key statistics 2016 - European pulp and paper industry, E. p. (2017)
- Colciencias, U. y. (2014). *Ahorro de energía en la industria del papel.*
- Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2015). *Estudio sobre mercados internacionales de biocombustibles con énfasis en alcohol anhidro y biodiésel a partir de palma africana. Informe final.*
- COMISIÓN EUROPEA. (2015). Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular.
- CONSTRUCTALIA. (2017). *Constructalia*. Recuperado el 11 de Julio de 2017, de http://www.constructalia.com/espanol/construccion_sostenible/las_ventajas_del_acero/el_acero_el_material_mas_reciclado_del_mundo#.WWW-jtwlHIU
- CPPYC. (2015). *Informe sectorial 2015 Cámara Industria Pulpa, Papel y Cartón.*
- CUE, C. (2012). *Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles*. Medellín.
- DANE. (2005-13). *Cuenta de residuos 2005-2013.*
- DANE. (2015). *Cuenta de residuos 2005-2013.*
- DANE. (2015a). *Encuesta Actividad Manufacturera.*
- DANE. (2015b). *Residuos primarios generados por la industria manufacturera según tipo de residuo. Variación 2015p/2014 datos panel.*
- DANE. (2016). *CUENTA DE RESIDUOS 2005 – 2013 provisional.*
- DANE. (2017). *Estadísticas de cemento gris - ECG Mayo 2017.*
- DIGIMET. (2017). Recuperado el 13 de 07 de 2017, de <http://www.digimet.es/>
- DINERO. (21 de 04 de 2017). *www.Dinero.com*. Recuperado el 11 de 07 de 2017, de <http://www.dinero.com/economia/articulo/industria-del-acero-y-siderurgicas-en-colombia-proyecciones-2017/244338>
- DNP. (2006). *www.dnp.gov.co*. Recuperado el 19 de Julio de 2017, de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo%20Empresarial/cemento.pdf>
- DNP. (2016 de Noviembre de 2016). *DOCUMENTO CONPES - POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS*. Bogotá.
-

-
- DNP. (2016). *PÉRDIDA Y DESPERDICIO DE ALIMENTOS EN COLOMBIA - Estudio de la Dirección de Seguimiento y Evaluación de Políticas Públicas*. Bogotá.
- ECOINVENT V3.3. (2016). *Base de datos de Inventario de Ciclo de Vida*.
- EEA. (2016). Circular economy in Europe. Developing the knowledge base.
- ELBERSEN, W. (2013). Residuos de aceite de palma disponibles para la bioeconomía, junto con el reciclaje de nutrientes. *PALMAS*, 34(Tomo II), 56-65.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. (2015). Growth within: a circular economy vision for a competitive Europe.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. (2013). Towards the circular economy - Opportunities for the consumer goods sector.
- EMF. (2015). Circular Economy overview.
- ENKA. (2017). Recuperado el 15 de Septiembre de 2017, de <http://www.enka.com.co/enka/index.php/es/content/download/305/4784/file/INFORME+SOSTENIBILIDAD+VF+Marzo.pdf>
- ENKA. (Agosto de 2017). <http://www.enka.com.co/>. Recuperado el 15 de Septiembre de 2017, de <http://www.enka.com.co/enka/docsweb/inversionistas/IR20170811.pdf>
- EOI. (07 de 03 de 2012). www.eoi.es. Recuperado el 21 de 07 de 2017, de Industria de las Refinerías de Petróleo: http://www.eoi.es/wiki/index.php/Industria_de_las_Refiner%C3%ADas_de_Petr%C3%B3leo_en_Ecoinnovaci%C3%B3n_en_procesos_industriales
- EPBD. (s.f.). *EPBD*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2017, de <http://www.epbp.org/>
- European Commission. (2015). *Assessment of separate collection schemes in the 28 capitals of the EU*. Reference: 070201/ENV/2014/691401/SFRA/A2.
- European Commission. (2016). *Environmental Footprint Pilot Guidance document, - Guidance for the implementation of the EU Product Environmental Footprint (PEF) during the Environmental Footprint (EF) pilot phase, version 5.2,*.
- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY. (2013). *Municipal waste management in Germany*.
- EUROSTAT. (2015). <http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained>.
- FACTOR DINERO. (02 de 03 de 2012). <http://www.factor dinero.com>. Recuperado el 29 de 08 de 2017, de <http://www.factor dinero.com/de-interes/201-informe-sectorial-hierro-y-acero.html>
- GARCÉS PAZ, R. V., & MARTÍNEZ SILVA, S. V. (2010). *Estudio del poder calorífico del bagazo de caña de azúcar de la industria azucarera de la zona de Risaralda*.
-

-
- GARZINA. (2013). *Alternativas de gestión de lodos papeleros en la industria del papel Tisú y Kraft*.
- GONZÁLEZ-TRIANA. (21 de Junio de 2013). *Panorama de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en la Zona Norte del País: Situación actual, Retos y Perspectivas*. Montería, Colombia.
- GUARÍN CORTÉS, N. L. (2013). Estudio Comparativo en la Gestión de Residuos de Construcción y Demolición en Brasil y Colombia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*.
- GV. (s.f.). *Decreto 34/2003*.
- HISER. (2017). *The HISER project*. Recuperado el 10 de Julio de 2017, de <http://hiserproject.eu/>
- IDOM. (2013). *Plan de Negocio para el sector siderúrgico, metalmecánico y astillero*.
- IHOBE. (2004). *Guía Metodológica para la ejecución de proyectos de dem. selectiva*.
- IHOBE. (2016). *El valor de los materiales contenidos en los residuos: oportunidades para una economía circular en el País Vasco*. Bilbao: IHOBE, Sociedad Publica de Gestión Medioambiental.
- Joint Research Center of the European Comission, Institute for Environment and Sustainability. (2011). *ILCD Handbook: Recommendations for the Environmental Impact Assessment* .
- Joint Research Centre of the European Commission. (2013). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production*.
- Kedia, V. (05 de Agosto de 2014). PET Overview. *INDIAN Polyester Conference*. Mumbai.
- LARRAHONDO, J. E. (2013). DEFINICIÓN Y ALCANCES DE LA ALCOQUÍMICA: LA CALIDAD DE LAS MATERIAS PRIMAS Y SU IMPACTO EN EL PROCESO ALCOQUÍMICO. *III Congreso AETA, Sep.18-20 del 2013*. Guayaquil-Ecuador.
- LifeBRIO. (2017). *LifeBRIO Proyect*. Recuperado el 11 de Julio de 2017, de <http://www.lifebrio.eu/es/>
- LONDOÑO CAPURRO, L. F. (2016). *Aspectos Generales del Sector Azucarero Colombiano 2015-2016*. Asocaña. Sector azucarero colombiano.
- LOSADA, R. e. (2006). *La medida de la sostenibilidad en edificación industrial*. Bilbao: Los autores.
- LOTFI, S., DEJA, J., REM, P., & VAN DER S, H. (2014). Mechanical recycling of EOL concrete into high-grade aggregates. *Resources, conservarion and recycling 87:117–125* , 117-125.
- Lotfi, S., Eggimann, M., Wagner, E., Mróz, R., & Deja, J. (2015). Performance of Recycled Aggregate Concrete Based on a New Concrete Recycling Technology. *Construction and Building Materials 95* , 243-256.
- MADSweb. (2017).
-

-
- Martín, A. (2010). *La contribución de los materiales plásticos al desarrollo sostenible*. Alicante: Plastics Europe.
- MA-TAY PINEL, D. E. (2014). *Valorización de cenizas de bagazo procedentes de honduras: posibilidades de uso en matrices de cemento Portland*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Ingeniería de la construcción y proyectos de ingeniería civil.
- MEXICHEM COLOMBIA. (s.f.). <http://www.mexichem.com.co/>.
- MONTOYA VILLARREAL, S. A. (2015). *BOGOTÁ D.C., HACIA UNA NUEVA CULTURA EN LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN*.
- MURASSO GRANDELA, P. (28 de Octubre de 2010). *SINIS Sistema Nacional de Información Ambiental*. Recuperado el 30 de Agosto de 2017, de http://www.sinia.cl/1292/articulos-49564_Gestion_de_Informacion.pdf
- NARANJO, L. (2014). Importaciones Colombianas de Acero Materias Primas Siderúrgicas. *Infoacero*, 22-24.
- Naranjo, L. (2016). Importaciones colombianas de acero. *Infoacero* , 42-43
- NARANJO, L. (2017). Producción y Consumo de Acero en Colombia 2005-2016. *Infoacero*, 38-39.
- OBSERVATORIO INDUSTRIAL SECTOR TEXTIL. (2014). *Opciones de futuro del sector*.
- PETCORE. (s.f.). <http://www.petcore-europe.org>.
- PLASTICS EUROPE. (2016). *Plastics - The Facts 2016. An analysis of European plastics production, demand and waste data*.
- PLASTICS RECYCLERS EUROPE. (2016). *Strategy Paper 2016 - 20 Years Later & The Way Forward*.
- PLASTICS_RECYCLING_SURVEY. (2012). <http://www.plasticsnews.co.za/plastics-industry-news-2013/plastics-recycling-survey-2012.html>.
- PROCOLOMBIA. (2016). Inversión en Materiales de Construcción.
- REBOLLEDO. (2013). Perfil del sector manufacturero en Colombia.
- SAATY, T. (1980). *The Analytical Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill.
- SAC. Sociedad de Agricultores de Colombia. (2012). *Sociedad de Agricultores de Colombia*. (S. S. Colombia, Ed.) Recuperado el 19 de Julio de 2017, de <http://www.sac.org.co/images/estadisticas/produccionagricola.xlsx>
- SAICA. (2016). *Memoria Ambiental*.
- SAN_JOSÉ. (2014). *The performance of steel-making slag concretes in the hardened state*. Materials and Design 60 (2014) 612–619.
-

-
- SÁNCHEZ ABRIL, H. M. (2014). Estado del arte sobre las escorias negras de horno de arco eléctrico y sus aplicaciones en pavimentos. *V Congreso internacional de ingeniería civil*. Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.
- SERI. (2013). SERI Global Material Flows Database.
- Sociedad de Agricultores, d. (2012). *www.sac.co*. Obtenido de <http://www.sac.org.co/es/estudios-economicos/estadisticas.html>
- STEINERTGLOBAL. (2015).
- SWG & NALAS. (2015). *Solid Waste Management in cross-border rural and coastal areas of South Eastern Europe*.
- TEXTILE EXCHANGE. (2012). *Textile and product waste*.
- Transporte, Superintendencia de Puertos y Transporte. Ministerio de Transporte. (2016). *BOLETÍN ESTADÍSTICO TRÁFICO PORTUARIO EN COLOMBIA PRIMER SEMESTRE 2016*.
- UNEP. (2015). *Global Waste Management Outlook (GWMO)*.
- UNESID. (2017). *UNESID - Informe de reciclaje del acero 2013*. Recuperado el 13 de 07 de 2017, de <https://unesid.org/iris2013/IRISINFORMERECICLAJEACERO2013.pdf>
- URRIBARRÍ COBO, L. (2011). *Sacarificación y fermentación simultánea del bagazo de caña de azúcar tratado con amoníaco*. Maracaibo.
- VASCO, G. (2015). Plan de Prevención y Gestión de Residuos de al CAPV 2014-2020.
- VEGAS. (2011). Pre-normative research on the use of mixed recycled aggregates in unbound.
- VIVAS MUNAR, X. (2008). *Direccionamiento estratégico para el sector siderúrgico en Colombia para el año 2020*. Bogotá D.C.: Universidad de la Sabana, Instituto de posgrados.
- WORLD ECONOMIC FORUM. (2016). *Design and Management for Circularity - The case of paper*.

11. Anejo I. Experiencias internacionales

11.1. El 1: Marco de Economía Circular en la Unión Europea (UE)

11.1.1. Descripción básica de la Unión Europea

¿Qué es la UE?

La Unión Europea es una asociación económica y política, única en su género, y compuesta por 28 países europeos que abarcan juntos gran parte del continente.

El origen de la UE se encuentra en el periodo posterior a la Segunda Guerra Mundial. Sus primeros pasos consistieron en impulsar la cooperación económica con la idea de que, a medida que aumentara la interdependencia económica entre los países, disminuirían las posibilidades de conflicto.

En 1958 se creó, pues, la Comunidad Económica Europea (CEE), en un principio establecía una cooperación económica cada vez más estrecha entre seis países: Alemania, Bélgica, Francia, Italia, Luxemburgo y los Países Bajos. Posteriormente, se creó un gran mercado único que sigue avanzando hacia el logro de todo su potencial.

Lo que comenzó como una unión meramente económica ha evolucionado hasta convertirse en una organización activa en todos los frentes políticos, desde el clima hasta el medio ambiente y desde la salud hasta las relaciones exteriores y la seguridad, pasando por la justicia y la migración. El cambio de nombre de Comunidad Económica Europea (CEE) a Unión Europea (UE), en 1993, no hizo sino reflejar esta transformación.

La UE se basa en el Estado de Derecho: todas sus actividades se basan en los tratados, acordados voluntaria y democráticamente por los países miembros.

Además, la UE se rige por el principio de democracia representativa: los ciudadanos están directamente representados en el Parlamento Europeo, mientras que los Estados miembros tienen su representación en el Consejo Europeo y el Consejo de la UE.

Localización

La Unión Europea es está compuesta por 28 países europeos que abarcan juntos gran parte del continente.



Figura 59: Estados miembros de la UE (Fuente: wikipedia.org)

Superficie y población

La UE tiene una superficie de 4 millones de km² y una población de 508 millones de habitantes, la tercera del mundo después de China y la India. En términos de superficie, Francia es el país con mayor superficie de la UE y Malta el que menor superficie tiene.

Economía de la UE

La economía de la UE, medida en términos de producción de bienes y servicios (PIB), está por delante de la de Estados Unidos. PIB de la UE en 2016: 14.860.187 millones de euros, siendo el PIB manufacturero el 19% del PIB total y el de construcción el 11%.

Comercio

La UE alberga solo el 6,9 % de la población mundial, pero su comercio con el resto del mundo representa aproximadamente un 20 % de las importaciones y exportaciones mundiales. Aproximadamente un 62 % del comercio total de los países de la UE se efectúa con otros países de la UE.

La UE es una de las tres principales potencias comerciales mundiales. Las otras dos son Estados Unidos y China. En 2014, las exportaciones de bienes de la UE representaron el 15,0 % del total mundial. Superadas por primera vez desde que se fundó la UE por las de China (15,5 %), seguían por delante de las de Estados Unidos (12,2 %), que contaba con una proporción mayor de importaciones mundiales (15,9 %) que la UE (14,8 %) o China (12,9 %).

Generación de Residuos

En 2012, la cantidad total de residuos generados en la UE por la totalidad de actividades económicas y hogares ascendió a 2.515 millones de toneladas. **La construcción y la demolición contribuyeron con un 33 % del total (821 millones de toneladas, incluidas tierras de excavación)**, seguidas de las industrias extractivas (29 % o 734 millones de toneladas), **la industria manufacturera (11 % o 270 millones de toneladas)**, los hogares (8 % o 213 millones de toneladas) y la energía (4 % o 96 millones de toneladas); el 15 % restante de residuos los generaron otras actividades económicas (EUROSTAT, 2015).

11.1.2. Marco de acción para la economía circular

Introducción y contexto

Europa está ligada al resto del mundo a través de múltiples sistemas que permiten flujos bidireccionales de materiales, recursos financieros, ideas e innovación. Como resultado, la capacidad de recuperación económica, ecológica y social de Europa está y seguirá estando afectada de manera significativa por una variedad de tendencias sociales, económicas, políticas, ambientales y tecnológicas globales e interdependientes.

Por ejemplo, se prevé que el uso de recursos materiales mundiales en 2030 sea el doble que en 2010 (SERI, 2013), mientras que el pronóstico más reciente de las Naciones Unidas sugiere que es probable que la población mundial supere los 11.000 millones a finales del siglo XXI. Con 7.200 millones de personas en la actualidad; sin embargo, el planeta ya está luchando para satisfacer las demandas humanitarias de tierra, alimentos y otros recursos naturales, y para absorber sus residuos.

Frente a estos retos y oportunidades, **la UE pretende evolucionar sus sistemas económicos y sociales para que sus ciudadanos, para el año 2050, adquieran un notable bienestar, pero dentro de los límites del planeta.** La implantación de la economía circular puede contribuir a ello, con el objetivo de respetar las fronteras planetarias aumentando la proporción de recursos renovables o reciclables, toda vez que se reduce el consumo de materias primas y energía, disminuyendo, al mismo tiempo, las emisiones y las pérdidas materiales. **Enfoques como el diseño ecológico, el intercambio, la reutilización, la reparación, la renovación y el reciclaje de los productos y materiales existentes desempeñan un papel importante en el mantenimiento la utilidad de los productos, componentes y materiales y conservando su valor.**

Objetivos

La transición a una economía más circular, en la cual el valor de los productos, los materiales y los recursos se mantenga en la economía durante el mayor tiempo posible y en la que se reduzca al mínimo la generación de residuos, constituye una contribución esencial a los **esfuerzos de la UE encaminados a lograr una economía sostenible, hipo-carbónica, eficiente en el uso de los recursos y competitiva.** Una transición de ese tipo brinda la oportunidad de transformar nuestra economía y de generar nuevas ventajas competitivas y sostenibles para Europa.

La economía circular está llamada a **impulsar la competitividad de la UE** al proteger a las empresas **contra la escasez de recursos y la volatilidad de los precios, y contribuir a crear nuevas oportunidades empresariales, así como maneras innovadoras y más eficientes de producir y consumir.** Creará puestos de trabajo a escala local adecuados a todos los niveles de capacidades, así como oportunidades para la integración y la cohesión social. Al mismo tiempo, ahorrará energía y contribuirá a evitar los daños irreversibles causados en lo relativo al clima y la biodiversidad, y a la contaminación del aire, el suelo y el agua, a causa de la utilización de los recursos a un ritmo que supera la capacidad de la Tierra para renovarlos. Un reciente informe también señala los beneficios de más amplio alcance de la economía circular, incluida la reducción de los actuales niveles de las emisiones de dióxido de carbono (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

Por consiguiente, **la acción sobre la economía circular guarda una estrecha relación con las prioridades clave de la UE, como el crecimiento y el empleo, el programa en materia de inversión, el clima y la energía, la agenda social y la innovación industrial**, así como con los esfuerzos mundiales en materia de desarrollo sostenible.

11.1.3. Plan de acción y medidas aplicadas

Plan de acción

El plan de acción se centra en medidas a escala de la UE con un elevado valor añadido. No obstante, hacer realidad la economía circular exige un compromiso a largo plazo a todos los niveles, desde los Estados miembros a las regiones y las ciudades, pasando por las empresas y los ciudadanos. Este plan de acción contribuirá a la consecución de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) antes de 2030, en particular el objetivo 12 con vista a **garantizar modelos sostenibles de consumo y producción** (COMISIÓN EUROPEA, 2015).

Las propuestas legislativas sobre los residuos, adoptadas junto con el presente plan de acción, **incluyen objetivos a largo plazo para reducir los depósitos en vertederos y aumentar la preparación para la reutilización y el reciclado de flujos clave de residuos, como los residuos municipales y los residuos de envases**. Los objetivos deberían conducir a que los Estados miembro convergieran gradualmente hacia los niveles de las mejores prácticas y **fomentaran las inversiones necesarias en la gestión de residuos**. Se **proponen medidas adicionales en aras de una aplicación clara y sencilla, de la promoción de incentivos económicos y de la mejora de los sistemas de responsabilidad ampliada del productor**.

Algunas de las claves de acción para la UE a lo largo de la cadena de oferta-demanda de un paradigma de economía circular se recogen a continuación:

Medidas sobre la Producción

➤ *Diseño del producto*

- En el marco de la Directiva sobre diseño ecológico, **la Comisión Europea promueve la reparabilidad, la posibilidad de actualización, la durabilidad y la reciclabilidad de los productos mediante el establecimiento de requisitos aplicables a los productos** que sean pertinentes para la economía circular, según proceda y teniendo **en cuenta las especificidades de los distintos grupos de productos**. El plan de trabajo sobre diseño ecológico para 2015-2017 especifica de qué manera se lleva a cabo.

- Las propuestas legislativas revisadas sobre residuos crean **incentivos económicos para lograr un mejor diseño de los productos**, estableciendo disposiciones sobre la responsabilidad ampliada del productor.

- La Comisión estudia opciones y acciones para establecer un marco político más coherente de las distintas líneas de trabajo de su política relativa a los productos en su contribución a la economía circular.

➤ *Procesos de producción*

- La Comisión incluye ***orientaciones sobre las mejores prácticas en materia de gestión de los residuos y de eficiencia en el uso de los recursos en sectores industriales*** en los documentos de referencia sobre las mejores técnicas disponibles; además, ofrece asesoramiento y promueve las mejores prácticas en relación con los residuos mineros.
- La Comisión propone (en las propuestas legislativas revisadas sobre residuos) ***aclarar las normas sobre los subproductos al objeto de facilitar la simbiosis industrial*** y de contribuir a crear condiciones equitativas al respecto en toda la UE.

Medidas sobre el Consumo

En sus trabajos sobre el diseño ecológico, la Comisión estudia específicamente ***los requisitos proporcionados sobre la durabilidad y sobre la disponibilidad de información relativa a las reparaciones y las piezas de recambio, así como información sobre la durabilidad en futuras medidas sobre etiquetado energético.***

- En sus propuestas revisadas sobre residuos, la Comisión propone ***nuevas normas que favorezcan las actividades de reutilización.***
- La Comisión trabaja en pro de ***una mejor aplicación de las garantías sobre los productos tangibles,*** estudia posibles opciones de mejora y lucha contra las declaraciones ecológicas falsas.
- La Comisión prepara ***programas de ensayos independientes en el marco de Horizon 2020 para contribuir a identificar las cuestiones relacionadas con la posible obsolescencia programada.*** En este trabajo participarán las partes interesadas pertinentes, según proceda.
- La Comisión adopta ***medidas sobre la contratación pública ecológica,*** haciendo hincapié en los aspectos de la economía circular en los criterios nuevos o revisados, apoyando una ***mayor implantación de la contratación pública ecológica y dando ejemplo en sus propios procedimientos de contratación pública y en la financiación de la UE.***

Medidas sobre la Gestión de residuos

La Comisión adopta, junto con el presente plan de acción, diversas propuestas legislativas revisadas sobre los residuos, que contemplan, en particular:

- objetivos a largo plazo de reciclado de los residuos municipales y de los residuos de envases, y con vistas a reducir el depósito en vertederos,
- disposiciones para fomentar un mayor uso de los instrumentos económicos,
- requisitos generales para los sistemas de responsabilidad ampliada del productor,
- la simplificación y la armonización de las definiciones y los métodos de cálculo y la intensificación de su trabajo con los Estados miembros para mejorar la gestión de los residuos sobre el terreno, así como para evitar el exceso de capacidad en el tratamiento de los desechos residuales.

La Comisión asiste a los Estados miembros y a las regiones a fin de garantizar que las inversiones en virtud de la política de cohesión en el sector de los residuos contribuyen a apoyar los objetivos de la legislación de residuos de la UE y están guiadas por la jerarquía de residuos de la UE

11.1.4. Áreas prioritarias

Una serie de sectores se enfrentan a retos específicos en el contexto de la economía circular, debido a las características específicas de sus productos o cadenas de valor, a su huella medioambiental o a la dependencia de materiales procedentes de fuera de Europa.

Plásticos

- Se establece una estrategia sobre los plásticos en la economía circular, abordando cuestiones como la reciclabilidad, la biodegradabilidad, la presencia de sustancias peligrosas preocupantes en determinados plásticos, y la basura marina.
- En la propuesta legislativa revisada sobre residuos, la Comisión propone un objetivo más ambicioso para el reciclaje de los envases de plástico.

Residuos alimentarios

A fin de apoyar el logro del objetivo de desarrollo sostenible relativo a los residuos alimentarios y el objetivo de aprovechar al máximo la contribución de los agentes de la cadena alimentaria se adoptan las medidas siguientes:

- desarrollo de una metodología común de la UE para evaluar los residuos alimentarios y definir los indicadores pertinentes; creación de una plataforma en la que participan los Estados miembros y las partes interesadas con el fin de apoyar el logro de los objetivos de desarrollo sostenible sobre los residuos alimentarios mediante la puesta en común de las mejores prácticas y la evaluación de los progresos realizados a lo largo del tiempo.
- se toman medidas a fin de aclarar la legislación de la UE relativa a los residuos, los alimentos y los piensos, y de facilitar la donación de alimentos y la reutilización de antiguos alimentos y subproductos de la cadena alimentaria en la producción de piensos sin comprometer la seguridad de los alimentos y los piensos; y
- se examinan las formas de mejorar el uso de la indicación de la fecha por los agentes de la cadena alimentaria y su comprensión por parte de los consumidores, en particular la relativa al «consumo preferente».

Materias primas críticas

- Se adoptan una serie de medidas por parte de la Comisión para promover la recuperación de materias primas críticas, preparación de un informe que contemplará las mejores prácticas y las opciones para seguir actuando a este respecto.
-

-
- La Comisión también fomenta la acción de los Estados miembros sobre este particular en su propuesta revisada relativa a los residuos.

Construcción y demolición

- La Comisión adopta una serie de medidas para garantizar la recuperación de recursos valiosos y la gestión adecuada de los residuos en el sector de la construcción y la demolición, y para facilitar la evaluación de los resultados medioambientales de los edificios.

Biomasa y bioproductos

- La Comisión promueve una utilización eficiente de los recursos biológicos a través de una serie de medidas, incluidas la orientación y la difusión de las mejores prácticas sobre la utilización en cascada de la biomasa y el apoyo a la innovación en la bioeconomía.
- Las propuestas legislativas revisadas relativas a los residuos incluyen un objetivo de reciclaje de envases de madera y una disposición para garantizar la recogida por separado de los residuos biológicos.

11.1.5. Instrumentos financieros para fomentar la economía circular dentro de la UE

La transición hacia una economía circular constituye un cambio sistémico. Además de las acciones específicas que afectan a cada una de las fases de la cadena de valor y los sectores clave, es necesario crear las condiciones en que la economía puede prosperar y los recursos pueden movilizarse.

Innovación, inversión y otras medidas horizontales

- El programa de trabajo de *Horizon 2020* para el período 2016-2017 incluye una iniciativa importante sobre «Industria 2020 en la economía circular», con una dotación de más de 650 millones EUR.
- La Comisión intensifica su actuación con vista a movilizar a las partes interesadas sobre la economía circular y, en particular, con vista a la aplicación de este plan de acción. También lleva a cabo acciones de divulgación específicas para contribuir al desarrollo de proyectos de la economía circular para las diversas fuentes de financiación de la UE, en particular de los fondos de la política de cohesión.

Mecanismos financieros para modelos de negocio innovadores

Los modelos de negocio circulares requieren mecanismos financieros adaptados. Por ejemplo:

- Con un enfoque más orientado a la venta de servicios en lugar de productos.
 - Los derechos de propiedad de los productos ya no se transfieren al consumidor (comprador), sino que serán mantenidos por la empresa productora.
 - Las empresas no recibirán el pago al principio del ciclo de vida del producto, pero recibirán pagos durante su período de uso.
-

Por lo tanto, la sincronización del flujo de caja es fundamental para los nuevos modelos de negocio en la economía circular. El relativamente nuevo mercado de bonos verdes parece adecuado para este fin.

Transferir parte de la carga fiscal de las fuentes tradicionales (por ejemplo, impuestos sobre la renta personal o contribuciones de seguridad social) a actividades que dañan el medio ambiente puede también acelerar la transición del modelo económico lineal a circular.

Los impuestos medioambientales pueden conducir a una reducción de los costos de actividades ligadas a la mano de obra intensiva como la remanufactura y la reparación, creando así un terreno de juego más equitativo entre los modelos de negocio innovadores y tradicionales.

Otros instrumentos

Políticas de incentivos a la reutilización de recursos así como programas de prevención de residuos constituyen mecanismos imprescindibles para la transición hacia modelos de economía circular.

11.1.6. Aspectos socioeconómicos

El sistema económico lineal que prevalece hoy en día y las reglas que lo gobiernan ha sido desarrollado y madurado a lo largo de muchos años. A medida que surgen nuevos enfoques circulares, inevitablemente surgirán conflictos entre el sistema lineal existente y los nuevos enfoques. Estos pueden ser percibidos como amenazas por algunas de las partes, pero como nuevas oportunidades por otros.

En general, la forma en que se distribuyen los beneficios y los riesgos socioeconómicos y cómo los perciben las partes interesadas será crucial para la transición a una economía circular en Europa. Si bien varios estudios subrayan el potencial de la economía circular en términos de creación de empleo, se debe prestar más atención a los beneficios netos del empleo y a la distribución de los beneficios y los costos de transición entre los diferentes segmentos de la población y entre regiones.

Por ejemplo, poco se sabe sobre la calidad de los nuevos puestos de trabajo que se podrían crear en la economía circular y las habilidades necesarias de los empleados. La remanufactura podría devolver los empleos industriales a Europa, pero la transición a sistemas de servicio también podría sustituir a los puestos de trabajo industriales altamente remunerados por puestos de trabajo de menor remuneración. Del mismo modo, el consumo colaborativo, entendido como una interacción entre dos o más personas, a través de medios digitalizados o no, que satisface una necesidad real o potencial, podría mejorar la cohesión social dentro de un grupo de ciudadanos, pero también podría discriminar a otros grupos sociales. Ejemplos de este consumo serían medios de transporte o espacios de trabajo compartidos o préstamos entre particulares.

En general, es importante aumentar los esfuerzos de investigación para desarrollar modelos y otras herramientas para analizar las interacciones socioeconómicas y ambientales.

11.1.7. Seguimiento de los avances hacia una economía circular: principales indicadores.

A fin de evaluar los avances hacia una economía más circular y la eficacia de las acciones a escala nacional y de la UE, es importante disponer de un conjunto de indicadores fiables. La base de este seguimiento puede constituir la gran cantidad de datos ya recopilados por Eurostat. Además, el Marcador del uso eficiente de los recursos, así como el de las materias primas, contienen indicadores y análisis pertinentes, que serán especialmente útiles para el seguimiento de los avances.

En estrecha cooperación con la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) y tras consultar a los Estados miembros, se elabora un marco de seguimiento para la economía circular, concebido para medir eficazmente los avances sobre la base de datos fiables existentes.

La Tabla 101 enumera un conjunto de cuestiones que se tienen en cuenta al evaluar el progreso hacia una economía circular orientada a los materiales (EEA, 2016).

Insumos de materiales	¿Están disminuyendo los insumos materiales primarios en Europa?
	¿Las pérdidas de materiales en Europa están disminuyendo?
	¿Aumenta la cuota de materiales reciclados en los materiales de partida?
	¿Los materiales utilizados en Europa son de origen sostenible?
Eco-diseño	¿Están los productos diseñados para durar más tiempo?
	¿Están los productos diseñados para ser desmontados?
	¿Se incluyen materiales reciclados en el diseño del producto?
	¿Están los materiales diseñados para ser reciclados, evitando la contaminación de los ciclos de reciclaje?
Producción	¿Utiliza Europa menos materiales en la producción?
	¿Utiliza Europa un volumen y un número más bajo de sustancias peligrosas para el medio ambiente en la producción?
	¿Está Europa generando menos residuos en la producción?
	¿Están las estrategias de negocios cambiando hacia conceptos circulares tales como la remanufacturación y las ofertas basadas en servicios?
Consumo	¿Están los europeos cambiando los patrones de consumo a tipos de bienes y servicios menos intensivos desde el punto de vista ambiental?
	¿Están los europeos usando productos más tiempo?
	¿El consumo europeo genera menos residuos?
Reciclaje de residuos	¿Está aumentando el reciclaje de residuos?
	¿Hasta qué punto los materiales mantienen su valor en los procesos de reciclaje, evitando el down-cycling?
	¿Hasta qué punto está optimizado el sistema de reciclaje respecto a la sostenibilidad ambiental y económica?

Tabla 101: Cuestiones relacionadas con el progreso hacia una economía circular.

Insumos de materiales

Existen indicadores establecidos para medir los insumos de materiales primarios. Si bien los datos sobre el Consumo Doméstico de Material (DMC) están más disponibles, el Consumo de Materias Primas (RMC) es un indicador modelado que incluye los flujos materiales indirectos asociados con las importaciones y las exportaciones y, por tanto, refleja el impacto material global de Europa mejor que el DMC. Los indicadores para responder a las cuestiones sobre pérdidas materiales, sobre la

proporción de materiales reciclados y sobre la obtención sostenible de materiales necesitan más trabajo y sólo se dispone de datos limitados (Tabla 102). Las estimaciones de la EEA (European Environment Agency) sobre la proporción de materiales reciclados en el consumo de materiales en la UE varían entre el 42% para el hierro y el acero y sólo el 2% para los plásticos en 2006.

Cuestiones	Posibles indicadores	Disponibilidad de datos
¿Están disminuyendo los insumos materiales primarios en Europa?	DMC o RMC	++
¿Las pérdidas de materiales en Europa están disminuyendo?	Proporción de pérdidas de material en los ciclos clave	+
	Desvío de residuos a vertederos (indicador EEA WST006, en desarrollo)	++
¿Aumenta la proporción de materiales reciclados en los materiales de partida?	Proporción de materias primas secundarias en el consumo de material	+
¿Los materiales utilizados en Europa son de origen sostenible?	Proporción de materiales sosteniblemente certificados en el uso de materiales	+

Nota: ++, Datos fácilmente disponibles y/o indicadores existentes; +, datos disponibles limitados que podrían utilizarse para elaborar el indicador o indicador experimental; -, no hay datos disponibles actualmente para crear el indicador.

Tabla 102: Indicadores relacionados con los insumos de materiales.

Eco-diseño

El eco-diseño es un enfoque de gestión estratégica que considera los impactos ambientales de los ciclos de vida completos de productos, procesos, servicios, organizaciones y sistemas. Las estrategias de diseño ecológico, como el diseño para el reciclaje o el desmontaje, pueden facilitar la remanufactura y los ciclos cerrados. Los productos se pueden incluir en edificios e infraestructura, así como productos de consumo.

Cuestiones	Posibles indicadores	Disponibilidad de datos
¿Están los productos diseñados para durar más tiempo?	Durabilidad o tiempo de vida comparado con el promedio de la industria para un producto similar	-
¿Están los productos diseñados para ser desmontados?	Tiempo y número de herramientas necesarias para el desmontaje	-
¿Se incluyen materiales reciclados en el diseño del producto?	Proporción de material reciclado en los nuevos productos	-
¿Están los materiales diseñados para ser reciclados, evitando la contaminación de los ciclos de reciclaje?	Proporción de materiales donde existen opciones seguras de reciclaje	-

Nota: ++, Datos fácilmente disponibles y/o indicadores existentes; +, datos disponibles limitados que podrían utilizarse para elaborar el indicador o indicador experimental; -, no hay datos disponibles actualmente para crear el indicador.

Tabla 103: Indicadores relacionados con el eco-diseño.

Producción

Uno de los objetivos de la economía circular es minimizar los insumos materiales y limitar la producción de residuos no reciclables o peligrosos en los procesos de fabricación.

Cuestiones	Posibles indicadores	Disponibilidad de datos
¿Utiliza Europa menos materiales en la producción?	Material utilizado para la producción en comparación con el PIB (por sectores)	+
¿Utiliza Europa un volumen y un número más bajo de sustancias peligrosas para el medio ambiente en la producción?	Insumos de sustancias clasificadas como peligrosas	+
¿Está Europa generando menos residuos en la producción?	Generación de residuos (actividades de producción) (indicador EEA CSIO41 / WST004)	++
	Generación de residuos peligrosos en los procesos de producción	++
¿Están las estrategias de negocios cambiando hacia conceptos circulares tales como la remanufacturación y las ofertas basadas en servicios?	Participación de las empresas en redes circulares de empresas	-
	Proporción de negocios de remanufactura en la economía manufacturera	-

Nota: ++, Datos fácilmente disponibles y/o indicadores existentes; +, datos disponibles limitados que podrían utilizarse para elaborar el indicador o indicador experimental; -, no hay datos disponibles actualmente para crear el indicador.

Tabla 104: Indicadores relacionados con la producción.

Consumo

Las decisiones de consumo de los ciudadanos, los gobiernos y las empresas tienen una influencia considerable en la economía circular a través de su elección de productos y servicios, los patrones de consumo, las opciones de reciclado y el comportamiento.

Cuestiones	Posibles indicadores	Disponibilidad de datos
¿Están los europeos cambiando los patrones de consumo a tipos de bienes y servicios menos intensivos desde el punto de vista ambiental?	Huella ecológica del consumo (incluidos los materiales) en Europa	+
	Huella ecológica por euro gastado (indicador EEA SCP013)	+
¿Están los europeos usando productos más tiempo?	Tiempo de vida real de los productos seleccionados	-
¿Están los europeos cambiando los patrones de consumo a tipos de bienes y servicios menos intensivos desde el punto de vista ambiental?	Cuota de mercado de los servicios de reutilización y reparación en relación con las ventas de nuevos productos	-
	Generación de residuos (actividades de consumo) (indicador EEA CSIO41 / WST004)	++

Nota: ++, Datos fácilmente disponibles y/o indicadores existentes; +, datos disponibles limitados que podrían utilizarse para elaborar el indicador o indicador experimental; -, no hay datos disponibles actualmente para crear el indicador.

Tabla 105: Indicadores relacionados con el consumo.

Reciclaje de residuos

Uno de los pilares centrales de la economía circular es el hecho de enviar los materiales de vuelta a la economía y evitar que los residuos sean enviados a vertederos o incineradoras, capturando así el valor de los materiales en la medida de lo posible y reduciendo las pérdidas.

Cuestiones	Posibles indicadores	Disponibilidad de datos
¿Está aumentando el reciclaje de residuos?	Tasas de reciclaje de los diferentes tipos de residuos/materiales (indicador EEA WST005, en desarrollo)	++
¿Hasta qué punto los materiales mantienen su valor en los procesos de reciclaje, evitando el down-cycling?	Calidad del material reciclado comparado con la calidad del material virgen	-
	Facturación de los principales materiales reciclables	+
¿Hasta qué punto está optimizado el sistema de reciclaje respecto a la sostenibilidad ambiental y económica?	Efectos ambientales y costes/ingresos de las gestiones de residuos municipales en Europa	+

Nota: ++, Datos fácilmente disponibles y/o indicadores existentes; +, datos disponibles limitados que podrían utilizarse para elaborar el indicador o indicador experimental; -, no hay datos disponibles actualmente para crear el indicador.

Tabla 106: Cuestiones e indicadores relacionados con el reciclaje de residuos.

11.1.8. Conclusiones

El plan de acción descrito así como los diferentes mecanismos llevados a cabo para fomentar el reciclaje, establecen un mandato concreto y ambicioso de la UE para apoyar la transición hacia una economía circular. Las principales actuaciones llevadas a cabo se basan en el fomento y desarrollo de:

- Modelos de negocio innovadores mediante:
 - o Fomento de modelos de negocio basados en servicios
 - o Fomento de negocio que utilicen los residuos como recursos
 - o Mecanismos financieros para modelos de negocio innovadores
 - o Políticas y programas de innovación
- Eco-diseño de los bienes de consumo.
- Consumo colaborativo.
- Campañas de sensibilización ciudadana.
- Ampliar la vida útil de los productos mediante la reutilización y la reparación.
- Programas de prevención de residuos.
- Seguimiento de los avances hacia una economía circular mediante la utilización de indicadores.

Estas acciones deberán ser complementadas con un compromiso continuado y amplio de todos los niveles de gobierno, en los Estados miembros, las regiones y las ciudades, así como de todas las partes interesadas.

El plan de acción desarrollado así como las principales actuaciones llevadas a cabo hacen énfasis en los siguientes flujos de materiales, ya sea por su volumen, su baja tasa de reciclaje o su impacto medioambiental o sociocultural:

- Plásticos,
- Materias primas críticas,
- Residuos de Construcción y Demolición (RCD),
- Biomasa y bioproductos,
- Residuos alimentarios.

11.2.2. Ordenamiento legislativo y normativo histórico de la gestión de corrientes residuales industriales y de construcción

En materia medioambiental, **la Ley 3/1998**, de protección general del Medio Ambiente, preconiza que, **corresponde al Gobierno Vasco, la elaboración y aprobación de la normativa en dicha materia en el marco competencial establecido, así como el desarrollo legislativo y la ejecución de la legislación básica del Estado en materia de medio ambiente y ecología**. Asimismo, entra entre sus competencias, la adopción de las medidas necesarias para la directa **aplicación de los reglamentos de la Unión Europea** y la ejecución de las obligaciones establecidas por las directivas y el resto de la normativa comunitaria.

Previo paso a diseccionar el ordenamiento específico de la corriente de residuos de construcción y demolición y su evolución hasta la planificación actual que contempla los nuevos objetivos de cierre de ciclos o economía circular, conviene ahondar en la priorización histórica en cuanto a ordenamiento legislativo, planificación e implementación de acciones de las grandes corrientes residuales del País Vasco.

Tras la aprobación a finales de los 80 de la normativa básica estatal, en la **década de los 90 del SXX, la CAPV comienza regulando la gestión de los residuos peligrosos de producción más atomizada: aceites y residuos sanitarios**. Se aprueba un primer Plan de Residuos especiales y se realiza el primer inventario de este tipo de residuos. **Con el Decreto 423/1994 la CAPV extrapola el sistema documental de los residuos peligrosos a las entregas de residuos inertes e inertizados en vertedero, y establece la necesidad de autorización de estos últimos**. Cuatro años más tarde, la Ley 10/1998 extiende esta **obligación a la totalidad de los gestores de residuos no peligrosos, valorizadores incluidos**. Aunque desde 1998 la obligación de obtener una autorización de gestor es extensiva a los valorizadores (papel, metal, madera, plástico, etc.), **son pocas las empresas que inician el trámite en la década comprendida entre 1990-2000**. Asimismo, cabe apuntar que durante dicha década **no existen datos de generación o gestión de residuos no peligrosos para dicho periodo**, situación equiparable a la coyuntura actual colombiana en cuanto a punto de partida. La **escasa sensibilización por los RCD justifica la falta de actuaciones concretas sobre esta corriente en la década de los 90**. El anteriormente comentado Decreto 423/1994 de residuos inertes e inertizados regula su gestión, y comienzan a aparecer algunos vertederos específicos de RCD, como el caso de Volbas en Bizkaia. No existen inventarios ni estimaciones de la cantidad de RCD generada en este periodo.

En el **período 2000-2010** se da un impulso definitivo a planificación, inventarios, seguimiento de acciones, dotación de infraestructuras priorizadas para las diferentes corrientes residuales, así como despliegue de instrumentos dirigidos a priorizar acciones de gestión dentro de la jerarquía de gestión de residuos. Se aprueban los primeros planes específicos, incorporando la visión de la Directiva Marco de Residuos a pesar de no haberse realizado aún la transposición a la normativa estatal. El Real Decreto 1481/2001 comienza a limitar la eliminación en vertedero. En esta década la **generación de residuos peligrosos industriales oscila entre las 510.205 de 2004 y las 306.332 toneladas de 2009**. **La elaboración de inventarios anuales de residuos no peligrosos de la actividad industrial comienza en 2003**. **La generación en esta década varía entre las 3.642.916 toneladas de 2004 y las 3.030.746 de 2009**. El índice de valorización alcanza su máximo en 2008, con un 71%. Todo ello, se visualiza en la Figura 61. En cuanto a infraestructuras, en 2007 se inaugura en Agurain la

primera planta a nivel estatal para el reciclado de arena de fundición. **Aumenta el número de valorizadores autorizados en fracciones tales como metal, plástico, madera, etc., lo que permite atender debidamente la generación de los residuos de producción más atomizada.**

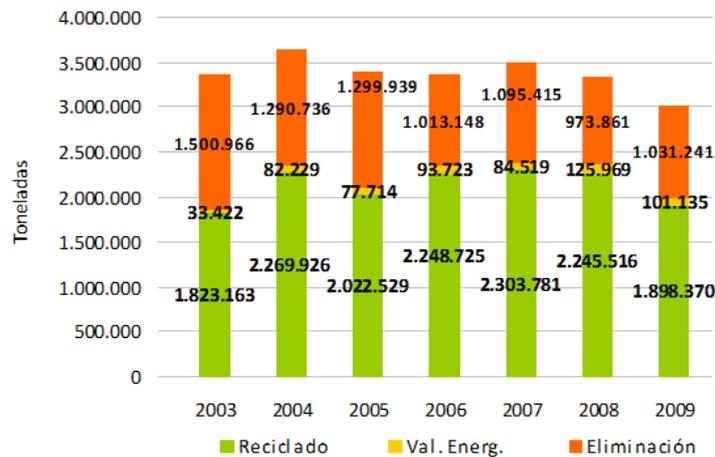


Figura 61. Evolución de la gestión de residuos no peligrosos en la CAPV 2000-2009

En materia de **residuos de construcción y demolición**, el Gobierno Vasco, a través de su sociedad pública para la gestión medioambiental, apuesta por la **generación de conocimiento técnico específico** para esta corriente que termina con la publicación de diferentes documentos de acceso público: en 2004-2005 de la “Monografía sobre residuos de construcción y demolición”; la “Guía de edificación sostenible para la vivienda” y la “Guía metodológica para la elaboración de proyectos de demolición selectiva”, así como con la celebración del “Primer Foro de Reciclaje de RCD”, entre otras herramientas. **Dicho conocimiento y procesos participativos entre los agentes del sector sientan las bases para aprobar y desplegar** decretos y normas técnicas específicas en la siguiente década. En 2008 se aprueba a nivel estatal la primera normativa específica en materia de RCD. Tras varios años de estimaciones, **en 2009 se elabora el primer inventario específico de RCD, que arroja una generación de 1.382.314 toneladas y un índice de valorización del 52%** hacia finales de dicha década. En **materia de infraestructuras, se autorizan las principales plantas fijas de tratamiento de RCD**: BTB y Volbas en Bizkaia (2003) y Gardelegi en Araba (2007), así como algunas plantas móviles para el tratamiento del RCD limpio (LER 170101, 170102 y 170103).

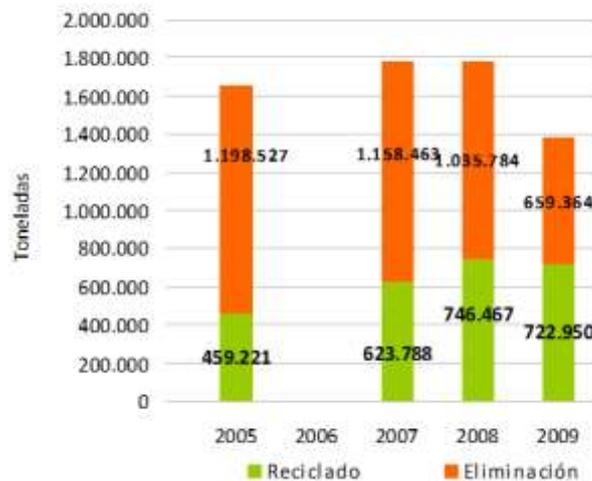


Figura 62. Evolución de la gestión de RCD en la CAPV 2005-2009, a partir de la elaboración de los primeros inventarios

Avanzando hacia la actual década, el **período 2010-2015** se caracteriza por la transposición de la Directiva Marco Europea de Residuos de 2008 (DMR), que refuerza la **obligación de apostar por la prevención, la preparación para la reutilización y la valorización material**.

La **generación de residuos peligrosos industriales oscila entre las 367.500 toneladas de 2010 y las 284.424 toneladas de 2012. En 2013 se alcanza el 69% de valorización, el mayor índice desde que existen registros**. La generación de **residuos no peligrosos industriales se mantiene por debajo de los 3 millones de toneladas** y en 2013 supera esa cifra, retornando a valores propios de la década anterior. Tras el punto de inflexión de 2011 (57%), la tasa de reciclaje se incrementa hasta el 62% en 2013. En cuanto a RCD, este lustro se caracteriza por la aprobación a nivel autonómico de la normativa específica para la producción y gestión de RCDs, basada en el conocimiento técnico recopilado en la década anterior. El diseño de herramientas tales como EEH Aurrezten o la publicación de la Orden técnica para la utilización de los agregados reciclados a través de la valorización facilitan la aplicación de esta normativa a los distintos agentes implicados. En este período, prolifera la instalación de plantas móviles de tratamiento de RCD, que permiten una gestión más cercana y asequible para los residuos generados en obra. **Los inventarios de 2012 y 2013 confirman que la generación anual de RCD en la CAPV se sitúa en torno a las 1.000.000 toneladas** (1.083.273 toneladas en 2012; 1.025.343 toneladas en 2013). La valorización alcanza una tasa histórica del 54% en 2013.

En la segunda mitad de la presente década (2010-2019), se empiezan a priorizar acciones e instrumentos para cierre efectivo de ciclos de acuerdo a apuestas estratégicas de economía circular (revisadas en una experiencia anterior) desplegadas desde Europa, hacia los Estados miembro y regiones asociadas.

WHAT IS THE CIRCULAR ECONOMY?



Figura 63. Consolidar oferta de recursos alternativos (gestión y recuperación de recursos procedentes de residuos) y estimular la demanda (incorporación de materia prima recuperada a nuevos procesos industriales)

El Gobierno Vasco identifica dos aspectos clave en el cierre de ciclos de los recursos embebidos en las diferentes corrientes industriales y de construcción priorizadas:

- **Parte de oferta** (relativa a la gestión de residuos y transformación en nuevos recursos): esta parte es la que se considera ordenada en un porcentaje superior al 50% para todas las corrientes.
- **Parte de demanda** (regreso de recursos a procesos manufactureros y consumo): el gran reto de los próximos años para alcanzar los grandes objetivos de circularidad de recursos materiales.

A este respecto, los grandes instrumentos para estimular la oferta priorizados por el Gobierno Vasco se ilustran a continuación:

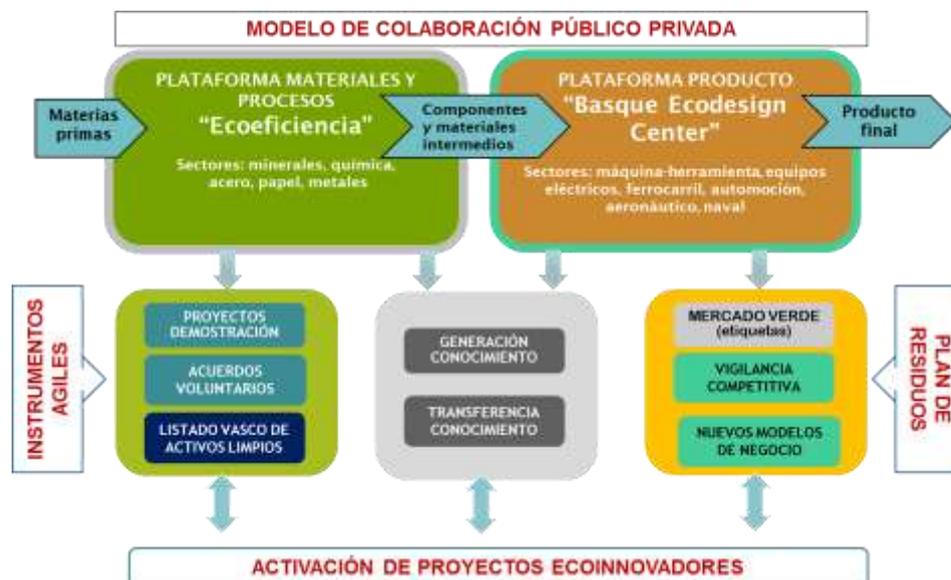


Figura 64. Instrumentos priorizados en el País Vasco para estimular la economía circular

11.2.3. Diagnóstico y planificación

La Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, establece que corresponde a las Comunidades Autónomas la elaboración de los programas de prevención de residuos, y de los planes autonómicos de gestión de residuos. Tal y como se ha descrito en el apartado anterior, **los sucesivos planes de residuos en la CAPV han permitido avanzar en materia de prevención, gestión y tratamiento de los residuos peligrosos, no peligrosos y urbanos en el ámbito de la CAPV**. La finalización del periodo de vigencia de dichos documentos obliga acometer la redacción de un nuevo instrumento de planificación en materia de residuos en el ámbito autonómico. Este instrumento lo constituye el Plan de Prevención y Gestión de Residuos de la Comunidad Autónoma del País Vasco; vigente, en la actualidad, para el periodo 2014-2020 (VASCO, 2015).

El Plan de Prevención y Gestión de Residuos de la CAPV 2020 es aplicable a todos los residuos incluidos dentro del marco de aplicación de la Ley 22/2011, de residuos y suelos contaminados, que se generen en territorio vasco o que procedan del exterior de la Comunidad Autónoma pero sean gestionados a través de empresas localizadas en la CAPV. Incluye las 4 categorías siguientes:

- Residuos Peligrosos
- Residuos No Peligrosos
- Residuos de Construcción y Demolición (RCD)
- Residuos Urbanos

De las 4 corrientes nos centraremos en los aspectos clave del plan relativos a los RCD en la revisión de esta experiencia. El Plan 2014-20 recoge el espíritu de la Directiva Marco Europea de Residuos en materia de RCD, que preconiza que antes de 2020, **la cantidad de residuos no peligrosos de construcción y demolición destinados a la preparación para la reutilización, el reciclado y otra valorización de materiales, con exclusión de los materiales en estado natural definidos en la categoría 17 05 04 de la lista de residuos, deberá alcanzar como mínimo el 70% en peso de los producidos**.

Cabe destacar que el Plan se desarrolla a partir de un **proceso consultivo entre agentes socio-económicos involucrados**. Para RCD, los agentes de la cadena de valor de la Construcción, así como técnicos de los municipios vascos. El número de alegaciones y comentarios al Plan global recibidos fueron de 161, procedentes de 22 organizaciones. Se respondieron el 100% de las mismas y un 30% redundaron en cambios en dicho Plan de residuos.

El Plan parte del análisis de la situación de partida, sobre la base de un registro armonizado de datos de generación y gestión de cada una de las corrientes. En el País Vasco existe **una metodología de recogida y análisis estadístico de datos que se aplica de la misma manera en los diferentes periodos de estudio**. Si bien se han evidenciado avances metodológicos en la elaboración de estadísticas e interpretación de las mismas, existen campos de mejora en este ámbito. Como se ha avanzado anteriormente, **la generación anual de RCD en la CAPV se sitúa en torno a las 1.000.000 toneladas** (1.083.273 toneladas en 2012; 1.025.343 toneladas en 2013). **El reciclaje alcanzó una tasa histórica del 54% en 2013**, si bien el gran reto es el cierre de ciclos de los agregados reciclados de RCD y estímulo de la demanda. Ingentes cantidades de agregados reciclados quedan acopiados en las plantas de tratamiento.

El objetivo del Plan actual para RCD fija para 2020:

- **Prevención:** reducción del 5% respecto a los valores del 2010, evitando la generación desde el diseño
- **Recogida y selección selectiva:** fomentar sistemas de recogida estables; ampliar tasas de recogidas de RCD hasta el 75%
- **Reutilización, reciclaje y valorización:** alcanzar tasas de valorización de un 70%
- **Ejemplaridad de la Administración:** fomento del mercado verde en materia de agregados reciclados
- **Infraestructuras:** alcanzar capacidad instalada del 100%

Los principales instrumentos que utiliza el Plan para alcanzar la consecución de sus objetivos estratégicos de RCD se desglosan a continuación:

- **Instrumentos políticos y de planificación:** La aprobación del «Decreto 112/2012, de 26 de junio, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición» ha permitido dotar de cuerpo legal a varias medidas indispensables para la regulación de este sector; revisión de la Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco publicada en 2012 se han incluido dos anexos para los agregados procedentes de residuos de construcción y demolición para zahorras; y los agregados procedentes de residuos de construcción y demolición como suelos seleccionados para terraplenes y explanadas mejoradas; aprobación de Órdenes (o instrucciones técnicas) que establecen los criterios de fin de vida para RCD.
 - **Instrumentos económicos:** Subvenciones en proyectos demostración de cierre de ciclos de RCD; Desgravación fiscal por inversión en tecnologías limpias (se amplía en otro apartado); aplicación de tasas de generación y vertido; interiorización de costes de precios de vertido de RCD; análisis de otros instrumentos económicos que favorezcan productos con garantías extendidas; pago por generación de residuos
 - **Instrumentos de vigilancia y control:** Programa concreto de inspección de vertido y reciclado de RCD para reducir la deposición en vertedero incontrolado; establecer límites en las Autorizaciones Ambientales Integradas de productores de RCD para controlar bien el vertido
 - **Instrumentos de coordinación entre agentes:** El convenio suscrito con el Departamento de Educación en materia de gestión de residuos peligrosos generados en centros de enseñanza ha propiciado la legalización de un gran número de nuevos productores y la incorporación al circuito de gestores autorizados de un gran número de corrientes que con anterioridad no eran gestionadas adecuadamente; coordinación interdepartamental dentro del GV; acuerdos voluntarios con gestores de RCD y cementeros.
 - **Instrumentos de sensibilización, formación e información (aspectos más sociales):** publicaciones periódicas en materia de buenas prácticas de demolición selectiva, uso de agregados en carreteras y concreto, etc.; jornadas y cursos específicos para técnicos de obra pública municipal en el uso de agregados reciclados; criterios técnicos y guías dirigidos a empresas, municipios, otras Administraciones Públicas (ecodiseño, edificación sostenible, rehabilitación, pliegos de Compra Pública Verde, modelos de ordenanzas...)
 - Instrumentos de recogida y seguimiento de la información
-

11.2.4. Selección en origen

Una de las claves de partida para garantizar un cierre efectivo de ciclos de los materiales embebidos en los RCD empieza en el mismo momento en que se planifica cualquier proyecto de construcción o demolición de un edificio. El diseño del proyecto y la ulterior ejecución del mismo han de contemplar la selección en origen y tratamiento diferenciado de fracciones materiales como mejor práctica para asegurar suficiente calidad de los materiales reciclados. Para ordenar la actividad de selección en origen en la fase de construcción o demolición de edificios e infraestructuras, el **Decreto vasco 112/2012** (BOPV, 2012), por el que se regula la producción y gestión de los RCD, establece una serie de disposiciones orientadas a desincentivar el vertido y fomentar una mayor clasificación en origen de las fracciones con mayor potencial de aprovechamiento:

- Asociado a la **solicitud de licencias urbanísticas**, se obligará a incluir, en los proyectos de ejecución de la obra, un **estudio de gestión de residuos y materiales de construcción y demolición**. El estudio debe incluir una estimación de la generación de los residuos y materiales, debidamente codificados de acuerdo a la Lista Europea de Residuos. Además, dicho estudio debe incluir medidas para prevenir la generación, un inventario de residuos peligrosos, medidas para separar los residuos, operaciones de valorización y la estimación del coste de gestión de dichos residuos.
- **Fianza**. Los ayuntamientos o administraciones municipales exigirán la constitución de una fianza para garantizar la adecuada gestión de los residuos de construcción y demolición procedentes de obra mayor como condición para la obtención de las licencias urbanísticas que otorguen. El cálculo del importe de la fianza estará basado en el coste de la gestión de residuos de construcción y demolición que se detallará en el estudio anteriormente descrito y representará el 120% de dicho coste. La devolución de la fianza sólo se producirá previa solicitud de la persona obligada y tras la acreditación documental de la correcta gestión de los residuos generados en la obra.
- Segregación de RCD procedentes de obra mayor: Los residuos de construcción y demolición procedentes de obra mayor deberán separarse en las siguientes fracciones cuando de forma individualizada para cada una de dichas fracciones, la cantidad prevista de generación para el total de la obra supere las siguientes cantidades, de acuerdo con la codificación de la lista europea de residuos:
 - a) Concreto (LER 170101): **10 toneladas**.
 - b) Ladrillos (LER 170102), tejas y materiales cerámicos (LER 170103): **10 toneladas**.
 - c) Metal (LER 1704, seleccionando los dos últimos dígitos en función del metal de que se trate): **en todos los casos**.
 - d) Madera (LER 170201): en todos los casos.
 - e) Vidrio (LER 170202): **0,25 toneladas**.
 - f) Plástico (LER 170203): **en todos los casos**.
 - g) Papel y cartón (LER 200101): **0,25 toneladas**.
 - h) Yeso de falsos techos, molduras y paneles (LER 170802): **en todos los casos**.

A fin de promover una mayor segregación en origen, las demoliciones deben diseñarse para tal fin. A fin de guiar al sector en prácticas de demolición selectiva, la Viceconsejería de Medio Ambiente, a través de su Sociedad Pública IHOBE, publicó en 2004 una **Guía Metodológica para la ejecución de proyectos de demolición selectiva** (IHOBE, 2004). Dicha guía establece las siguientes directrices:

- Planificar minuciosamente las operaciones de vaciado y desmontaje de elementos e instalaciones al objeto de no incurrir en gastos excesivos asociados a dichas labores con presencia predominante de mano de obra
- Gestionar en obra de forma diferenciada los residuos de madera, metal, vidrio, cartón, papel y plásticos, que tienen amplios circuitos de reciclaje en la CAPV, así como los residuos tóxicos y peligrosos a través de las correspondientes empresas autorizadas
- Retirar el mayor porcentaje de elementos decorativos que contengan yeso, tales como falsos techos, muebles de cartón-yeso, o molduras de escayola
- Derribar mecánicamente la estructura del edificio separando, del escombro pétreo, elementos estructurales de madera o metal que pudieran formar parte del esqueleto del edificio



Figura 65. Ilustración de la retirada selectiva de estructuras de madera de un edificio

11.2.5. Tecnología disponible

Estudios prenormativos en la CAPV (VEGAS, 2011) determinaron la composición media de los materiales en la CAPV a partir de un estudio exhaustivo de caracterización de los agregados reciclados producidos en las plantas de tratamiento de la CAPV. En dicha región se conoce que los RCD están compuestos de un **57% de concreto**, **19% de material cerámico** (ladrillos, tejas, sanitarios, etc.); **16% caliza**; 6% de asfalto y un 2% de una suma de yeso, madera, cristal, metal y fracciones orgánicas (plástico y papel). Un conocimiento en detalle del material resulta relevante para: i) diseñar y mejorar procesos de tratamiento a fin de incrementar las calidades de los materiales reciclados de los RCD; ii) crear confianza en el mercado y diversificar potenciales aplicaciones de uso. En este sentido, las plantas recicladoras de RCD de la CAPV han invertido, históricamente, en actividades de I+D+i dirigidas a mejorar su nivel tecnológico.

Algunos de los sistemas de tratamiento de las plantas de la CAPV se describen a continuación:

Planta de tratamiento de Volbas (localizada en el término municipal de Erandio):

RCD de entrada: 2 entradas diferenciadas:

- 1: RCD mezclado
- 2: RCD seleccionado

Sistemas de tratamiento del RCD:

1. Línea de tratamiento de RCD mezclado:

- PRECRIBADO: rechazo agregado >1500 mm/ 150 kg
- CRIBADO: Trommel: 0- 100; > 100 mm

Fracción 0- 100 mm

- SEPARADOR MAGNÉTICO
- CRIBADO: 0-5; 5-15; 15-40; 40-100

Fracción 0-5: arena reciclada

Fracciones 5-15, 15-40 y 40-100: (por separado)

- SEPARACIÓN DE LIGEROS: Soplante

Se obtienen productos: agregado AR1 (5-40) y AR2(40-100)

Fracción > 100 mm (*)

- SEPARACIÓN DE LIGEROS: Soplante
- TRIAJE MANUAL: Cabina de triaje
- SEPARACIÓN MAGNÉTICA

2. Línea de tratamiento de RCD seleccionado y de la fracción superior a 100 mm tratado en la 1ª línea ():*

- TRITURACIÓN: Molino de impacto
- SEPARACIÓN MAGNÉTICA
- CRIBADO: 0-40: agregado ZR 0-40; > 40

Fracción > 40 mm

- SEPARACIÓN DE LIGEROS: Soplante
- RECIRCULACIÓN AL COMIENZO DE LA SEGUNDA LÍNEA (Trituración)

Productos utilizados en el proyecto: AR 1 (5-40) y ZR 0-40

Planta de tratamiento de BTB (localizada en el término municipal de Ortuella):

RCD de entrada: RCD mezclado

- Sistemas de tratamiento del RCD:

-
- PRECRIBADO: rechazo de voluminosos

Fracción >60 mm

- TRITURACIÓN: Molino de impactos (separación de ligeros por centrifugado)

Fracción 0-60 + >60 mm

- SEPARADOR MAGNÉTICO
- CRIBADO: 0-50 mm; > 50 mm

Fracción >50 mm

- RECIRCULACIÓN AL COMIENZO DE LA LÍNEA: Trituración

Fracción 0-50 mm

- CRIBADO: 0-10; 10-40; >40

(La fracción 0-10 se incorpora a la tolva de mezcla donde se genera el producto)

Fracción > 40 mm

- RECIRCULACIÓN AL COMIENZO DE LA LÍNEA: Trituración

Fracción 10-40 mm

- SEPARACIÓN DE LIGEROS: Ciclón
- SEPARACIÓN MAGNÉTICA
- SEPARACIÓN DE LIGEROS: Ciclón
- CRIBADO: 0-20; 20-40

(La fracción 0-20 se incorpora a la tolva de mezcla)

Fracción 20-40 mm

SEPARACIÓN POR INFRARROJOS: Separación de metales no férricos y yeso (Figura 66).

- LAVADO: Sistema de lavado por gravedad

Productos utilizados en el proyecto: agregado reciclado 0- 40 mm



Figura 66. Sistema de separación automática por infrarrojos (separación de yesos y metales en el proceso de reciclaje de RCD)

Se infiere, así, el elevado nivel tecnológico de las plantas de tratamiento a fin de garantizar calidades superiores para uso en obra civil y edificación.

Con todo, los RCD siguen siendo objeto de nueva investigación y desarrollo a fin de alcanzar mayor pureza en la clasificación y recuperación de minerales. Algunos ejemplos de nuevos prototipos tecnológicos se ilustran a continuación:

- Separación simultánea de fracción concreto, cerámica e impurezas basada en el análisis de imágenes híper-espectrales en tiempo real:

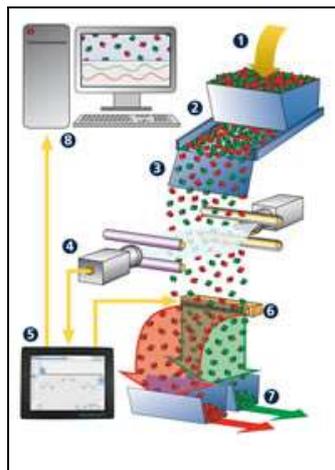


Figura 67. Separación automática basada en tecnología híper-espectral capaz de separar al mismo tiempo concreto, cerámicos e impurezas

- Liberación selectiva de pasta de cemento de agregado en fracciones de concreto reciclado mediante tecnología Heating Air Classification (HAS, Figura 68). Mejora la calidad de la

fracción fina reciclada, amén de aprovechar la pasta de cemento como adiciones a nuevo concreto con la correspondiente reducción de huella de carbono.

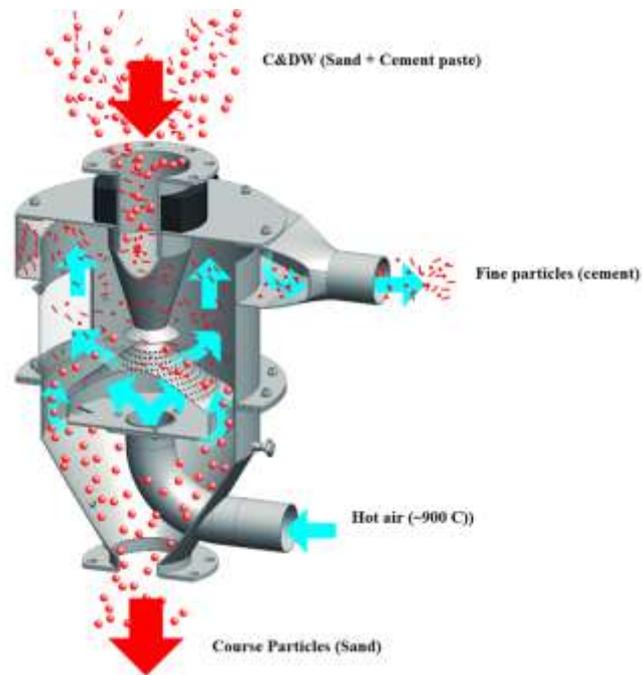


Figura 68. Tecnología Heating-Air classification System (HAS) by TuDELFT

11.2.6. Fomento del uso material de agregados reciclados de RCD

Los instrumentos desplegados para fomentar el uso de los agregados reciclados son:

- ORDEN de 12 de enero de 2015, de la Consejera de Medio Ambiente y Política Territorial por la que se establecen los **requisitos medioambientales para la utilización de los agregados reciclados** procedentes de la valorización de residuos de construcción y demolición.

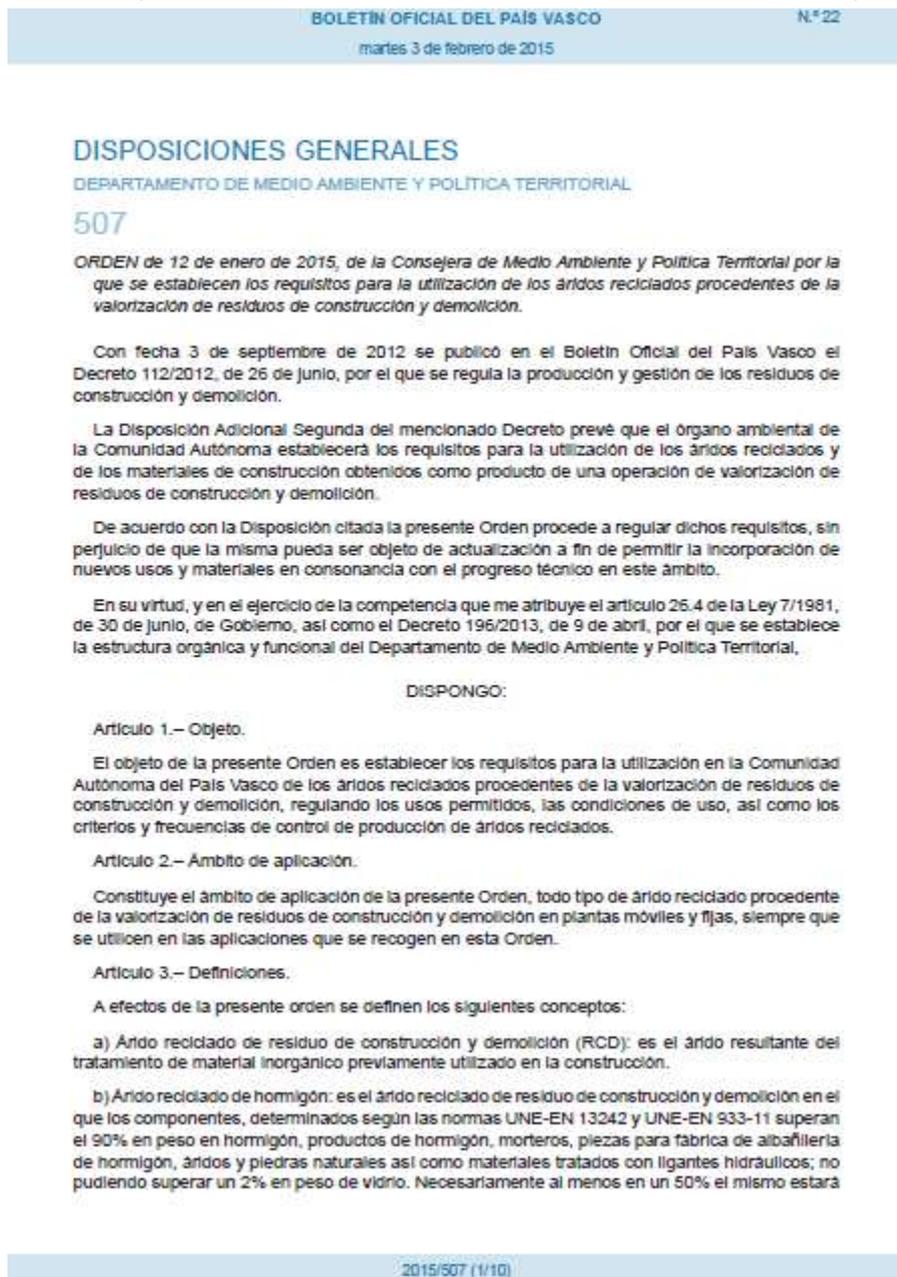


Figura 69. Portada de la Orden 507 de 2015: regulación de uso de agregados reciclados

- **Colaboración interdepartamental, dentro del GV, para regular el uso de agregados reciclados en carreteras.** Norma de Dimensionamiento de Firmes de Carreteras del País

Vasco (Figura 70), que en su actualización de 2012, incluye anexos específicos que regulan y normalizan el uso de agregados reciclados de RCD.

ANEJO 5. ÁRIDOS PROCEDENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN PARA ZAHORRAS

DEFINICIÓN

Árido reciclado de RCD (Residuo de Construcción y Demolición) es el resultante del tratamiento de material inorgánico previamente utilizado en la construcción.

Se define como árido reciclado de hormigón AR-H, aquel árido reciclado de RCD en el que los componentes de los áridos gruesos (partículas retenidas por el tamiz de 4 mm UNE), determinados estos según las normas UNE-EN 12620 y UNE-EN 933-11, cumplen con los límites establecidos en la Tabla A5.1.

Tabla A5.1 Categoría de los componentes de la fracción gruesa

TIPO DE ÁRIDO	Componentes (UNE-EN 12620)					
	R_{cl}	$R_{cs} + R_{cu} + R_{cv}$	R_{cl}	R_{cs}	FL	X
AR-H	≥ 50%	≥ 90% ¹⁾	≤ 10%	≤ 10%	≤ 5 cm ³ /kg	≤ 1% ²⁾

¹⁾ Porcentaje de vidrio inferior o igual al 2% ($R_{cl} < 2\%$)

²⁾ Porcentaje de yeso inferior al 0,8% y contenidos en impropios de madera, papel, cartón o restos orgánicos inferior al 0,8%.

Donde:

R_{cl} = Hormigón, productos de hormigón, morteros, piezas para fábrica de albañilería de hormigón

R_{cs} = Áridos y piedras naturales y áridos tratados con ligantes hidráulicos

R_{cu} = Vidrio

R_{cv} = Materiales cerámicos de albañilería de arcilla (adornos y tejas) o de silicato de calcio, y hormigón celular no flotante

R_{cs} = Materiales bituminosos

FL = Material flotante

X = Impropios: madera no flotante, plásticos y caucho, yeso, metales ferrosos y no ferrosos, suelos y arcillas.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Se podrán utilizar como zahorras los áridos AR-H o combinaciones de estos con áridos naturales siempre que el material combinado cumpla las especificaciones del presente artículo y las del correspondiente artículo 510 del Pliego General de Prescripciones Técnicas para Obras de Carreteras y Puentes PG-3 en lo que no sean modificadas por este.

Los áridos reciclados de RCD se habrán sometido a un proceso de separación de componentes no deseados, machaqueo, cribado y eliminación final de contaminantes, de manera que se cumplan las cláusulas del presente artículo. El tratamiento podrá hacerse en centrales fijas o móviles.



Figura 70. Portada del Anejo 5 de la Norma de Dimensionamiento de Firmes de la Red de Carreteras del País Vasco que regula el uso de agregados reciclados en capas estructurales de carreteras

- **Acuerdos público-privados:** Acuerdo voluntario con sector del cemento para facilitar vía de valorización de RCD. Se acuerdan objetivos de viabilidad y valorización, los costes asociados a esas prueba a cargo de empresa. La Administración facilitaba las autorizaciones ambientales oportunas, apoyar económicamente estudios de caracterización concretos y compromiso de tomar medidas administrativas para garantizar el suministro continuado de material, evitando otros destinos ambientalmente menos sostenible.
- **Proyectos demostración** con diferentes propósitos:

ACTUACION	OBJETO	DIRIGIDO	IMPORTE €
Berringurumena	Proyectos colaborativos de innovación local (TRL 6-9)	Municipios	150.000
KLIMATEK, adaptación al cambio climático	Activar la innovación en cambio climático	RVCTI, municipios y empresas	200.000
Diseño excelente H2020, Life+ y ecodiseño	Acceder a financiación UE, CDTI, etc (lehendakaritza)	RVCTI, municipios y empresas	100.000
Proyectos de ecoinnovación	Proyectos innovadores del PCTI2020 (lehendakaritza)	RVCTI, municipios y empresas	500.000
P. Demostración economía circular	Proyectos innovadores cierre de ciclos (TRL 6-9)	Empresas	430.000
P. Demostración ecodiseño	Proyectos innovadores de producto/servicio (TRL 6-9)	Empresas	60.000
Compra innovadora interna	Proyectos innovadores PG Ihobe	Empresas de servicios avanzados	310.000
TOTAL			1.750.000

Figura 71. Cifras de apoyo a la eco-innovación y demostración de cierre de ciclos gestionados por IHOBE y Viceconsejería de Medio Ambiente

- **Compra Pública Verde:** Compromiso de todas las administraciones vascas (locales, forales y autonómicas) de consumo de agregados reciclados.

11.2.7. Instrumentos económico-financieros para fomentar la economía circular de RCD

Los principales instrumentos económico-financieros para fomentar la economía circular de los RCDs son:

- Desgravación fiscal por inversión en tecnologías limpias.
- Subvenciones en proyectos demostración de cierre de ciclos de RCD. Leer apartado anterior.
- Prohibición de vertido a toda fracción materialmente recuperable
- Interiorización de costos de precios de vertido de RCD.
- Otros: en debate: los productos recuperados y reciclados no contemplan IVA.

A continuación se amplía el instrumento de deducción fiscal que subyace tras el listado vasco de tecnologías limpias:

El Listado Vasco de Tecnologías Limpias de la Comunidad Autónoma del País Vasco consiste en una relación de equipos industriales alineados de acuerdo con las políticas de competitividad, medio ambiente y energía del País Vasco cuya adquisición conlleva la aplicación de una deducción fiscal del 30% del costo de inversión del equipo. La selección de tecnologías para su inclusión en el Listado Vasco de Tecnologías Limpias se realiza mediante prospección activa por parte del departamento del Gobierno Vasco competente en materia de medio ambiente, con la colaboración del departamento competente en materia de industria. Una vez seleccionadas las tecnologías con una metodología ad hoc, estas son evaluadas por el Comité Técnico integrado por representantes de las siguientes entidades:

- Viceconsejería de Medio Ambiente
- Sociedad Pública de Gestión Ambiental Ihobe
- Sociedad para la Promoción y Reconversión Industrial, SPRI
- Ente Vasco de la Energía
- Órgano de Coordinación Tributaria

Tras la evaluación, se realiza una propuesta de Listado propuesta que se publicará en el Boletín Oficial del País Vasco mediante la Orden correspondiente:

- Ventajas económicas y ambientales
- Los equipos del Listado de Tecnologías Limpias del País Vasco:
 - Contribuyen a mejorar los resultados energéticos y ambientales en el País Vasco.
 - Incrementan la eficiencia de los procesos industriales que se realizan en el País Vasco, especialmente de las Pymes.
 - Posibilitan un uso y gestión inteligente de las materias primas.
 - Impulsan la reutilización, reciclaje y valorización.
 - Tienen un impacto medioambiental global positivo
 - Tiene un grado de implantación iniciado, pero no plenamente consolidado en el sector propuesto, valorándose positivamente que el número de instalaciones potenciales a las que se podría transferirse la tecnología sea elevado.
 - Registran valores ambientales mejores que los establecidos por la legislación medioambiental en vigor.

Principalmente se trata de tecnologías de naturaleza preventiva frente a las de fin de proceso. Tienen un impacto ambiental global positivo para los diferentes aspectos ambientales (aire, agua, residuos, suelo, energía y ruido) y significativamente mejor que otras tecnologías disponibles. Desde un punto de vista legislativo, el Listado de Tecnologías Limpias del País Vasco se encuentra regulado por:

- Decreto 64/ 2006 de 14 de marzo. por el que se establece la regulación del Listado Vasco de Tecnologías.
- Orden de 13 de julio de 2016, de la Consejera de Medio Ambiente y Política Territorial, por la que se actualiza y aprueba el Listado Vasco de Tecnologías Limpias.

El Listado Vasco de Tecnologías Limpias 2016 incluye 92 tecnologías incorporadas a equipos, dirigidas a los sectores industriales ambientalmente prioritarios en la Comunidad Autónoma del País Vasco. Ej: Tecnología RFID para la gestión y recogida de residuos. La tecnología RFID es un sistema electrónico remoto de almacenamiento y recuperación de datos que usa dispositivos denominados etiquetas, tarjetas, o transpondedores RFID (tags RFID). El objetivo de la tecnología RFID es transmitir la identidad y características de un objeto (similar a un número de serie único) mediante ondas de radio. Las tecnologías RFID se agrupan dentro de las nombradas Auto ID (*automatic identification*, o identificación automática. Aplicación en el sector de: recogida, tratamiento y eliminación de residuos.

11.2.8. Control y seguimiento

A fin de garantizar que las obligaciones establecidas en Decretos y Órdenes se cumplan, la Viceconsejería de Medio Ambiente viene desplegando y reforzando los siguientes instrumentos de control y seguimiento:

- **Inspecciones:** Cuerpo de 1 persona formada a dedicación exclusiva para RCD. Cada año hay un programa de inspección anual en el que se marcan corrientes de control prioritarias. En los últimos años ha sido prioritario los RCD. Alcance: demolición de edificios e infraestructuras-correcta segregación; transporte y deposición del RCD, por ley no se puede depositar el RCD y hay mucha deposición ilegal en vertederos ilegales, máximo en un contexto de reducción de la actividad de construcción (período 2010-2015); a las plantas de reciclaje de seguimiento y renovación para controlar que la calidad ambiental de los productos cumple la Orden específica y correcta segregación de productos.
- **Otros:** trabajar con el cuerpo de policía para que tengan criterios de vigilancia y expidan de oficio una denuncia; delegar la parte de inspección en empresas acreditadas

11.2.9. Aspectos sociales

Algunos aspectos sociales ligados a gestión de RCD:

- **Seguridad:** Desamiantado en la etapa de deconstrucción y equipos radiactivos. Segregación regulada con protocolos estrictos de seguridad laboral.
- **Formación.** Jornadas monográficas de una mañana con sectores implicados (colegio de arquitectos, clúster de gestores de RCD) con otras administraciones (con departamentos de urbanismo y obra pública para temas de fianzas, demolición selectiva y uso de agregados reciclados en el entorno urbano).
- **Generación de empleo de baja cualificación** en acciones de demolición selectiva y segregación en plantas de tratamiento de RCD
- **Fomento de empleo de alta cualificación en I+D** para nuevas tecnologías y servicios de eco-innovación. Apoyo específico presupuestario desde el GV en torno a 1,75 M€ (ver desglose en la tabla superior)

11.2.10. Estimación de dotación económica a la corriente de RCD

Se estima que la dotación económica anual para planificación, inspección, estudios externos y seguimiento para la corriente de RCD asciende a **160.000 €/año**. Esta cifra es equivalente a **3 personas a dedicación completa, a la que se suma una partida de 40.000 €/año** de contratación de estudios específicos. El apoyo a actividades de I+D+i relacionadas con los RCD se excluyen de esta estimación. Las subvenciones a proyectos de I+D+i es variable a lo largo del tiempo en función de prioridades y concurrencia de las empresas.

11.2.1. Conclusiones relativas al cierre de materiales de RCD en el País Vasco

De lo expuesto en el presente apartado, se pueden destacar las siguientes singularidades:

- La gestión de residuos industriales y de construcción es **competencia del Gobierno Vasco, a través de su Consejería de Medio Ambiente, Planificación Territorial y Vivienda**; concretamente, en la Viceconsejería de Medio Ambiente. Planificación y Medio Ambiente suelen coincidir dentro de la misma cartera durante las últimas legislaturas. Este hecho coadyuva a orientar, de forma, más armonizada los objetivos de economía circular y acciones estratégicas.
- La **ordenación de la oferta** de recursos de RCD a partir de una correcta gestión de residuos en el País Vasco ha necesitado, **aproximadamente 15 años**, para alcanzar porcentajes de recuperación de recursos superiores al 50%. Sin embargo, **la gran asignatura pendiente, en la actualidad, es impulsar el cierre de ciclos (estimular la demanda) de dichos materiales recuperados** en la industria de fabricación de materiales de construcción o en las propias actividades público-privadas de construcción.
- Los principales de gobernanza de la gestión de residuos y cierre de ciclos de los materiales asociados economía circular pivota sobre los siguientes instrumentos clave: instrumentos legislativos, planificación, económico-financieros incluidos paquetes relevantes de fomento del ecodiseño e ecoinnovación, acuerdos público-privados de diferente índole dirigidos a la mejora continua de gestión y cierre de ciclos de diferentes fracciones, así como un paquete de control y seguimiento. Todos estos instrumentos están completamente desplegados en la actualidad en forma de planes, Decretos y normas, infraestructuras, mercado creciente y conocimiento específicos que apuntan a mejorar la prevención, eficiencia de recuperación, mejora tecnológica asociada y estímulo mayor del mercado (el mayor de los retos para los próximos años).

11.3. E3: El 2: Cierre del ciclo de los plásticos en los Países Bajos (Europa)

Los plásticos son una amplia familia de recursos materiales eficientes derivados de productos orgánicos tales como la celulosa, el carbón, el gas, sales y, por supuesto, del crudo de petróleo. A nivel global el uso de plásticos se ha multiplicado por 20 en los últimos cincuenta años, y se prevé que el uso de los plásticos se duplique de nuevo en los próximos veinte años. La producción mundial de plásticos fue de 322 millones de toneladas en 2015 (PLASTICS EUROPE, 2016), de las cuales el 18,5% se producen en Europa. La mayoría de los plásticos se utilizan para fabricar envases, de hecho, en Europa los plásticos para envases representan casi el 40% del total. Esta tendencia creciente en el uso de los plásticos es debida al aumento enorme de sus aplicaciones: industria, envasado de alimentos, automoción, construcción, sector eléctrico-electrónico, bienes de consumo, hogar, etc.

Un desafío importante con respecto a los plásticos es la reducción de la dependencia de los recursos. Los plásticos convencionales proceden de fuentes fósiles, sin embargo, como alternativa cada vez se comercializan más bioplásticos (plásticos biodegradables y plásticos procedentes de fuentes renovables).

Otro problema asociado al uso extendido de los plásticos es la generación de grandes volúmenes de residuos plásticos. Los plásticos necesitan mucho tiempo para degradarse, o incluso, apenas se degradan. Si los residuos plásticos acaban en el medio acuático, se degradan gradualmente hasta convertirse en partículas cada vez más pequeñas. Estas partículas, que pueden atraer toxinas,

afectan a los ecosistemas (por ejemplo, a las aves y los peces), por lo que es necesario reducir la cantidad de residuos plásticos que acaban a la deriva en los ecosistemas acuáticos (ríos, lagos y mares).

Para hacer frente a los problemas ambientales asociados a los residuos plásticos, el 2 de diciembre de 2015, la Comisión Europea estableció un plan de acción y un paquete de propuestas legislativas para pasar de "Residuos" a "Materias primas" (from Waste to Raw Materials) y para impulsar la Economía Circular. Los Países Bajos quieren contribuir a la realización de este programa y, con este fin, han puesto en marcha actividades en el programa del Gobierno.

11.3.1. Descripción básica de los Países Bajos

Los Países Bajos (en neerlandés: Nederland) es un país miembro de la Unión Europea (UE) desde 1958, cuya capital es Amsterdam. Las provincias que conforman los Países Bajos están situadas en el noroeste de Europa y limitan al norte y oeste con el mar del Norte, al sur con Bélgica y al este con Alemania. Con frecuencia, el país es conocido por el nombre de su región histórica más influyente, Holanda, situada en la parte occidental del país. Abarca una superficie de 41.542 km², con una población de casi 17 millones de personas en 2016, correspondiente al 3,3% de la población total de la UE. El Producto Interior Bruto (PIB) de los Países Bajos fue de 697.219 millones de euros en 2016.

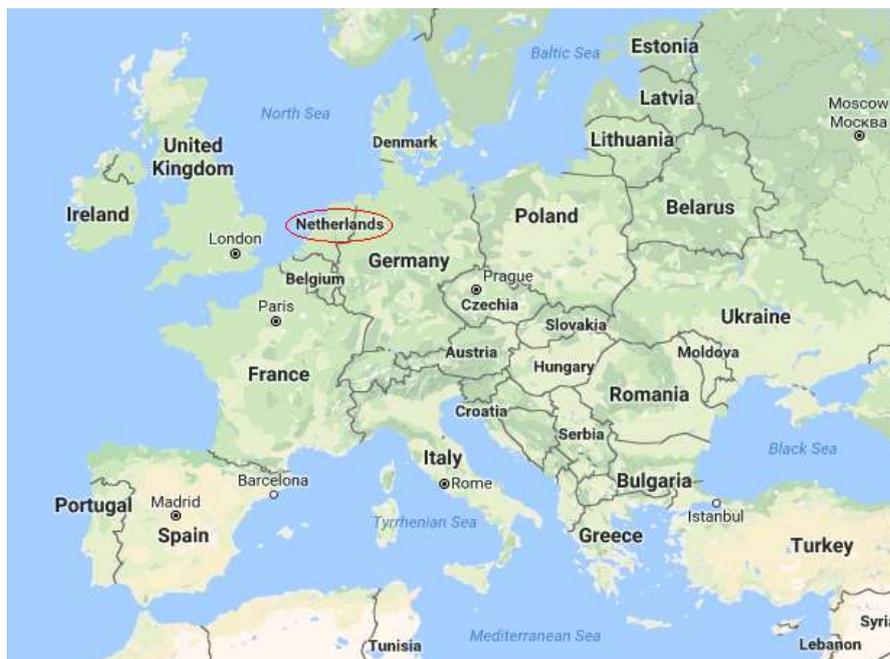


Figura 72 Situación geográfica de los Países Bajos (Europa).

11.3.2. Sistema de gestión de los residuos en los Países Bajos

- Política de gestión de residuos

La actual política de gestión de residuos en los Países Bajos³⁸ se basa en prevenir la generación de residuos. Cuando no se puede evitar generar los residuos, los materiales se reciclan, y los residuos no

³⁸ <http://earth911.com/earth-watch/trash-planet-the-netherlands/>

reciclables se eliminan por medios medioambientalmente aceptables. Los pilares de esta política son:

1. La jerarquía de eliminación de residuos

Las ideas principales de las políticas de residuos en los Países Bajos están representadas en un modelo de jerarquía (Waste Disposal Hierarchy), comúnmente denominado por los holandeses Landlink's Ladder. La escalera de Landlink aplica niveles de la importancia a cinco componentes principales de la gestión de residuos: Prevención, Reutilización del producto, Recuperación de residuos, Incineración y Vertido.



Figura 73 Jerarquía de residuos.

El modelo sirve como una guía para las técnicas de gestión de residuos y coloca la prevención en la parte superior de la jerarquía para evitar la producción de residuos lo máximo posible. De hecho, este modelo se contempla en la Directiva Marco de Residuos de la Unión Europea³⁹. El segundo y el tercer componente de la jerarquía son la reutilización y reciclaje del producto. Estos componentes incluyen el embalaje y la reutilización de materiales y el uso de los residuos como combustibles.

El cuarto en la jerarquía es la recuperación, que incluye la incineración de los residuos con valorización energética. Todas las plantas de incineración de residuos de los Países Bajos producen energía para la generación de electricidad, calor o vapor industrial. Por último, la eliminación (vertedero o incineración sin recuperación energética) es la opción que hay que tratar de evitar según esta jerarquía. Los residuos en los Países Bajos sólo se envían al vertedero después de haberse agotado todas las demás opciones de la escalera Landlink.

2. Estándares de tratamiento de residuos

Los Países Bajos aplican normas estrictas para la eliminación de los residuos y una serie de regulaciones para:

- Controlar la contaminación del suelo y las aguas subterráneas en los vertederos.

³⁹ Directive 2008/98/EC on waste (Waste Framework Directive).

-
- Las emisiones atmosféricas en la plantas incineradoras, la construcción de las plantas y el propio proceso de incineración.
 - Prohibición de verter 35 corrientes de residuos.
 - No se permite verter residuos que puedan ser recuperados o incinerados, como residuos domésticos, residuos orgánicos, residuos plásticos y residuos de demolición.
 - Se han establecido ciertas normas medioambientales para garantizar la calidad de las materias primas secundarias elaboradas a partir de residuos, que son utilizadas para materiales de construcción, combustibles y fertilizantes.

3. Planificación: Plan Nacional de Eliminación de Residuos

El Consejo de Consulta de Residuos de los Países Bajos (The Netherlands' Waste Consultation Council) se estableció en 1990 para ayudar a implantar las políticas de gestión de residuos a nivel nacional. Está integrado por el gobierno nacional, las provincias y los municipios, y estableció diversos programas y directivas con el objetivo de convertir a los Países Bajos en uno de los países más sostenibles de Europa para el año 2020 y totalmente sostenible para 2050.

Se establecieron los requisitos de reciclaje para las diversas corrientes de residuos, se impusieron tasas para los residuos eliminados y se crearon incentivos para fomentar métodos alternativos para la gestión de residuos. El Parlamento holandés trabaja junto con la industria y las organizaciones para alcanzar objetivos medioambientales y llegó a un acuerdo con el sector industrial y energético sobre el comercio de derechos de emisión. La política actual trabaja para lograr una reducción del 30% de las emisiones de gases de efecto invernadero para 2020, respecto a los niveles de 1990.

4. Responsabilidad del Productor

La responsabilidad de los productores se traduce en dar a los productores e importadores la responsabilidad de encontrar métodos sostenibles, no sólo para la fabricación de bienes, sino también para el envase y embalaje de esos bienes. A menudo, ciertos productos llevan incluido en su coste una tasa para la gestión de los residuos. Los siguientes productos deben tener asociados un sistema de recogida y reciclaje en su fase de fin de vida:

- Materiales de construcción plásticos
- Equipos eléctricos y electrónicos
- Vehículos fuera de uso (VFU)
- Neumáticos
- Baterías
- Envase y embalaje

5. Instrumentos de Prevención y Regulaciones para el reciclaje

Los Países Bajos ofrecen **sistemas de recogida de basura innovadores y adecuados**, la imposición de la tasa de vertido e incentivos como la tasa de residuos en función del volumen.

Los residuos domésticos se recogen por separado, en diferentes corrientes como residuos orgánicos, papel y cartón y pequeños residuos químicos. Cada municipio está obligado a ofrecer un **sistema de recogida de basura doméstica** y a establecer lugares para depositar residuos (puntos limpios).

Algunos municipios ofrecen **sistemas de tasas** basadas en el volumen de residuos, o tasas de residuos variables (variable-waste charging). Esto significa que los hogares en vez de pagar una tarifa fija, pagan por la cantidad de residuos recogidos.

En muchas ciudades de los Países Bajos gestionan los residuos con **sistemas de pago por uso (PAYT: pay-as-you-throw)**. Por ejemplo, los residentes de la ciudad de Maastricht compran bolsas de plástico en función de la cantidad de residuos que esperan generar. Cuanto mayor sea la cantidad de residuos, mayor será la bolsa, y cuanto mayor sea las bolsas más cuesta. Este sistema parece funcionar, ya que desde la introducción del programa, la tasa de reciclaje de la ciudad ha aumentado del 45% al 65%.

11.3.3. Planificación histórica de los residuos plásticos

- **Generación de residuos plásticos y su gestión**

En los Países Bajos, se consumen 1,8 millones de toneladas de plástico, mientras que se producen alrededor de 5 millones de toneladas cada año, lo que constituye la base para la fuerte posición exportadora de polímeros y de la industria química del país.

En 2014, en los Países Bajos se generaron unas 385 mil toneladas de residuos plásticos⁴⁰. En relación a la gestión de los residuos plásticos en los Países Bajos, los sistemas de recogida de residuos comerciales y domésticos funcionan bien, al igual que otros programas como "Nederland Schoon" (Keep the Netherlands Clean). En los Países Bajos, una gran cantidad de residuos se recoge, se incinera con recuperación de energía o se recicla. Sin embargo, estos sistemas y campañas son incapaces de evitar que una parte relativamente pequeña de los residuos acabe depositado en el medio ambiente.

Se ha llegado a un consenso en Europa y en los Países Bajos sobre la importancia de reutilizar los plásticos. De hecho, en los Países Bajos el vertido de residuos combustibles, como los plásticos, está prohibido desde hace muchos años; de forma que se redujo el vertido de residuos a favor de la incineración con recuperación de energía. Con alrededor del 95% de reutilización o recuperación de energía, en 2014 los Países Bajos ocupan el tercer lugar de los 30 en Europa (PLASTICS EUROPE, 2016). Este es un buen punto de partida, pero la disminución en la recuperación de energía a favor del reciclaje físico y químico está ofreciendo una nueva perspectiva operativa sobre cómo conseguir cerrar el ciclo del plástico.

⁴⁰ Fuente: Eurostat.

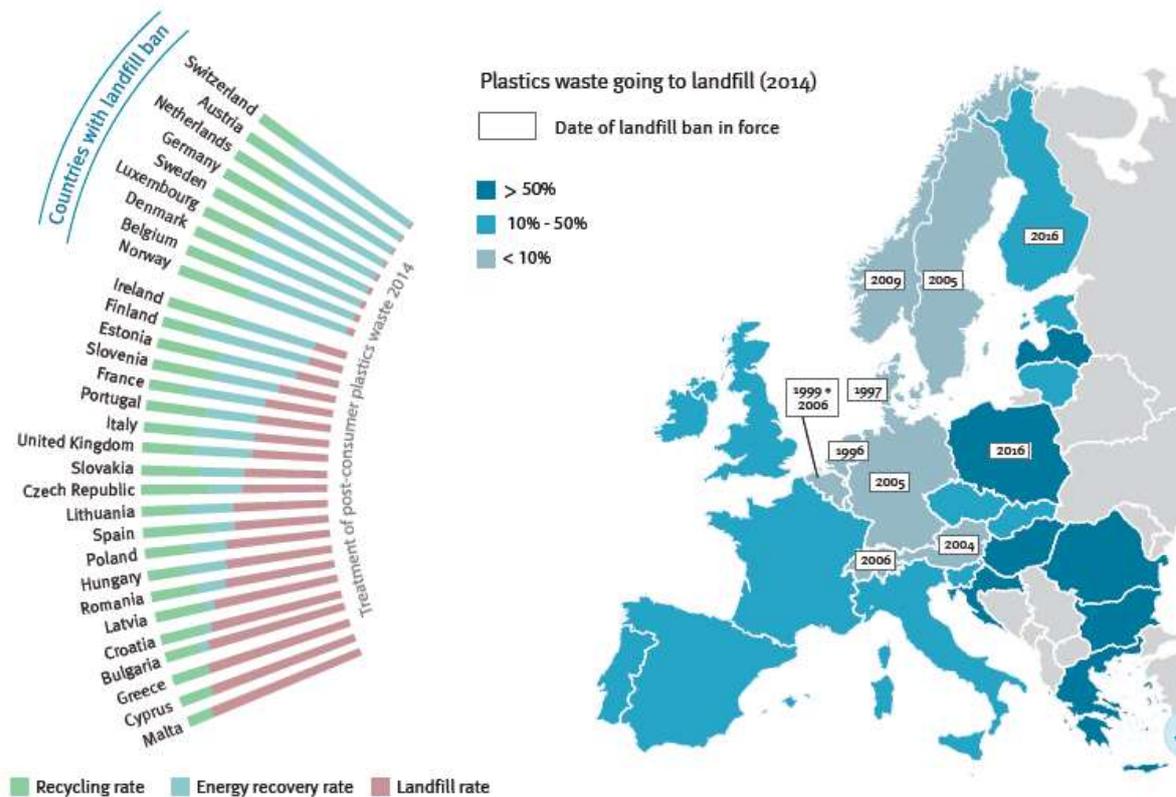


Figura 74 Tratamiento de los residuos plásticos en Europa en 2014 (Fuente: Plastics Europe 2016).

En los Países Bajos el reciclaje de plástico se queda atrás comparado con el reciclaje de otros flujos de materiales. Sólo el 34% de todos los plásticos fueron reciclados en 2012. En los últimos años se ha observado una mejora en el reciclaje de los envases de plástico desechados, de un 42% en 2012 a un 50% en 2014, y se ha fijado como objetivo para 2017 llegar a reciclar el 52%. Actualmente se recicla un 40% del total de los residuos plásticos.

11.3.4. Tecnologías de reciclaje y valorización de plásticos en Europa

- **Tecnologías de separación y reciclaje**

En Europa actualmente se utiliza una amplia gama de tecnologías para el pretratamiento y clasificación de residuos. Estos van desde el desmontaje manual hasta procesos automatizados tales como trituración, tamizado, separación por densidad, separación magnética y tecnologías de clasificación espectrofotométricas altamente sofisticadas (UV / VIS, NIR, Laser, etc.). Las modernas plantas de pretratamiento y clasificación son a menudo infraestructuras complejas que aplican varias de estas tecnologías que han sido adaptadas a flujos de residuos específicos con el fin de alcanzar un rendimiento óptimo, siendo económicamente viables. Se pueden llegar a procesar más de 100.000 toneladas anuales de residuos plásticos. En el caso de algunos materiales plásticos específicos, se pueden obtener residuos clasificados con una pureza superior al 95%.

Las tecnologías convencionales de separación, como los separadores de Foucault, la separación densimétrica en vía seca o húmeda, la separación en medios densos, la separación electrostática o la separación magnética se basan en la diferencia de propiedades físicas como la densidad, la

susceptibilidad magnética, la conductividad eléctrica, etc. Estos sistemas en general se aplican a la separación metal – no metal, metal – metal, plástico – plástico o plástico – no plástico. Los sistemas convencionales son tecnologías maduras y pueden separar y/o concentrar metales y plásticos de mezclas.

Tecnología	Equipo	Tipo de separación
• Separación por densidad en vía seca	• Mesa densimétrica de aire • Separador de aire	• Metal / No metal • Plástico / No plástico
• Separación por densidad en vía húmeda	• Mesa densimétrica de agua • Balsas	• Metal / No metal • Plástico / plástico • Plástico / No plástico
• Separación por medios densos	• Separador de medios densos	• Metales ligeros / Otros metales (no féreos) • Metales ligeros / No metal
• Separación electrostática	• Separador electrostático	• Metal / No-Metal
• Separación magnética	• Separadores de tambor • Separadores de banda	• Magnético / No magnético
• Separadores de Foucault	• Separador de Foucault	• No-Magnético (metales no féreos) / Otros metales o materiales
• Separación por tamaños	• Cribas • Ciclones • Molinos	• Por tamaños • Eliminación de finos

Tabla 107 Tecnologías de separación convencional y equipos

Los métodos de separación basados en identificación por visión artificial o sensores, que están en continua evolución, permiten clasificar materiales por tipos de acuerdo a características como su composición elemental y tratar con elementos con tamaños de partícula cada vez más pequeños. Algunas técnicas de identificación, como XRF o SSS están disponibles en equipos portátiles y permiten una detección muy rápida de los elementos (XRF, SSS) en muestras de materiales sin hacer ninguna preparativa y apoyar la clasificación manual.

Tecnología	Tipo de separación
• Fluorescencia de rayos-X (XRF)	• Metales por aleación
• Transmisión de rayos-X (XRT)	• Metales entre sí
• Espectroscopía de plasma inducido por láser (LIBS)	• Metales por aleación
• Sensores de inducción	• No magnético (metales no féreos) / Otros
• Infrarrojo cercano (NIR)	• Plástico / Plástico • Plástico / Otros
• Visión artificial	• Partes con recubrimiento / Partes sin recubrimiento • Metales / Impurezas

Tabla 108 Tecnologías de identificación/separación avanzada

- Técnicas de visión artificial: son equipos que permiten adquirir imágenes y determinar de modo instantáneo una vez programados si los colores y/o formas de los materiales cumplen

con unas determinadas referencias que decidir sobre su recuperación o rechazo. Estos equipos constan de una unidad de control programable, una cámara y una fuente de iluminación además de accesorios menores como soportes y cables.

- Sensores de inducción: se basan en las diferencias de conductividad eléctrica de los materiales. Los sensores se colocan en una cinta o en un conducto y emiten ondas electromagnéticas. Los materiales que pasan junto a los sensores cambian el campo electromagnético y las diferencias de señal se detectan y procesan mediante un ordenador (PC) o un controlador lógico programable (PLC). Teóricamente es posible clasificar metales por esta técnica, pero en la práctica es muy difícil y limita sus aplicaciones a la separación de metales en una corriente de no metales. Es habitual encontrar esta tecnología combinada con otras como la tecnología NIR porque permite ampliar la capacidad de clasificación tratando diferentes familias de materiales en una sola unidad.
- Técnicas instrumentales: existe una gran variedad de equipos de identificación y separación de materiales basados en métodos ópticos y espectroscópicos disponibles en el mercado. Las técnicas basadas en la espectroscopia de infrarrojo (NIR, MIR, etc.) son las técnicas analíticas más ampliamente empleadas para la identificación de diferentes tipos de polímeros y en algunos casos diferentes tipos de aditivos. Otras técnicas espectroscópicas más novedosas, como la SSS (Sliding Spark Spectrometry) o espectroscopía de chispa, la XRF (X-Ray Fluorescence) o fluorescencia de rayos-X y la LIBS (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy), pueden identificar sustancias y elementos.



Figura 75 Equipo de LIBS portátil MATECH (izquierda) y equipo LIBS de laboratorio FiberLIBS (derecha)

Combinando diversas técnicas se consigue la correcta separación de los plásticos de otras corrientes no plásticas (p.e.: Plásticos-metales), y su posterior clasificación por tipo de polímero.

- **Recuperación energética**

La recuperación de energía es una técnica complementaria al reciclaje, y a día de hoy es la solución más eficiente y sostenible comparada con el vertido o incluso con el reciclado para aquellas fracciones de residuos ricas en plásticos que no pueden reciclarse de manera sostenible (ej.: corrientes procedentes de residuos de vehículos fuera de uso, de productos electrónicos, etc.).

No todos los plásticos se pueden reciclar en condiciones sostenibles ya que su reciclabilidad está influenciada por diversos factores tales como:

- la composición de los productos
- la cantidad, el grado de limpieza y la composición de las corrientes de residuos

- las tecnologías disponibles para la clasificación
- requisitos del mercado respecto a la calidad del material reciclado que pueden limitar la idoneidad del reciclaje de plásticos.

Las modernas plantas combinadas de recuperación de calor y energía (plantas CHP) utilizan residuos plásticos junto con otros materiales de alto poder calorífico, proporcionando una fuente valiosa de calor y energía que puede llegar a representar hasta un 10% de las necesidades energéticas de algunos países de la UE. Además, los plásticos que contienen combustible sólido recuperado (SRF: Solid Recovered Fuel) son cada vez más utilizados en las centrales térmicas, así como un número de industrias intensivas en energía (cemento y hornos de cal), sustituyendo así al combustible fósil virgen. Todos estos procesos de recuperación de energía utilizan las mejores tecnologías disponibles para asegurar que las instalaciones son seguras, responsables y eficientes.

11.3.5. Programa de Economía Circular en los Países Bajos: Plásticos

Los Países Bajos han adoptado un programa gubernamental para desarrollar e impulsar una economía circular “A Circular Economy in the Netherlands by 2050”⁴¹ en el país, para lo cual se plantean una serie de medidas que favorezcan la transición desde la actual economía lineal⁴²:

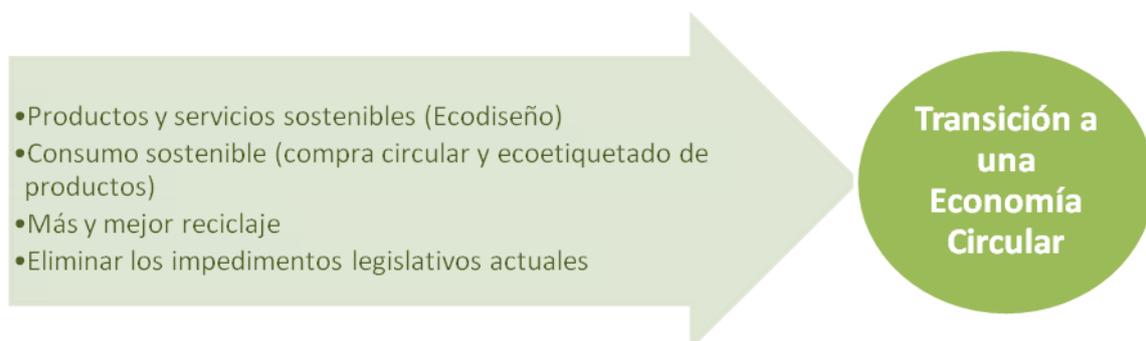


Figura 76: Medidas que favorecen la transición a una economía circular

Instrumentos del Gobierno de los Países Bajos para apoyar la Economía Circular

- Establecer legislación y regulaciones adecuadas
- Incentivos de mercado (reembolso de la inversión ambiental, mayor depreciación de las inversiones ambientales)
- Financiar la innovación
- Fomentar el conocimiento e investigación
- Acuerdos Verdes con el sector privado (Cooperación público-privada)
- Cooperación internacional

⁴¹ A Circular Economy in the Netherlands by 2050. Government-wide Programme for a Circular Economy. September 2016.

⁴² Strategies of Circular Economy in the Netherlands. Herman Huisman. Ministry of Infrastructure and Environment, RWS. Netherlands circular in 2050. Presentation in Conama-Madrid (2016).

Figura 77: Instrumentos del Gobierno de los Países Bajos para apoyar la Economía Circular

El programa de Economía Circular de los Países Bajos fijó los siguientes objetivos en 2016:

- ✓ 100% Economía Circular en los Países Bajos en 2050.
- ✓ Reducir un 50% el uso de materias primas primarias (minerales, fósiles y metales) para el año 2030, mediante la reducción, reciclaje, cambio a bioplásticos y fuentes sostenibles.
- ✓ Acuerdo de Materias Primas con la industria
- ✓ Plan de Acción de Transición para 5 materiales prioritarios: biomasa y alimentos, **plásticos**, industria, sector de la construcción y bienes de consumo.

Por tanto, **el cierre del ciclo de los plásticos está considerado como una de las prioridades del programa gubernamental para desarrollar una Economía Circular en los Países Bajos**. El plástico reciclado puede y debe utilizarse de manera más eficiente y en mayor escala en todo el mercado. Una gran cantidad de residuos plásticos siguen siendo incinerados o exportados, lo que genera una pérdida considerable de valor y un fallo en el cierre del ciclo. Además, el desarrollo del mercado de plásticos reciclados sigue creciendo, donde las corrientes de plásticos puros (particularmente, PE, PP, y PET) tienen un valor positivo, y su recogida y reciclaje pueden ser rentables. Sin embargo, existen ciertas limitaciones que no favorecen el cierre del ciclo de los plásticos. Por un lado, el reciclaje de corrientes mixtas y laminados todavía no es rentable, y todavía tampoco se dispone de buenos y rentables métodos de reciclaje de composites (poliéster reforzado con fibra, etc.). Por otro lado, todavía parece ser difícil proporcionar a los clientes de la cadena de valor una garantía de calidad suficiente del producto plástico reciclado ("grados" de calidad).

El programa de Economía Circular en los Países Bajos contempla la siguiente **visión para el año 2050 para los plásticos**:

- ✓ Se utilizarán plásticos 100% renovables (reciclados y bioplásticos) sin ningún impacto perjudicial sobre el medio ambiente, siempre que sea técnicamente factible.
- ✓ Los plásticos conservarán su valor, y los productos plásticos serán diseñados de manera circular sin depender de los recursos fósiles para su producción.
- ✓ Se reducirán las emisiones de CO2 drásticamente.
- ✓ La basura plástica se evitará eficazmente.
- ✓ Existirán nuevos mercados para el reciclaje innovador de plásticos, empresas de bioplásticos, modelos de negocio circulares y un mercado sólido para los plásticos reciclados.
- ✓ Se establecerán colaboraciones internacionales para cerrar la cadena de valor de los plásticos en todo el mundo y contribuir a fortalecer el capital natural.

El programa de Economía Circular en los Países Bajos para el año 2050 ha establecido los siguientes **objetivos estratégicos** para cumplir con esa visión a nivel nacional y a escala internacional:

- Los productos de plástico están diseñados de tal forma que permitan la reutilización y reciclaje de alta calidad una vez se conviertan en residuos.
- Los materiales plásticos se deben utilizar lo más eficientemente posible en las cadenas de valor, lo que reducirá la necesidad de materias primas y la prevención de "fugas" en el ciclo.

- Optimización del uso renovable de los flujos de material plástico, mediante el uso a gran escala de plásticos reciclados y bioplásticos, haciendo uso de plásticos biodegradables en situaciones específicas en las que dichos plásticos han añadido valor para la economía circular.

Para conseguir estos objetivos del Programa de Economía Circular de los Plásticos se están realizando una serie de esfuerzos y acciones específicas (ver Tabla 109).

ESFUERZOS EN CURSO	OBJETIVOS
✓ Programa VANG [From Waste to Resources]: medidas para el cierre del ciclo de los plásticos	Aumentar la proporción de envases plásticos recogidos y reciclados
✓ Programas de innovación	Apoyar la innovación para lograr una producción comercial a gran escala de plásticos renovables
✓ Acuerdo de la Cadena de Valor del Ciclo del Plástico (Plastics Cycle Value Chain Agreement 2013)	Crear un mercado sostenible para toda la cadena de producción y consumo de plásticos, desde las materias primas hasta los productos.
✓ Prohibición de dar bolsas de plástico gratuitamente	Reducir el consumo de bolsas de plástico, y prevenir y reducir la basura de plástico.
✓ Aplicación de la Directiva Marco de Estrategia Marina (KRM) y apoyo a ciertas iniciativas como "The Ocean Cleanup."	Limpiar y prevenir que los residuos plásticos se depositen en los océanos
✓ Monitorización de los flujos de plástico	Sistema de seguimiento de los flujos de plástico
ACCIONES	
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Fomentar el Ecodiseño ❖ Eliminar ciertos productos o componentes plásticos nocivos para el medio ambiente ❖ Innovación para cerrar el ciclo de la cadena de valor de los plásticos ❖ Fomento del uso de plásticos reciclados y bioplásticos ❖ Estudiar la implantación de incentivos fiscales ❖ Definir potenciales usos de los plásticos biodegradables ❖ Cierre del ciclo de los plásticos a nivel internacional 	

Tabla 109 Programa para fomentar la Economía Circular de los plásticos en los Países Bajos.

11.3.6. Esfuerzos en curso para la Economía Circular de los plásticos

Los Países Bajos se están llevando a cabo diversos esfuerzos para fomentar el cierre del ciclo de los plásticos y la Economía Circular en el país, entre los que destacan:

- **El Programa VANG y los plásticos:** En el marco del programa VANG [From Waste to Resources], se han adoptado medidas significativas en los últimos años hacia el cierre del ciclo de los plásticos. Bajo el "Raamovereenkomst Verpakkingen" II 2013-2022 (Acuerdo Holandés sobre Embalaje), se han obtenido notables resultados, con un considerable aumento de la actual proporción de envases plásticos recogidos y reciclados (50%).

-
- **Aumentar la producción de bioplásticos:** Los bioplásticos constituyen un creciente mercado internacional, en el que empresas holandesas se encuentran entre los líderes en su producción y transformación. Varios programas de innovación han apoyado la producción de bioplásticos, por ejemplo, el Programa Biobased Performance Materials y Raw Materials of the Water Boards, donde se está trabajando en bioplásticos (PHA) a partir de lodos de depuradora. El Gobierno holandés apoya que se establezca una producción a gran escala de plásticos renovables en los Países Bajos, y varios clusters químicos consideran que es una vía clave para mejorar la sostenibilidad del sector químico del país.

 - **Acuerdo de la cadena de valor sobre los ciclos plásticos:** En 2013, por iniciativa del Ministerio de Infraestructuras y Medio Ambiente, el gobierno de los Países Bajos llegó a establecer el Acuerdo de la Cadena de Valor de los Plásticos “**Plastics Value Chain Agreement**”, firmado por 55 partes interesadas (empresas de recogida selectiva de residuos plásticos, fabricantes de nuevos productos y ONGs). Este acuerdo tiene el objetivo de crear un mercado sostenible para toda la cadena de producción y consumo de plásticos, desde las materias primas hasta los productos, el uso de los plásticos por parte de las empresas y de los consumidores, y la reutilización de sus residuos. Desde entonces esta red ha crecido hasta agrupar a más de 90 socios en la actualidad, que comparten conocimiento y experiencias y buscan oportunidades de innovación, por ejemplo, a través de colaboraciones en proyectos relacionados con el uso de materiales reciclados y bioplásticos. Las partes interesadas también han elaborado conjuntamente guías para el diseño circular de los productos de plástico, que incluye, entre otras cosas, el uso de plásticos reciclados.

Este acuerdo une las actividades de todas las Partes, y busca los siguientes objetivos:

- Poner en el mercado productos más sostenibles (reducir, sustituir, rediseñar)
- Amplia implementación de modelos de ganancias sostenibles en la cadena de valor (modelos de negocio circular, renovar).
- Uso más sostenible de los productos y materiales (reducir, reutilizar)
- Más y mejor reciclaje (recogida, clasificación, procesado y reutilización de materiales).



Figura 78 Partes de la cadena de valor de los plásticos (Fuente: PlasticsEurope)

El ciclo de los plásticos se basa en la sostenibilidad de los procesos productivos, en la ingeniería y diseño del producto enfocada a la reutilización, en la recogida y clasificación de las corrientes de residuos plásticos de forma sostenible, y en la transformación física o química de los residuos en nuevas materias primas y productos de la mayor calidad posible. Todo ello favorecerá la posición competitiva de los Países Bajos, y persigue el objetivo de transformar la economía del país en una economía circular a través de una estrategia de crecimiento verde, evitando que materias primas y residuos plásticos terminen depositados en el medio ambiente. Para conseguir este objetivo, las partes de la cadena de valor de los plásticos han establecido una serie de acciones (ver **Tabla 110**).

Partes de la Cadena de Valor	Acciones
Industria de los productos plásticos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Desarrollo de productos más sostenibles y con una menor Huella de Carbono, mediante el Ecodiseño: <ul style="list-style-type: none"> • Sustitución de las materias primas procedentes de fuentes fósiles por bio-materiales • Aumento del contenido de material reciclado
Empresas recicladoras	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Inversiones para mejorar las instalaciones de clasificación y reciclaje
Cadena de valor	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Campaña e iniciativa ciudadana para fomentar la reutilización de las bolsas de plástico y disuadir de su uso innecesario ✓ I+D enfocada a: <ul style="list-style-type: none"> • reducir el uso innecesario de plástico en el packaging, a través del rediseño, de nuevas formulaciones (bio-polímeros) y de nuevos procesos • nuevos modelos de negocio para una futura recuperación efectiva del plástico dentro de la cadena

Tabla 110 Acciones que se desarrollan bajo el Acuerdo de la Cadena de Valor de los Plásticos.

- **Bolsas de plástico:** Desde el 1 de enero de 2016, en los Países Bajos está prohibido dar bolsas de plástico gratis⁴³. Esta prohibición ha sido implementada en el marco de una política que quiere reducir el uso de bolsas de plástico, siguiendo las directrices de la UE. A su vez, esta acción busca la prevención y reducción de la basura de plástico que acaba depositada en la tierra y en los océanos.
- **Basura plástica en los océanos:** Los esfuerzos para limpiar y prevenir la basura plástica en los océanos se sitúan en el marco del Programa de Medidas para la aplicación de la Directiva Marco de Estrategia Marina (KRM) y se apoyan activamente las acciones para recuperar el plástico de los océanos, como la iniciativa The Ocean Cleanup.
- **Monitorizar los flujos de plástico:** En 2016 se diseñó un sistema de seguimiento adecuado de los flujos de plástico (producción - uso - desecho - procesado), con el fin de poder llevar a cabo una discusión adecuada en los próximos años sobre el cierre del ciclo de los plásticos.

11.3.7. Acciones planificadas para cerrar el ciclo de los plásticos

Para la consecución de los objetivos planteados en el programa de Economía Circular, el gobierno de los Países Bajos ha fijado una serie de acciones concretas que ayuden a cerrar el ciclo de los plásticos:

Acción 1: Ecodiseño de los productos plásticos

El Gobierno de los Países Bajos se esfuerza por implementar “La Directiva europea de Ecodiseño” con el objetivo de aumentar el uso de plásticos reciclados, alargar la vida útil de los productos,

⁴³ <https://www.government.nl/topics/environment/ban-on-free-plastic-bags>

mejorar la reparabilidad de los productos plásticos y recuperar materiales de desecho. Algunas de las acciones que contemplan son:

- Desarrollar más sistemas de certificación CEN/ISO para plásticos reciclados, junto con el Instituto NEN, con el objetivo de establecer sistemas que avalen la calidad de los plásticos reciclados y de esta forma favorecer su uso en la cadena de valor.
- Fomentar que las empresas del sector de los plásticos incorporen los plásticos reciclados en el diseño.

Las bases y los resultados de estas acciones se difundirán a escala internacional para inspirar a otros países a iniciar proyectos similares.

Acción 2: Disminuir el uso de productos no reciclables

El Gobierno de los Países Bajos está elaborando una serie de instrumentos para eliminar productos o componentes plásticos nocivos para el medio ambiente, especialmente aquellos para los que ya se dispone de alternativas, por ejemplo, los envases superfluos o no reciclables (envase multicapa, para productos como las patatas fritas y la sopa). También trabaja con el Sustainable Packaging Knowledge Institute KIDV para desarrollar diseños de envases más circulares y sostenibles.

Acción 3: Innovación y tecnología

Innovaciones destinadas a cerrar el ciclo de la cadena de valor de los plásticos, dirigidas específicamente a fomentar la prevención de residuos, el ecodiseño de productos de plástico y el desarrollo de alternativas, el desarrollo de un sistema de control de calidad para los plásticos reciclados y para investigar en profundidad las posibilidades para el reciclaje:

- Reciclado mecánico: incorporando técnicas de visión artificial a las actuales tecnologías de separación para mejorar la clasificación de los plásticos y favorecer la obtención de fracciones plásticas recicladas con mayor grado de pureza.
- Reciclado químico: pirolisis, hidrocrqueo o hidrogenación, craqueo térmico, solvólisis u otras técnicas de despolimerización de los materiales plásticos.

Para impulsar y llevar a cabo estas acciones, se deben realizar esfuerzos para crear la cooperación y compromiso necesarios entre todas las partes de la cadena de suministro de los productos plásticos. Por ejemplo, el sector químico ha puesto en marcha el programa “Biobased Performance Materials”, donde empresas e institutos están trabajando en mejorar la calidad de los bioplásticos y aumentar su uso.

Acción 4: Uso de materiales renovables (reciclados y bioplásticos)

Cada vez más empresas productoras se involucrarán en el acuerdo de la cadena de valor de los plásticos, y aumentará la demanda de mercado de productos plásticos reciclados y bioplásticos (por ejemplo, productos con etiqueta ecológica). Además, si los gobiernos y las grandes las empresas productoras europeas apoyan la circularidad de los plásticos, se incrementará la demanda de este tipo de productos. En este sentido el gobierno de los Países Bajos ha establecido las siguientes acciones:

- ❖ Fomentará que las empresas internacionales con sede en Europa realicen adquisiciones circulares a nivel mundial.
- ❖ Pretende investigar, junto con el sector privado, hasta qué punto los plásticos renovables, reciclados y materiales biológicos pueden incorporarse en el proceso de producción. Se establecerán, junto con el sector de los plásticos, las posibilidades tecnológicas de uso de estos plásticos renovables.
- ❖ Considerar las diversas opciones para llegar a acuerdos que busquen lograr una conversión a plásticos biodegradables, tal como se solicitó en el Movimiento Van Gerven.
- ❖ Estudiar con las distintas partes si es adecuado establecer algún tipo de incentivo fiscal para las empresas que comercialicen productos que contengan materias primas plásticas renovables, diferenciando las tasas que actualmente se aplican al plástico de embalaje para pagar, entre otros, los costes de gestión de los residuos de plástico generados. Se evaluará, si el empleo de un incentivo fiscal aumentaría el uso y la demanda de materiales renovables.

Acción 5: Estudio sobre los potenciales usos de los plásticos biodegradables

El gobierno de los Países Bajos se está centrando en definir los potenciales usos de aquellos plásticos biodegradables que pueden ser compostados o fermentados en su fase de fin de vida, como por ejemplo, en la cadena alimenticia y el sector médico. Los plásticos biodegradables se utilizan cada vez más especialmente en los casos de alto riesgo para la ambiente.

Actualmente se está llevando a cabo un estudio sobre los plásticos biodegradables en relación con el mercado de reciclaje existente y futuro, en el que se tiene en cuenta la perspectiva del consumidor y la lucha contra la generación de basura plástica. En 2017, el Gobierno sacará conclusiones de dicho estudio sobre los bioplásticos que servirán como base para la Estrategia Europea de Plásticos que será presentada por la Comisión Europea a finales de 2017.

Acción 6: Cierre de la cadena de valor de los plásticos a nivel internacional

Los Países Bajos organizaron una conferencia sobre plásticos en 2016⁴⁴, con el objetivo de contribuir al desarrollo de la Estrategia Europea de plásticos, para compartir conocimientos y experiencias sobre innovaciones, reforzar las redes europeas y explorar maneras de cerrar el ciclo de los plásticos a nivel europeo y mundial. Un ejemplo es la Iniciativa Delta Urbano Limpio Rio de Janeiro⁴⁵, surgida a partir de la red de acuerdos de la cadena de valor de los plásticos. En los próximos años este enfoque integrado hacia la economía circular se llevará a cabo en otros deltas urbanos, como en Indonesia (2016).

11.3.8. Conclusiones relativas al cierre del ciclo de los plásticos en los Países Bajos

- Para aplicar la política europea dirigida a impulsar una Economía Circular, el gobierno de los Países Bajos ha establecido un programa gubernamental para favorecer la transición desde

⁴⁴ <http://www.kunststofkringloop.nl/eu-conference-on-plastics/>

⁴⁵

http://kunststofkringloop.nl/wp-content/uploads/2014/05/CleanCityDeltaRio_eng_web_full.compressed.compressed.pdf

la actual economía lineal a una economía circular, seleccionando 5 sectores prioritarios, entre los que se encuentran los plásticos.

- A nivel nacional se ha establecido un acuerdo entre las distintas partes interesadas de la cadena de valor de los plásticos en los Países Bajos, el denominado “Plastics Value Chain Agreement”, para impulsar el programa hacia una Economía Circular en el país y cumplir los objetivos planteados. Acuerdos como éste pueden aumentar las oportunidades para cerrar el ciclo de los plásticos, desarrollar perspectivas operativas con casos de negocios específicos y ayudar a eliminar obstáculos legales innecesarios.
- La transición a una Economía Circular en el sector de los plásticos implica:
 - Acciones y regulaciones para fomentar un consumo sostenible de los plásticos y evitar la generación de basura plástica (ej.: prohibición de las bolsas de plástico gratuitas).
 - Disminuir la cantidad de residuos plásticos que no se recuperan e introducirlos de nuevo en el ciclo, fomentando su recuperación, reciclaje y reutilización.
 - Aplicar el Ecodiseño a los nuevos productos plásticos, para obtener productos más sostenibles, fomentando el empleo de plásticos reciclados y bioplásticos, de forma que sustituyan a los plásticos procedentes de fuentes fósiles.
 - Apoyo financiero a la innovación dirigida a mejorar las tecnologías de separación y clasificación de las corrientes de residuos plásticos y a la investigación de las posibilidades del uso de los bioplásticos.
 - Mejorar la competitividad de los plásticos reciclados en el mercado (estándares de calidad).
 - Impulsar el cierre del ciclo de los plásticos a nivel internacional. Fomentar modelos de negocio circular.
 - Apoyo del Gobierno mediante, por ejemplo, la **Compra Pública Circular**. Esta debe ser entendida como un apoyo de los organismos públicos para la mejora de la eficiencia de los materiales, obligando o valorando positivamente la inclusión de determinadas cantidades de material reciclado, estudios de reciclabilidad, reversibilidad y vida útil en sus licitaciones.
 - Eliminar los impedimentos legislativos actuales y adecuar las regulaciones aplicables al sector de los plásticos de cara a impulsar la Economía Circular.

11.4. E4: Recomendaciones globales de ecodiseño y gestión para la circularidad del papel

La siguiente experiencia internacional está basada principalmente en el documento sobre la mejora de la circularidad del papel del Foro Económico Mundial (WORLD ECONOMIC FORUM, 2016).

11.4.1. Proceso productivo del papel

La producción de papel parte de la explotación de la madera, que sirve como materia prima para la pulpa química, o del bagazo de caña de azúcar. La madera fragmentada o el bagazo son mezclados con químicos (soda cáustica, sulfato de sodio dependiendo del tipo de proceso) y cocinada bajo presión, para obtener la pulpa sin blanquear. Gran parte de las aplicaciones requieren de la operación de blanqueado, que emplea usualmente peróxido de hidrógeno y/o dióxido de cloro.

Luego, las fibras son refinadas y pasan al tanque de almacenamiento para pasar a la máquina de papel (molino). Para el proceso de fabricación del papel, la pulpa se disuelve en agua a una concentración inferior a 10% y se agregan los productos químicos que se requieren de acuerdo con el tipo de papel que se va a producir como caolines, colorantes, etc. La pulpa disuelta pasa al proceso de formación, que puede ser en una «mesa» (fourdrinier) o en cilindros, que van formando el papel por capas.

La adición de químicos se usa para obtener diferentes tipos de papel. Para los papeles de imprenta y escritura, por ejemplo se agregan aditivos blancos tales como caolín (arcilla en su forma pura), aprestos a base de almidón para aumentar la lisura de la superficie y mejorar sus propiedades como receptores de tinta sin que ésta sea absorbida exageradamente ni haya desprendimientos de papel. Una vez formado el papel es conducido sobre una malla o fieltro para extraer el agua y pasa después a los secadores de cilindros para luego ser enrollado.

11.4.2. Descripción básica de la problemática del reciclaje

El reciclaje de papel es el proceso de recuperación de papel ya utilizado para transformarlo en nuevos productos de papel. Existen tres categorías de papel que pueden utilizarse como materia prima para papel reciclado: molido, desechos de pre-consumo y desecho de post-consumo. El papel molido son recortes y trozos provenientes de la manufactura del papel y se reciclan internamente en la fábrica de papel. Los desechos pre-consumo son materiales que ya han pasado por la fábrica de papel y que han sido rechazados antes de estar preparados para el consumo. Los desechos post-consumo son materiales de papel ya utilizados que el consumidor rechaza, tales como viejas revistas o periódicos, material de oficina, guías telefónicas, etc. El papel que se considera adecuado para el reciclaje es denominado "desecho de papel".

El proceso de reciclaje del papel pasa por las siguientes fases:

- Pastificación del papel, que consiste en añadir disolventes químicos para que las fibras del papel se separen,
- Cribado y separación de todo aquel material que no es papel,
- Centrifugado de todo el material, separación por densidad,
- Flotación, donde se elimina la tinta con burbujas de aire.
- Lavado para eliminar las pequeñas partículas que pudieran quedar,
- Blanqueo con peróxido de hidrógeno o hidrosulfito de sodio.

Reciclar una tonelada de papel de periódico ahorra aproximadamente una tonelada de madera, mientras que reciclando una tonelada de papel impreso o de copias se ahorra algo más de dos toneladas de madera. Esto se debe a que la fabricación de pasta requiere el doble de madera para retirar la lignina y producir fibras de mayor calidad que con los procesos mecánicos de fabricación.

El papel se recicla reduciéndolo a pasta de papel y combinándolo con nueva pasta procedente de la madera. ***El proceso de reciclaje provoca la ruptura de las fibras. Cada vez que se recicla papel la calidad del mismo disminuye, lo que quiere decir que se deben añadir un elevado porcentaje de nuevas fibras, o será sinónimo de productos de menor calidad.***

Casi **cualquier tipo de papel se puede reciclar hoy en día, aunque algunos resultan más difíciles de tratar que otros**. Cualquier escrito o coloración del papel se debe primero retirar mediante decoloración. En ocasiones, las plantas de reciclaje piden que se retiren los brillos de los periódicos, dado que son de un tipo de papel diferente. Tienen un recubrimiento de arcilla que algunas fábricas no pueden trabajar. **La mayoría de la arcilla se retira de la pasta reciclada como lodo. Los papeles cubiertos con plástico o aluminio, y los papeles encerados, pegados o engomados normalmente no se reciclan por el elevado costo del proceso**. Los papeles de regalo tampoco pueden reciclarse debido a su ya, de por sí, pobre calidad.

La adición de químicos a través de las tintas de impresión ocasiona problemas ya que algunos no pueden ser retirados antes del proceso de triturado. Solamente en Europa, más de 2 millones de toneladas llegan a los trituradores de papel, ocasionando daños en las fibras, **reduciendo su reciclabilidad y limitando su uso a aplicaciones de menor valor**.

El proceso de reciclaje en sí no puede ser optimizado. Las formulaciones de las tintas y los procesos de impresión en cambio siguen evolucionando, lo que conlleva la utilización de diferentes tonners y tintas que requieren diferentes técnicas de destintado y reciclaje. De hecho, se prevé un mayor crecimiento en los químicos utilizados sobre el papel que en la industria del papel en sí. Se hace necesario por lo tanto **incorporar reglas de eco-diseño a los requisitos actuales de funcionalidad**, adecuación a los requisitos del cliente y rentabilidad económica. En esta experiencia internacional se recogen las recomendaciones plasmadas en el “libro blanco” sobre la circularidad del papel (WORLD ECONOMIC FORUM, 2016).

11.4.3. Ciclo de vida del papel

La **Figura 79** representa cualitativamente los **flujos de fibra** en la economía circular del papel, lo que demuestra el grado de optimización de la misma.

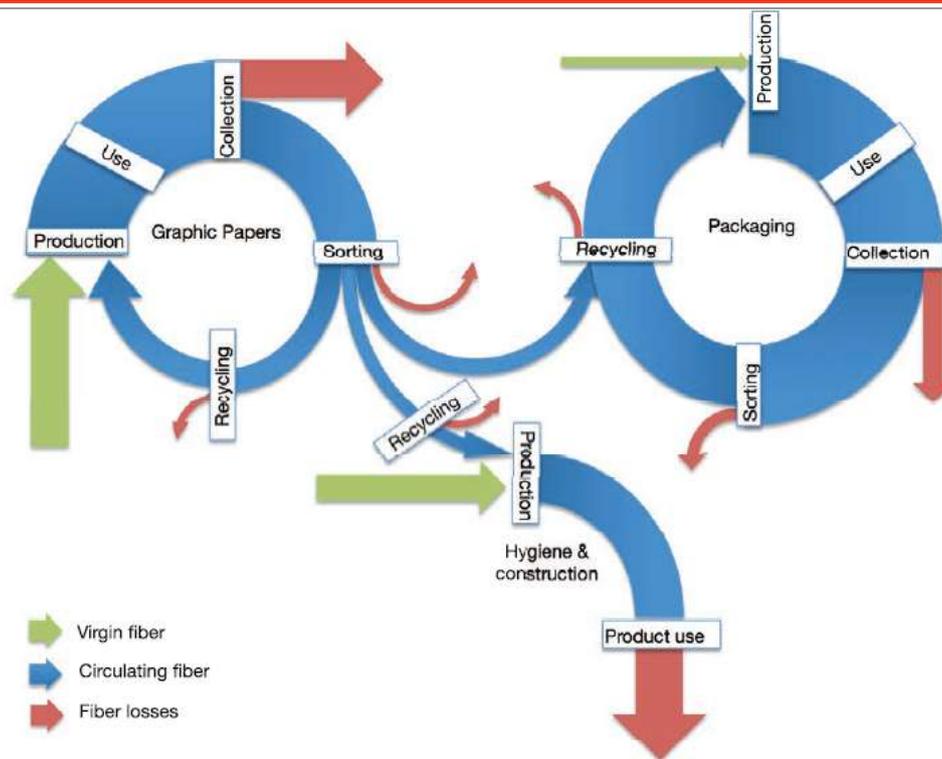


Figura 79: Ciclo de vida del papel (Fuente: (WORLD ECONOMIC FORUM, 2016))

Por otro lado, los **residuos** del proceso tienen un alto potencial valorizable que con los **avances tecnológicos y un marco legislativo propicio** permiten mejorar las ya muy altas tasas de valorización, con el objetivo de residuo cero en el horizonte y profundizando en el uso en cascada de los recursos y la simbiosis con otras industrias (ASPAPPEL, 2016).

A partir de la madera se obtiene, además de la fibra de celulosa otros subproductos con aplicaciones de gran futuro en diversas industrias. Básicamente se trata de la **hemicelulosa**, con aplicaciones en la industria farmacéutica, química, barnices, biocomposites... y la **lignina** que se puede utilizar en la cosmética, polímeros, biodiesel...

Asimismo, los residuos del reciclado se pueden valorizar como combustible y en otras aplicaciones. Y la industria papelera trabaja en nuevas soluciones tecnológicas que permitan añadir valor a estos residuos convirtiéndolos en recursos para el propio proceso papelero o para otras industrias.

11.4.4. Recomendaciones de eco-diseño

- En caso de colorear el papel, usar colorantes que puedan ser fácilmente retirados usando blanqueantes comunes en los procesos de reciclado de papel.
- **Minimizar el uso de otros componentes** y asegurar que cualquier otro material añadido (*especialmente adhesivos, protección UV y plásticos*) pueda ser fácilmente separado o tenga un impacto reducido sobre la calidad de la pulpa o el agua residual tras el reciclado.
- En el caso del cartón o papel de empaquetar, utilizar cierres y envoltentes que puedan ser fácilmente retirables del papel.

11.4.5. Recomendaciones de gestión

- Informar a todos los usuarios acerca de las posibilidades de reducir el consumo de papel (p.e., imprimiendo por ambas caras).
- Informar a todos los usuarios acerca de las posibilidades de reciclabilidad del papel y la localización de contenedores o puntos de recogida.
- **Depositar el papel y cartón tal cual, sin arrugar ni triturar** (excepto para documentos confidenciales), utilizando los contenedores específicos para ello, separados de otros materiales y evitando la suciedad y la humedad.
- Los operadores públicos o privados de reciclaje de papel deberán **clasificar el residuo de papel y la fibra reciclada en base a normativa**, estándares y demanda local (reducir transporte) para ajustar su uso y maximizar su valor.
- Avanzar en nuevas tecnologías de recuperación de fibras de celulosa de los propios lodos papeleros.

11.4.6. Conclusiones relativas a la mejora de la circularidad del papel

- Los procesos de fabricación de papel a partir de papel recuperado y la tecnología asociada ya se encuentran optimizados a nivel global. **El uso de las últimas tecnologías de producción y un marco legislativo propicio** permiten altas tasas de valorización de residuos (hemicelulosa y lignina). La **potencial mejora hay que encontrarla en reducir los rechazos asociados a la recogida post-consumo de papel cartón**.
- El **eco-diseño de nuevos de productos de papel-cartón** se erige como clave a la hora de incrementar las tasas de circularidad de los recursos materiales celulósicos. Revisar el tipo de tintas de impresión, colorantes, adhesivos y otros componentes que son añadidos al papel durante su fabricación o utilización con el fin de facilitar su posterior reciclaje. Concienciar a los actores intervinientes y promover la adopción de medidas globales que eviten el uso de dichos materiales.
- **Revisar los métodos de recogida**, optando por aquellos que promuevan mayores condiciones de limpieza del papel, reducción de distancias recorridas y mejor salubridad para el personal encargado de su gestión y transporte.
- **Incrementar la concienciación social** de selección de productos de papel en origen y consumo responsable.
- Mayor inversión en I+D+i para desarrollar e implantar nuevas tecnologías de recursos materiales de celulosa.

11.5. E5: Cierre de ciclos de recursos materiales del sector siderúrgico en la región del País Vasco (España)

La revisión de la experiencia internacional relativa al cierre de ciclos de materiales y subproductos del sector siderúrgico se centra, de nuevo, en el ámbito geográfico del País Vasco. Este hecho obedece a diferentes razones: la región cuenta con un sector siderúrgico que contribuye en más del 5% al PIB global del país y existen actuaciones históricas en cuanto a ordenamiento administrativo y actuaciones pioneras de mercado a partir de prácticas de simbiosis industrial entre diferentes

sectores; se cuenta con información disponible con un grado de detalle lo suficientemente exhaustivo para la revisión de los diferentes elementos que forman parte de la economía circular; se ha logrado el cierre efectivo de bastantes de los recursos materiales de las acerías vascas.

La experiencia está basada principalmente en las actividades de caracterización, estudio, desarrollo de aplicaciones pioneras, aceptación de uso y reconocimiento normativo de la valorización de subproductos siderúrgicos durante la fabricación de acero en el País Vasco (ver descripción en el apartado 8.2.1.), alineadas con las directrices y mejores prácticas llevadas a cabo a nivel europeo.

11.5.1. Situación geográfica y ámbito legislativo y de planificación marco

La descripción socioeconómica del País Vasco se puede encontrar en el apartado 8.2.1 anterior. Por su parte, el ordenamiento legislativo y de planificación de los residuos peligrosos y no peligrosos procedentes del sector manufacturero vasco se describe en el apartado 8.2.2.

El objetivo estratégico de la CAPV es el de incrementar la recogida y separación selectiva de residuos al menos hasta un 75% para 2020, y establecer sistemas de recogida para corrientes problemáticas

Se establecen programas de recogida y separación selectiva con el fin de fomentar la segregación de escorias negras, escorias blancas y refractarios, para facilitar la valorización posterior de cada tipología de residuos

En cuanto a los recursos procedentes del sector manufacturero del acero, cabe particularizar que el Plan Marco Ambiental de la CAPV 2014-2020 establece cerrar los ciclos de los siguientes flujos:

- **Peligrosas:** polvos de acería
- **No peligrosas:** Con la aprobación de los Reglamentos europeos que regulan las condiciones bajo las cuales *ciertas fracciones (chatarras de acero, hierro, aluminio y cobre; vidrio) dejan de ser residuo* se materializa un nuevo concepto, básico para el fomento de la economía circular. Se prioriza cerrar el ciclo de escorias de acería y arenas de fundición.

Las escorias son los residuos no peligrosos que se generan en mayor medida en la CAPV (746.000 toneladas en el año 2011 pero más de 1.000.000 de toneladas antes de la crisis económica). Los acuerdos voluntarios y el Decreto 34/2003, por el que se regula la valorización y posterior utilización de escorias procedentes de la fabricación de acero en hornos de arco eléctrico, ya se inició el camino para incrementar el reciclaje de escorias, pero en el año 2011 el porcentaje de reciclaje se situaba en un 51%, por lo que hay un importante margen de actuación para mejorar estos resultados.

A tenor de los nuevos conocimientos y trabajos realizados en relación con los materiales en contacto con el suelo, se debe realizar una revisión del mencionado decreto. Asimismo, es necesario optimizar procesos para obtener un árido reciclado de mejor calidad. Por otro lado, es necesario apoyar al sector con herramientas como el Listado Vasco de Tecnologías Limpias así como utilizar las herramientas disponibles por parte de la administración para evitar que se viertan residuos valorizables.

Los resultados esperados son la valorización del 75% de las escorias en 2016 y del 90% en 2020.

11.5.2. Tecnología disponible

Proceso de fabricación del acero en HEA

El proceso de fabricación del acero en las acerías de horno eléctrico de arco (en adelante, HEA) se compone de dos etapas: una primera denominada metalurgia primaria que se realiza en HEA, donde se produce la fusión de las materias primas (chatarra de hierro dulce o acero, pequeñas cantidades de fundición y pre-reducidos) y la fase oxidante o ácida del afino; la segunda, denominada metalurgia secundaria o afino del baño fundido, que se inicia en el HEA y finaliza en el horno cuchara.

La chatarra constituye la principal materia prima en los procesos de fabricación de acero mediante fusión de la misma en HEA. Por lo tanto, ***un exhaustivo conocimiento de la composición de la chatarra de partida permite influir en la calidad tanto los diversos productos de acero, como en la calidad técnica y ambiental de los subproductos siderúrgicos.***

Tras la recepción y clasificación de la chatarra, una primera etapa en la siderurgia de HEA incluye diversas fases como la fusión, la oxidación, dirigidas a eliminar impurezas de fósforo, manganeso y silicio, así como a la formación de escoria espumante en la que se acumulan todas las impurezas. Una vez finalizadas estas fases se extrae la escoria de fusión – comúnmente denominada escoria negra- como producto resultante del enfriamiento y solidificación del material que sobrenada y flota sobre los caldos líquidos de las aleaciones férreas en el proceso de fusión y desfosforación de la chatarra y prerreducidos de hierro. La escoria negra o de fusión se produce en una proporción que oscila entre 85 y 150 kg/tonelada de acero, en función de la calidad de la chatarra. La generación de la escoria blanca procedente de la etapa de afino supone en torno a 20 kg/tonelada de acero.

Valorización de las escorias

Las escorias negras de HEA están constituidas, principalmente, por cal, sílice, magnesia, alúmina y óxidos de hierro. Éstas no presentan propiedades hidráulicas y puzolánicas latentes, por lo que su mayor potencial aprovechamiento ha de orientarse hacia la producción de agregados para uso en aplicaciones de infraestructura civil y edificación.

El proceso de valorización de la escoria negra de HEA, para obtener un material granular denominado agregado siderúrgico, contempla tratamientos previos dirigidos a eliminar elementos metálicos, a obtener husos granulométricos comerciales, así como a garantizar la estabilidad volumétrica del material granular resultante.

Para producir aceros de alta calidad se precisan, por razones metalúrgicas, elevadas adiciones de cal. Como consecuencia de este proceso, las escorias de acería presentan altos contenidos de CaO (óxido de calcio). El óxido de calcio, en las escorias enfriadas, se encuentra en forma de silicatos, tri- y bicálcicos, junto con ferritos, aluminatos, así como en forma de cal libre (CaO libre) o residual, no disuelta en el desarrollo del proceso de producción de acero. Dicha cal libre puede, en presencia de humedad, hidratarse y producir, debido a la mayor exigencia de volumen de la fase hidratada, un deterioro de la estructura de la escoria de acería. Además del contenido de cal libre, la porosidad, y consiguientemente la accesibilidad para la humedad, es un criterio esencial respecto a la resistencia al hinchamiento. Adicionalmente, la presencia de magnesia libre (MgO libre), puede determinar, de

forma deletérea, la estabilidad o resistencia al hinchamiento de la escoria negra de la etapa de fusión. La magnesia libre, en forma cristalina de periclusa, constituye una parte muy significativa de la expansividad potencial de la escoria. No obstante, se puede afirmar, a la luz de estudios bibliográficos, que la presencia de magnesia libre afecta significativamente a la estabilidad de las escorias, siempre y cuando su contenido supere el 4% en peso.

El envejecimiento o maduración de la escoria negra se viene realizando mediante exposición inducida a la intemperie, más o menos prolongada en el tiempo. El regado y volteo (ciclos de humedad-sequedad) de las escorias en los depósitos y acopios se revela como un remedio eficaz para su estabilización, ya que se propician los fenómenos de expansión mediante la hidratación y carbonatación de la cal y magnesia libres, antes de ser utilizadas en la fabricación de otros materiales. La simple disposición de las escorias sin volteos añadidos sólo se estima útil en los primeros 20cm de profundidad, por lo que la práctica de moverlas periódicamente resulta muy adecuada para conseguir un producto homogéneo y adecuado para usos posteriores.

El periodo de maduración necesario para garantizar expansiones inferiores al 1% es variable en función de su proceso de obtención en cada acería. A medida que se ha ido progresando en el estado del conocimiento y la tecnología, algunos procedimientos de envejecimiento de la escoria han llegado a garantizar expansiones inferiores al 1 % tras 48 horas de enfriamiento, volteo y humectación. El período de estabilización de la escoria puede variar entre 72 horas (obteniendo expansiones inferiores al 1%) y 4 meses (garantizando expansiones en torno al 0,3%) en función del tipo de escoria, el proceso de enfriamiento, el objetivo de expansión deseable para una determinada aplicación y el procedimiento de envejecimiento adoptado (FRIAS, 2010).



Figura 80: Detalle del vertido de la escoria en la piscina



Figura 81: Detalle del proceso de enfriamiento de la escoria negra

Tecnologías de tratamiento de escorias

El proceso de valorización de las escorias negras de HEA, que da lugar a su transformación en agregado siderúrgico, consta de diversas etapas hasta garantizar la estabilidad volumétrica, calidades y tamaños del material granular resultante para su uso comercial en diferentes aplicaciones.

El productor de la escoria ha de asegurar protocolos de clasificación optimizadas de recepción y almacenamiento de la chatarra que le permitan trazar adecuadamente la influencia de la materia prima de partida en la composición de la escoria negra resultante. Asimismo, se recomienda estudiar

exhaustivamente la influencia de las variables de cada proceso siderúrgico particular en la lixiviación, morfología y expansión de la escorias.

Por su parte, el operador-valorizador ha de garantizar el cumplimiento de los siguientes criterios técnicos en el ámbito de operación de la Comunidad Autónoma del País Vasco:

- **Almacenamiento de la escoria negra.** Al objeto de evitar la contaminación de la escoria negra con otro tipo de subproductos siderúrgicos, se deberán asegurar espacios de acopio de escorias, suficientemente compartimentados, en las instalaciones siderúrgicas. Se habrá de establecer separación física suficiente entre acopios, tales que garanticen que la escoria blanca no entra en contacto con la escoria negra.
- **Estabilización de compuestos expansivos contenidos en la escoria negra de partida o productos subsiguientes.** La estabilización de los compuestos potencialmente expansivos contenidos en la escoria negra de origen o áridos siderúrgicos subsiguientes se habrá de garantizar por medio de procesos de maduración o envejecimiento, bien de la escoria negra previa a su tratamiento, bien del árido siderúrgico resultante del proceso de tratamiento. Los procesos de maduración y envejecimiento pueden consistir en regado con agua, volteo del material acopiado, acopio en presencia de CO₂ atmosférico u otros procesos de carbonatación acelerada dirigidos a transformar los compuestos expansivos en carbonatos.

Maduración

El proceso de maduración o envejecimiento de la escoria negra o del agregado siderúrgico resultante se llevará a cabo sobre capa impermeable, de acuerdo a los criterios de permeabilidad establecidos en el apartado anterior. Se recomienda extender el material en una superficie amplia, sometiéndolo a ciclos de humectación-secado durante el tiempo necesario que garantice suficiente estabilización volumétrica de los compuestos expansivos (cal y magnesia libre), así como una disminución de la lixiviación de metales pesados de acuerdo a los requerimientos establecidos en los diferentes usos. Cabe destacar que el proceso de maduración o envejecimiento es principalmente efectivo durante los primeros 45 días, estabilizándose a partir de ese momento. Cabe destacar, asimismo, que un enfriamiento rápido de la escoria líquida induce una estructura porosa en el subsiguiente árido siderúrgico como consecuencia de una mayor presencia de burbujas de aire ocluido, mientras que un enfriamiento lento da lugar a estructuras más densas. Dicha porosidad determina la densidad y absorción de las partículas granulares obtenidas tras la valorización físico-mecánica de la escoria. Con todo, la porosidad es función de la cantidad de gases ocluidos en las escorias en estado líquido durante los procesos de espumado en el HEA. Estudios previos, realizados en TECNALIA, han evidenciado que a medida que progresa el proceso de maduración, tras 45 días de regado y volteo de las diferentes fracciones de árido siderúrgico, induce una disminución de la concentración de molibdeno entre un 20%-30% respecto a los valores iniciales de la escoria recién producida, así como una disminución del vanadio entre un 30-40%. La reducción de Mo y V se estabiliza tras dicho periodo de 45 días. Las concentraciones de fluoruros y sulfatos también revelan disminuciones superiores al 30% tras 30 días de maduración.

Con todo, **los periodos de maduración y envejecimiento podrán oscilar entre los 3 y 120 días, en función del tipo de escoria, el proceso de enfriamiento, el objetivo de expansión deseable para una**

determinada aplicación y el procedimiento de envejecimiento adoptado. En cualquier caso, el agregado siderúrgico se considerará suficientemente estable si el **valor de la expansión**, determinado de acuerdo al apartado 19.3 de la UNE EN 1744, resulta ser:

- **Inferior al 5% para zahorras y otras aplicaciones no ligadas**, en línea con el Anejo 4 de la norma para el dimensionamiento de firmes de la red de carreteras del País Vasco, relativo a “Áridos siderúrgicos para zahorras”.
- **Inferior al 3,5% para mezclas bituminosas**, en línea con el Anejo 3 de la norma para el dimensionamiento de firmes de la red de carreteras del País Vasco, relativo a “Áridos siderúrgicos para mezclas bituminosas”.
- En ausencia de regulación específica, **se recomienda que sea inferior al 1% para hormigón u otras mezclas de base cemento**, sobre la base de estudios científico-tecnológicos recientes (SJOSE, 2014). Algunos promotores de infraestructura portuaria, COMO EL Puerto De Bilbao,] están exigiendo valores de expansión inferiores al 0,3% para su uso en la ejecución de elementos de hormigón.

Machaqueo

La escoria se triturará utilizando cualquier tecnología de machaqueo que garantice tamaños adecuados, caras de fractura y mayor optimización de la eliminación de elementos metálicos embebidos en la escoria primigenia. Cuando el producto reciclado pretenda destinarse a usos de ejecución de firmes de carretera u hormigón, el proceso de tratamiento de la escoria negra ha de incorporar **al menos 1 equipo de trituración atendiendo a las diferentes tecnologías existentes en el mercado: trituradora de mandíbulas, trituradora de martillos, trituradora de cono, etc.** Para tales escenarios de uso, no se considerará como trituración el paso de maquinaria pesada sobre el acopio de escoria.

Desferretización

Al menos debe existir 1 sistema de desferretización. Se recomienda instalar imanes en al menos 2 etapas del proceso de tratamiento de la escoria negra, al objeto de extraer y recuperar el máximo contenido de hierro metálico.

Cribado

El material granular se transportará a través de **cintas hasta las cribas, clasificándose por tamaños**, de acuerdo a los usos comerciales requeridos por el mercado.

Acopio

El material granular se clasificará atendiendo a **fracciones granulométricas diferenciadas**, en función de los usos comerciales declarados por el operador-valorizador. Dichas fracciones granulométricas se acopiarán sobre capa impermeable, de acuerdo a los criterios de permeabilidad anteriormente definidos.

Caracterización

Paso previo a la expedición del árido siderúrgico, procedente del tratamiento de la escoria negra, el operador-valorizador deberá determinar el potencial de lixiviación. Asimismo, se recomienda determinar, al menos cada 5000 toneladas, los contenidos de cal libre, magnesia total y potencial de expansión, de acuerdo al apartado 19.3 de la UNE EN 1744, del árido siderúrgico producido en cada planta. El usuario final del árido siderúrgico deberá solicitar información de características técnicas y características de calidad ambiental al operador-valorizador.

Polvos de acería:

De las 367.500 toneladas de residuos peligrosos generadas en la CAPV en 2010, dos de cada tres (66,08%) correspondieron a residuos asociados a la industria de producción y transformación de metales, englobados en las categorías LER 10 «Procesos térmicos» (150.824 t; 41,04% del total generado), LER 11 «Tratamiento químico de superficies» (72.003 t; 19,59%) y LER 12 «Tratamiento físico de superficies» (20.025 t; 5,45%).

En relación a la problemática generada por los polvos de acería, debido a la elevada generación de dicha corriente, a su problemática ambiental, al número de plantas afectadas, y a la **viabilidad técnico-económica de la valorización del Zn y el Pb**, en 1993 se acometió un acuerdo entre el Gobierno Vasco y las acerías para que se reciclarán los polvos de acería con un contenido >15% en Zn. **Actualmente el 99% de los polvos de acería son reciclados.** Además, existe una notable importación de polvos de acería procedentes de otras Comunidades Autónomas y otros Estados.

Polvos, lodos, tortas de filtro y otros residuos que contienen zinc con distintas composiciones son enviados a un **proceso Waelz SDHL**. Los materiales son inicialmente almacenados en silos cerrados o nichos cubiertos. La capacidad de almacenamiento intermedio es equivalente a aproximadamente a uno o dos meses de producción, dependiendo de la instalación. En la primera fase, estas materias primas se mezclan y peletizan con agua, coque y cal, para garantizar una alimentación homogénea al horno Waelz. Los micropellets alimentan el horno bien directamente o bien desde un almacenamiento intermedio. La temperatura de operación del horno es de aproximadamente 1.200 °C, a la cual, todos los compuestos volátiles, principalmente zinc, pasan a fase gaseosa y se re oxidan a óxido Waelz. Entonces, en las instalaciones de tratamiento de gases emitidos, **el óxido Waelz se retorna a estado sólido, siendo vendido posteriormente a la industria del zinc como materia de alimentación secundaria.**

Mediante la adición selectiva de aire a la carga al final del horno, la mayor parte del hierro reducido durante el proceso, se reoxida a óxido de hierro (FeO). El calor producido en la oxidación es aprovechado para precalentar el aire fresco que entra, aportando por tanto la energía térmica necesaria para el proceso químico en la zona de reacción. Gracias al desarrollo de esta tecnología, proceso SDHL, ha sido posible optimizar la eficiencia de esta etapa, con respecto al proceso Waelz convencional. **La escoria producida puede ser utilizada como material de construcción para aplicaciones en la industria del cemento y como agregados bituminosos.** En España, se utiliza bajo su marca - Ferrosita®

11.5.3. Ordenamiento legislativo y normativo histórico: Decreto 34/2003 y situación actual en País Vasco

El ordenamiento legislativo y normativo de los subproductos siderúrgicos se aplican en el marco de *la ley 3/1998*, en materia de protección general del Medio Ambiente. La priorización histórica en cuanto a ordenamiento legislativo, planificación e implementación de acciones de las grandes corrientes residuales del País Vasco se describen con detalle en el apartado 8.2.2.

El volumen de escoria negra generado durante la última década del siglo XX, condujo a que las administraciones vascas establecieran el marco normativo –y metodológico– para la regulación específica de la valorización y posterior utilización de las escorias procedentes de la fabricación de acero en HEA para el ámbito de la Comunidad Autónoma del País Vasco, que quedó plasmado en la publicación del Decreto 34/2003 (GV).

El Decreto tiene por objeto el establecimiento del régimen jurídico aplicable a la valorización y posterior utilización en la Comunidad Autónoma del País Vasco, de las escorias procedentes de la fabricación de acero en hornos de arco eléctrico, con el fin de proteger la salud pública y el medio ambiente. Se determina la relación de usos para los que las escorias son aptas, siempre desde una valoración exclusivamente medioambiental, por lo que el uso final se deberá de ajustar a los requisitos técnicos de carácter constructivo en función del destino final.

Por corrientes específicas, ***las escorias de acería (910.367 ton/año) constituyen el mayor flujo y presentan una tasa de reciclaje del 51%.***

Durante el período comprendido entre 2006 y 2015, se fueron implantando en País Vasco diversas plantas de producción de árido siderúrgico, a partir de la valorización de escoria negra de fusión de HEA, para su uso en aplicaciones que garantizaran demandas de mercado más sostenidas, tal es el caso de la producción de hormigón. Como consecuencia de la puesta a punto de instalaciones, así como de la producción sostenida de árido siderúrgico, surgen nuevas oportunidades comerciales de uso de dicho árido siderúrgico de escoria negra que superan el escenario regulatorio propio del Decreto 34/2003.

El mismo recogía los siguientes usos:

- Como producto final:
 - En las carreteras y vías públicas o privadas de tráfico rodado en cualquiera de las siguientes capas estructurales: capa de rodadura con mezclas bituminosas, base, sub-base y explanada mejorada.
 - En proyectos de urbanización de áreas industriales.
 - Como material de cubrición de vertederos y pistas provisionales en su interior.
- Como materia prima objeto de una transformación posterior:
 - En la fabricación de cemento.
 - Como árido de hormigón.

Asimismo, se añadía que las escorias negras de fusión de HEA que no fueran valorizadas de conformidad con dicho Decreto y las no destinadas a cualquiera de los usos autorizados una vez valorizadas, deberían ser gestionadas adecuadamente atendiendo a las prescripciones contenidas en el Decreto 423/1994, sobre gestión de residuos inertes e inertizados. Las escorias valorizadas no podían utilizarse en usos distintos a los previstos en el Decreto 34/2003, salvo que mediase autorización del órgano ambiental, y previa justificación por el interesado de la idoneidad del destino propuesto. **En la actualidad se está revisando dicho marco para ampliar usos.**

Autorizaciones

El presente apartado recoge las recomendaciones elaboradas por los expertos del País Vasco para la autorización de las instalaciones y procesos de valorización de escoria negra de HEA, así como los criterios de maduración y valorización necesarios para poder utilizar áridos siderúrgicos en aplicaciones constructivas.

Las instalaciones y procesos de valorización de escoria negra procedentes de la fabricación de acero en hornos de arco eléctrico deberán estar autorizados por el órgano ambiental correspondiente, y ello sin perjuicio de las demás autorizaciones o licencias exigidas por otras disposiciones. La solicitud de autorización formulada para el citado fin deberá acompañarse de la documentación técnica acreditativa del cumplimiento de los requisitos descritos a continuación:

Depósito

- El depósito de escorias negras se dispondrá directamente sobre una capa impermeable resistente al tránsito de vehículos y maquinaria. A los efectos del presente apartado, se considerará capa impermeable a una barrera geológica con una permeabilidad hidráulica saturada $k \leq 1 \times 10^{-7}$ m/s en un espesor de 1 m o una capa de otro material (por ejemplo una solera de hormigón vibrado) que presente protección equivalente.
- Tras la tramitación de la autorización de la instalación, será inspeccionada por el órgano ambiental.

Operador-valorizador

- La planta de tratamiento, el depósito de escorias aceptables en ella, y acopios de productos generados se dispondrán directamente sobre una capa impermeable resistente al tránsito de vehículos y maquinaria. A los efectos del presente apartado, se considerará capa impermeable a una barrera geológica con una permeabilidad hidráulica saturada $k \leq 1 \times 10^{-7}$ m/s en un espesor de 1 m o una capa de otro material (por ejemplo una solera de hormigón vibrado) que presente protección equivalente.
- Disponer de elementos de intercepción de escorrentías y de un sistema de tratamiento de las mismas, separador de aceites y grasas, que permita la toma de muestras.
- Disponer de elementos que impidan la mezcla de materiales tratados y no tratados así como la mezcla entre sí de las distintas fracciones de materiales tratados.
- Disponer de medidas anti-polvo: carenados, aspersores de agua, mangas flexibles, riego de acopios en épocas ventosas, riego de viales zonas de tránsito de vehículos y maquinaria.

- Disponer de un área para el almacenamiento de residuos no peligrosos, impermeabilizada y dotada de recogida y tratamiento de escurrientías.
- Garantizar los criterios de maduración y tratamiento establecidos en el apartado 3.2 de la presente guía.

Tras la tramitación de la autorización de la planta, será inspeccionada por el órgano ambiental.

Requisitos para la autorización de las plantas de tratamiento de escorias al operador-valorizador:

- Identificación de la persona física o jurídica titular de la planta y contacto.
- Identificación del área dentro de una instalación de fabricación de acero donde se llevará a cabo la operación de valorización de la escoria negra.
- Declaración del tipo de materiales que se pretenden obtener, las características básicas de los mismos y los usos a los que se pretenden destinar.
- Copia de la inscripción en el registro de establecimientos industriales de la planta.
- Descripción del abastecimiento de energía y agua a la planta.
- Capacidad de tratamiento de la planta por materiales (ton/hora).
- Régimen de funcionamiento (Horas/año máximas y estimadas).
- Mantenimiento previsto de la planta.
- Descripción de las medidas anti-polvo y anti-ruido de la planta.
- Descripción del proceso de tratamiento.
- Estimación de plan asignado a la operación de tratamiento
- Desglose de plan de ensayos de caracterización del producto valorizado en función de usos.

11.5.4. Fomento del uso material

Los instrumentos desplegados para fomentar el uso de los áridos reciclados son:

- Instrumentos legislativos o normativos:

El ya citado Decreto 34/2003, de 18 de febrero, regula, desde el punto de vista ambiental, el uso de escorias negras valorizadas, por lo que existe un marco que permite comercializar, con garantías ambientales, los agregados siderúrgicos correspondientes.

- **Proyectos demostración pioneros** a escala real en el País Vasco, ejemplo del puerto de Bilbao:

Utilización de áridos siderúrgicos en diferentes aplicaciones ligadas como no ligadas en las obras de ampliación y renovación del puerto de Bilbao, como por ejemplo:

- Aplicación de hormigón siderúrgico de carácter estructural en la ampliación del dique de Punta Sollana en el Puerto de Bilbao. Hormigonado (2015) relativo a la cimentación del espaldón (zapata A + zapata B) y la superestructura (viga de regulación +viga cantil). Hormigonado (2016), de la transición a la bocana y del alzado del espaldón.
- Utilización de hormigón siderúrgico en bloques prefabricados para el morro del dique de Punta Lucero y para la prolongación del dique de Punta Sollana en las obras de renovación del puerto de Bilbao. El hormigón de proyecto fue de tipo HM-25/B/20/Qb. Para la prolongación

del dique de Punta Sollana se fabricaron 20.000 bloques de hormigón siderúrgico de ocho toneladas y 3.000 de 75 toneladas alcanzando densidades medias de 2,75 ton/m³.

- Cajones de hormigón empleados en la prolongación del dique de Punta Sollana en Bilbao. El hormigón utilizado fue un HA-30 para un total de 22 cajones con un volumen total de 46119,48 m³.
- Ampliación de la concesión “Depósito Franco”, explanada mejorada de 15.000 toneladas en 2011.
- Nuevo muelle de cruceros, explanada mejorada de 23.000 toneladas en 2014.



Figura 82: Ampliación del puerto de Bilbao.

- Otros proyectos demostración:
- Construcción del edificio KUBIK [Arribas et al, 2010] en Derio, durante la cual se bombearon sin interrupción 140 m³ y 54,5 m³ de hormigón siderúrgico para la ejecución de la losa de cimentación y los muros de sótano, respectivamente, con unas cuotas de sustitución del árido natural superiores al 75% en volumen.
- Solera de nave industrial (Azpeitia), donde se utilizaron 42 m³ de hormigón siderúrgico HA25 de consistencia fluida para su ejecución en 2010.
- Tramos de acera (Barakaldo), para los que se fabricaron en planta (Hormigones y Minas) aproximadamente 8 m³ de hormigón siderúrgico HA-25, donde se constató como la adición de aireante era capaz de compensar la mayor densidad de los áridos siderúrgicos frente a los áridos naturales, dando lugar a un hormigón con densidad similar a un hormigón convencional.
- Muros perimetrales y losa de foso armado, así como una losa anexa al mismo, en el parque de escorias de ArcelorMittal Sestao (Galindo), donde se construyó con hormigón siderúrgico HEA, , con un porcentaje de sustitución de árido natural por siderúrgico en torno al 65%.
- Vigas planas armadas de 4,5 metros de longitud, fabricadas en el marco de un proyecto de investigación en 2013, en el parque de escorias de ArcelorMittal Sestao, mediante hormigón siderúrgico HA-25, con un porcentaje de sustitución de árido natural por siderúrgico en torno al 65%.
- Reconstrucción del Puerto de Bermeo en 2014, donde se han utilizado 11.095 toneladas de escorias procedentes de la fabricación de acero en horno eléctrico (HEA) como árido para el

hormigón de los bloques que protegen el dique. Este uso es particularmente adecuado en las obras marinas ya que la alta densidad del árido permite reducir el tamaño de los bloques, lo que reduce el impacto visual. Otras experiencias no documentadas realizadas; especialmente, por empresas entrevistadas durante la redacción de la presente guía.

- Finalmente, existen proyectos de construcción de nuevas infraestructuras portuarias a ejecutar con hormigón siderúrgico que serán objeto de diseminación pública en años venideros, en aras de transmitir casos de éxito derivados de la colaboración entre los diferentes agentes de la cadena de valor de este negocio (plantas siderúrgicas, valorizadores, plantas de fabricación de hormigón, constructor y promotor de la infraestructura, edificio o urbanización).
- Colaboración interdepartamental, dentro del GV, para regular el uso de áridos siderúrgicos en carreteras:

En la última década se ha evidenciado una evolución en prescripciones técnicas para determinados usos civiles, estableciendo límites de hinchamiento específicos en función del tipo de firme. Con respecto a su uso en mezclas bituminosas, la norma para el dimensionamiento de firmes de la red de carreteras del País Vasco establece en el Anejo 3, “Áridos siderúrgicos para mezclas bituminosas”, un valor límite de expansión inferior al 3,5%, especificando que los áridos siderúrgicos deben pertenecer a la categoría V3,5. En el caso de uso de áridos siderúrgicos en zahorras, el Anejo 4 de la Norma para el dimensionamiento de firmes de la red de carreteras del País Vasco “Áridos siderúrgicos para zahorras”, un valor límite de expansión inferior al 5%, especificando que los áridos siderúrgicos deben pertenecer a la categoría V5.

ANEJO 3. ÁRIDOS SIDERÚRGICOS DE HORNO ELÉCTRICO PARA MEZCLAS BITUMINOSAS

DEFINICIÓN

Escoria de horno eléctrico es el material de origen industrial procedente de la fabricación de acero en hornos de arco eléctrico que se forma durante el proceso de fusión, afino o elaboración del acero y que se separa de él debido a su menor peso específico.

Este artículo se refiere a escorias negras de horno eléctrico, consideradas como las que se obtienen en el proceso de fusión de la chatarra. Cuando la escoria negra de horno eléctrico se utiliza como árido para la construcción se denomina árido siderúrgico de horno eléctrico.

No se considera aquí la escoria blanca de horno eléctrico, que es la que se produce durante la operación de afino del acero fundido, y que no es de utilización en carreteras, ni sola ni mezclada, por su expansividad potencial.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

En la fabricación de mezclas bituminosas se podrán utilizar áridos siderúrgicos de acería de horno eléctrico como árido grueso y árido fino o combinaciones de estas con áridos naturales o artificiales siempre que el material combinado cumpla las especificaciones del presente artículo.

Las mezclas bituminosas fabricadas con áridos siderúrgicos de horno eléctrico deben cumplir las prescripciones de los correspondientes artículos 542 y 543 del Pliego General de Prescripciones Técnicas para Obras de Carreteras y Puentes PG-3 vigente o, en su caso, con las prescripciones técnicas particulares para mezclas bituminosas que acompañen al proyecto.

Las escorias negras habrán sido envejecidas con riego de agua durante un periodo mínimo de tres meses, tras someterlas previamente al menos a un proceso de machaqueo, cribado y eliminación de elementos metálicos y otros contaminantes, de manera que se cumplan las cláusulas del presente artículo.

Los áridos siderúrgicos de acería de horno eléctrico no serán susceptibles de ningún tipo de meteorización o de alteración físico-química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en la zona de empleo. Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del firme, o contaminar el suelo o corrientes de agua. Los resultados de los ensayos de lixiviación según la norma europea EN 12457-2 deberán cumplir los requisitos incluidos en el Decreto de valorización de escorias del Gobierno Vasco.

El árido siderúrgico de horno eléctrico deberá presentar una expansividad inferior al 3,5% (categoría V_{3,5}) según la norma UNE-EN 1744-1. La duración del ensayo será de ciento sesenta y ocho horas (168 h). Además, el resultado del índice IGE según la Norma NLT-361 será inferior al 1%. El contenido de cal libre del árido siderúrgico de horno eléctrico debe ser inferior al 0,5%, determinado según la Norma UNE-EN 1744-1.

Anexo

91

Figura 83: Portada del Anexo 3 de la Norma de Dimensionamiento de Firmes de la Red de Carreteras del País Vasco que regula el uso de áridos siderúrgicos de horno eléctrico en mezclas bituminosas para carreteras

Complementariamente, durante los últimos años se ha avanzado en la generación de conocimiento y experiencias de ejecución a escala industrial de hormigones siderúrgicos y otras aplicaciones ligadas con cemento, que constituyen usos altamente demandados en el momento actual. Cabe destacar, asimismo, que en el borrador de la nueva EN 12620, relativa a áridos para hormigón, se presenta como novedad una lista de fuentes alternativas de materiales granulares. El Anexo A de dicho borrador reconoce la posibilidad de uso en hormigón de árido siderúrgico de escoria negra HEA, procedente de procesos de fabricación de acero al carbono. Ahora bien, en los borradores actuales no se indican requerimientos de control específicos para este tipo de árido siderúrgico, a diferencia de lo indicado en las normas EN 13043 y EN 13242 relativas a mezclas bituminosas y capas granulares, respectivamente. Se espera se concreten dichas especificaciones en el documento de norma definitiva.

- Compra Pública Verde:

Compromiso de todas las administraciones vascas (locales, forales y autonómicas) de consumo de subproductos siderúrgicos.

11.5.5. Instrumentos económico-financieros para fomentar la economía circular de los subproductos siderúrgicos

Los principales instrumentos económico-financieros para fomentar la economía circular de los subproductos siderúrgicos son:

- Desgravación fiscal por inversión en tecnologías limpias.
- Subvenciones en proyectos demostración de cierre de ciclos de productos siderúrgicos.
- Prohibición de vertido a toda fracción materialmente recuperable
- Interiorización de costos de precios de vertido.
- Otros: en debate: los productos recuperados y reciclados no contemplan IVA.

11.5.6. Control y seguimiento

Similar a lo descrito para áridos reciclados en el apartado 8.2.8.

11.5.7. Aspectos sociales

Algunos aspectos sociales ligados a la gestión de subproductos siderúrgicos:

- **Formación.** Jornadas monográficas de una mañana con sectores implicados, con otras administraciones (con departamentos de urbanismo y obra pública).
- **Fomento de empleo de alta cualificación en I+D** para nuevas tecnologías y servicios de eco-innovación. Apoyo específico presupuestario desde el GV.

11.5.8. Conclusiones relativas al cierre de ciclos de subproductos siderúrgicos en el País Vasco

- En el País Vasco, **existe marco legislativo, normativo específico y de planificación, gestionado desde la Viceconsejería de Medio Ambiente**, para potenciar el cierre de ciclos de los recursos materiales generados en el sector manufacturero del acero. Dicho marco es clave para el ordenamiento de la oferta y demanda que estimulan la circularidad de dichos recursos.
- La **ordenación de la oferta** de recursos materiales del sector del acero a partir de una correcta gestión de residuos en el País Vasco ha necesitado, **aproximadamente 20 años**, para alcanzar tasas de recuperación de recursos superiores al 50%. De modo análogo a lo comentado en RCD, **la gran asignatura pendiente, en la actualidad, es impulsar el cierre de ciclos sostenido (estimular la demanda) de dichos materiales recuperados** en la industria de fabricación de materiales de construcción u obra civil. La autoridad portuaria ha constituido un modelo ejemplarizante de cierre de ciclos e innovación al apostar por la ejecución de grandes elementos de infraestructura portuaria con agregados siderúrgicos.

- Algunas otras clave de éxito para avanzar en cierre de ciclos del sector del acero:
- Mesas de encuentro con el sector ACYMA (asociación de acero y medioambiente que agrupa a 11 empresas siderúrgicas con trece plantas industriales en la CAPV).
- Proyectos de demostración para la valorización de escorias.
- Estudios para la revisión del Decreto 232/2003 con el fin de ampliar los usos y modificar límites ambientales
- Modificar las Autorizaciones Ambientales Integradas de las acerías y de los vertederos para limitar el depósito en vertedero de los residuos de acería con posibilidades de valorización.
- Desarrollo reglamentario de vertederos para ampliar el listado de residuos que por ser valorizables no son admisibles en vertedero.
- Desarrollo de planes de inspección
- Abordar, conjuntamente con las acerías y el resto de la industria metalúrgica, el **reciclaje de polvos de acería** y otros residuos peligrosos mediante procesos contrastados (Waelz SDHL)
- **Subvencionar implantación de tecnología** encaminada a incrementar la valorización de residuos.