



**Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza**

PROYECTO FIN DE CARRERA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL IMPACTO AMBIENTAL Y ENERGÉTICO ENTRE LA RECOGIDA DE BASURAS NEUMÁTICA Y CONVENCIONAL, USANDO LA HERRAMIENTA DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

MEMORIA

1 / 2

Autor:

Ignacio Bartolomé Pacheco

Director del proyecto:

Ignacio Zabalza Bribián

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Curso académico 2011/2012
Departamento de Ingeniería Mecánica



En Zaragoza, a 10 de Febrero de 2012

RESUMEN

El aumento en la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) durante el siglo XX, propició que las administraciones legislaran en este sentido obligando a cumplir una serie de medidas, que a posteriori han conseguido reducir la generación de residuos.

En los últimos años, debido al aumento del compromiso ambiental de la sociedad, están surgiendo nuevos sistemas de gestión de residuos, como es el caso concreto analizado en este estudio, la recogida neumática de RSU.

La elección de un sistema de recogida de RSU u otro, no se suele realizar teniendo en cuenta el impacto ambiental causado por cada sistema, sino que tiene que ver más con el aumento de la calidad de vida del ciudadano o la estética de la ciudad. Por tanto, es necesario realizar un análisis que confirme o desmienta que la nueva recogida neumática de RSU supone un avance en el compromiso medioambiental de las administraciones.

Como primer paso, para conocer exhaustivamente el tema se va a realizar una revisión bibliográfica de los distintos tipos de recogida de RSU existentes, englobando una pequeña descripción, uso que se le da, ventajas e inconvenientes.

Para realizar el análisis, se ha elegido como instalación modelo de recogida neumática de basuras, la instalada en el zaragozano barrio de Valdespartera. El impacto causado por este sistema durante su Ciclo de Vida debe compararse con un sistema de recogida de RSU convencional y ficticio, de los existentes en el resto de la ciudad, que debe ser planteado. El sistema elegido es la recogida de RSU con vehículo de carga lateral en contenedores situados en áreas de aportación debido principalmente a las características urbanísticas del barrio, con anchas avenidas por donde pueden circular camiones de gran tonelaje sin dificultades.

Por tanto, el objetivo principal del estudio es analizar el sistema neumático de recogida de RSU y la recogida con camión de carga lateral en contenedores situados en áreas de aportación, bajo criterios de ecodiseño y sostenibilidad y cumpliendo la Norma UNE 150301 de ecodiseño y comparar los resultados para ayudar a decisiones futuras de diseño o implantación.

Como herramienta para el análisis del estudio de impacto ambiental, se usa el Análisis del Ciclo de Vida (ACV). El ACV usa unos indicadores ambientales como forma de comparar categorías de impactos ambientales entre diferentes productos o servicios. El ACV evalúa el impacto ambiental del sistema teniendo en cuenta todos los impactos asociados a cada una de las fases del Ciclo de vida que van desde la extracción de la materia prima hasta su disposición final.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a mi familia, a mis padres, a mis abuelos y a mis hermanos por todo el apoyo constante que me han dado, en los momentos buenos y malos, por aguantarme cuando las cosas no van bien. En especial, a mis abuelas M^a Consolación y Julia que nos dejaron durante la realización del proyecto y que me han dado muy buenos momentos durante toda mi vida, siempre me acordaré de vosotras.

A mi novia Victoria, por su completa confianza desde el inicio del proyecto, por aguantar mis charlas ingenieriles interminables durante toda la consecución de la carrera, por el apoyo incondicional que he recibido y mucho más.

A todos mis amigos de toda la vida, vecinos y compañeros de equipo de Waterpolo, a los que he tenido la oportunidad de conocer durante la carrera y a otros que ya no están cerca de mí por diversas circunstancias, gracias por todos esos momentos inolvidables durante todos estos años.

A la Universidad de Zaragoza, por haberme brindado la oportunidad de formarme durante todos estos años, por permitirme realizar el programa de Intercambio Erasmus, que ha sido una de las experiencias más enriquecedoras de mi vida a nivel cultural y personal.

A David Zambrana, por ayudarme con todo lo relacionado con la herramienta informática SimaPro.

A mi director de proyecto final de carrera, Ignacio Zabalza, que me ofreció la oportunidad de realizar este estudio cuando deambulaba perdido por los pasillos de la Universidad en busca de un proyecto final de carrera.

Gracias a todos los que me olvido, que me han acompañado durante mi vida estudiantil, que seguro que aportaron un grano de arena para conseguir completar mis estudios con éxito.

Gracias a todos, de verdad

Ignacio Bartolomé Pacheco

Zaragoza, Febrero 2012

INDICE

RESUMEN	1
SECCIÓN I: INTRODUCCIÓN AL PROYECTO FINAL DE CARRERA	10
1 CONTEXTO	10
2 NORMATIVA APLICABLE A LA GENERACIÓN Y GESTIÓN DE RSU	15
2.1 NORMATIVA COMUNITARIA DE LA UE	15
2.2 NORMATIVA ESTATAL O ESPAÑOLA	15
2.3 NORMATIVA DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ARAGÓN	16
2.4 NORMATIVA LOCAL DEL MUNICIPIO DE ZARAGOZA APLICABLE A LA GENERACIÓN Y GESTIÓN DE LOS R.S.U.	16
3 JUSTIFICACIÓN	16
4 OBJETIVOS	18
4.1 OBJETIVO PRINCIPAL	18
4.2 OBJETIVOS OPERATIVOS	18
5 ALCANCE Y LIMITACIONES	18
6 METODOLOGÍA	19
6.1 NORMATIVA ISO 14040: 2006	21
6.2 NORMATIVA UNE 14006	21
6.3 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV): METODOLOGÍA	22
6.3.1 Definición y descripción general	22
7 ESTADO DE LA TÉCNICA	24
7.1 INTRODUCCIÓN	24
7.2 TABLA RESUMEN DE LOS SISTEMAS DE RECOGIDA DE RSU	25
SECCIÓN II: DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y ALCANCE DEL ACV	27
1 INTRODUCCIÓN	27

2	DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y ALCANCE	29
2.1	ALCANCE DEL ESTUDIO	29
2.2	RAZONES PARA REALIZAR EL ESTUDIO	29
2.3	APLICACIÓN PREVISTA.....	30
2.4	PÚBLICO PREVISTO.....	30
2.5	SISTEMAS ESTUDIADOS.....	30
2.6	UNIDAD FUNCIONAL	31
2.7	LIMITES DE LOS SISTEMAS	31
2.7.1	Límites geográficos	31
2.7.2	Límites temporales	31
2.7.3	Etapas excluidas del análisis	32
2.8	REQUISITOS RELATIVOS A LA CALIDAD DE LOS DATOS	32
2.9	HERRAMIENTA INFORMÁTICA UTILIZADA.....	33
2.9.1	La base de Datos.....	34
2.9.2	Indicadores de calidad de los datos	34
2.9.3	El inventario de ciclo de vida	34
2.9.4	La evaluación de impacto.....	34
2.9.5	Suposiciones y juicios de valor	35
2.9.6	Metodología del la EICV (Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida) ..	35
2.10	ESCENARIOS DE RECOGIDA DE RSU	35
2.10.1	Escenario de recogida de capacidad máxima	38
2.10.2	Escenario de recogida actual	39
 SECCIÓN III: INVENTARIO DEL SISTEMA NEUMÁTICO DE RECOGIDA DE RSU DE VALDESPARTERA.....		40
1	SISTEMA A ESTUDIAR	40
1.1	SISTEMAS DE CONTROL DE LA RECOGIDA NEUMÁTICA	41
1.1.1	Características de operación del sistema a estudio	41
2	INVENTARIO.....	42
2.1	PRODUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA	43

2.2	TRANSPORTE	44
2.3	USO	44

SECCIÓN IV: INVENTARIO DEL SISTEMA CONTENERIZADO DE RECOGIDA DE RSU DE VALDESPARTERA46

1	SISTEMA A ESTUDIAR	46
1.1	CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA.....	47
1.2	SIMPLIFICACIÓN DEL SISTEMA	48
1.3	ESCENARIO DE RECOGIDA ACTUAL DEL SISTEMA.....	49
1.3.1	Cálculo de las variables de operación del sistema.....	49
1.4	ESCENARIO DE RECOGIDA DE CAPACIDAD MÁXIMA	52
2	INVENTARIO	53
2.1	PRODUCCIÓN	54
2.2	TRANSPORTE	55
2.3	USO	55

SECCION V: EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL56

1	COMPARATIVA DE SISTEMA NEUMÁTICO Y CONTENERIZADO DE RECOGIDA DE RSU	57
1.1	ESCENARIO DE RECOGIDA ACTUAL	57
1.1.1	IPCC 2007 GWP a 100 años	57
1.1.2	Demanda acumulada de energía primaria	58
1.1.3	Eco – Indicador 99.....	58
1.1.4	CML 2 baseline 2000	59
1.2	ESCENARIO DE RECOGIDA DE CAPACIDAD MÁXIMA	60
1.2.1	IPCC 2007 GWP a 100 años	60
1.2.2	Demanda acumulada de energía primaria	62
1.2.3	Eco – Indicador 99.....	63
1.2.4	CML 2 baseline 2000	65

SECCION VI: INTERPRETACIÓN DEL CICLO DE VIDA.....67

1	SISTEMA NEUMÁTICO.....	67
----------	-------------------------------	-----------

1.1	INTERPRETACIÓN DEL CICLO DE VIDA.....	67
1.2	CONCLUSIONES LIMITACIONES Y MEJORAS	71
2	SISTEMA CONTENERIZADO	73
2.1	INTERPRETACIÓN DEL CICLO DE VIDA.....	73
2.2	CONCLUSIONES LIMITACIONES Y MEJORAS	77
	SECCION VII: CONCLUSIONES	78
1	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO.....	78
2	OTROS ASPECTOS.....	80
3	VALORACIÓN PERSONAL	81
	BIBLIOGRAFÍA.....	82
	ANEXO I: INTRODUCCIÓN AL PROYECTO FINAL DE CARRERA.....	97
	ANEXO II: INVENTARIOS DE LOS ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.....	133
	ANEXO III: EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.....	207

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

1. Kg per cápita generados anualmente en diferentes países de la OCDE, en el año 2006) [1].	11
2. Cantidad de RSU producidos en España en el periodo 1996-2009 [2].	12
3. Representación de la evolución de varias variables respecto al año 1980. Gráfica realizada en el año 2008 [1].	12
4. Representación de la evolución de varias variables respecto al año 1980. Elaboración propia con datos de crecimiento y decrecimiento del año 2010 [22].	13
5. Producción de basura en España dependiendo del número de habitantes del municipio, en el año 2003) [4].	13
6. Composición media de los R.S.U en España en el año 2009 [2].	14
7. Gestión de residuos en España en el año 2009 [3].	15
8. Fases del ciclo de vida de un producto o servicio [21].	20
9. Esquema de todos los agentes involucrados en un ACV [21].	23
10. Estructura metodológica del ACV [7].	24
11. Distribución de los diferentes sistemas de recogida de RSU en España en el año 2010 [20].	25
12. Ventajas e inconvenientes de cada uno de los sistemas de recogida de RSU) [Elaboración propia].	26
13. Situación de Eco-ciudad Valdespartera en la ciudad de Zaragoza [26].	36
14. Distribución del suelo en la actuación urbanística de Valdespartera dependiendo del uso al que se destina [25].	36
15. Distribución del suelo ocupado en eco-ciudad Valdespartera [25].	37
16. Cantidad de residuos de cada fracción que se preveía recoger mensualmente según proyecto [26].	38
17. Cantidad de residuos de cada fracción que se recoge mensualmente actualmente. Datos de Mayo de 2011.	39
18. Proporción de cada fracción contenida en los RSU de origen domiciliario.	39
19. Sistema de recogida neumática de RSU [27].	40
20. Esquema de flujos asociados al inventario sistema neumático[Elaboración propia].	43

21.	Tabla datos técnicos para la recogida contenerizada de carga lateral [41].....	48
22.	Plano de la distribución de áreas de aportación y del itinerario de recogida en el barrio de Valdespartera [Elaboración propia], [43].....	51
23.	Tabla de datos de operación de la recogida contenerizada de la fracción de envases en el escenario actual	51
24.	Tabla de datos de operación de la recogida contenerizada de la fracción de M.O en el escenario actual	52
25.	Tabla de datos de operación de la recogida contenerizada de la fracción de envases en el escenario de capacidad máxima	52
26.	Tabla de datos de operación de la recogida contenerizada de la fracción de M.O en el escenario de capacidad maxima	53
27.	Esquema de flujos asociados al inventario sistema contenerizado [Elaboración propia]	54
28.	Comparación sistemas de recogida de residuos. IPCC 2007 100 a. Escenario de recogida actual	57
29.	Comparación sistemas de recogida de residuos. Demanda acumulada de energía primaria. Escenario de recogida actual.	58
30.	Comparación sistemas de recogida de residuos. Eco – Indicador 99. Categoría de daño. Escenario de recogida actual.	58
31.	Comparación sistemas de recogida de residuos. Eco – Indicador 99. Categoría de impacto. Escenario de recogida actual.	59
32.	Comparación sistemas de recogida de residuos. CML 2 Baseline 2000. Escenario de recogida actual.	59
33.	Comparación sistemas de recogida de residuos. IPCC 2007 100 a. Escenario de recogida de capacidad máxima	60
34.	Comparación sistemas de recogida de residuos. IPCC 2007 100 a, Sustancias. Escenario de recogida de capacidad máxima.....	61
35.	Comparación sistemas de recogida de residuos. Demanda acumulada de energía primaria. Escenario de recogida de capacidad máxima.	62
36.	Comparación sistemas de recogida de residuos. Eco – Indicador 99. Categoría de daño. Escenario de recogida de capacidad máxima	63
37.	Comparación sistemas de recogida de residuos. Eco – Indicador 99. Categoría de impacto. Escenario de recogida de capacidad máxima	64

38.	Comparación sistemas de recogida de residuos. CML 2 Baseline 2000. Escenario de recogida de capacidad máxima.	65
39.	Diagrama de barras. Flujos materiales y energéticos. Demanda acumulada de energía primaria. Sistema neumático completo. Escenario de capacidad máxima.	67
40.	Estructura del mix de producción eléctrica española en el año 2010 [47]	68
41.	Diagrama de sectores circulares. Procesos. Demanda acumulada de energía primaria. Sistema neumático completo. Escenario de capacidad máxima.	69
42.	Diagrama de sectores circulares. Procesos. IPCC GWP a 100 años. Sistema neumático completo. Escenario capacidad máxima.	70
43.	Consumo final bruto de energía en España en el año 2010 [47]	71
44.	Diagrama de barras. Flujos materiales y energéticos. Demanda acumulada de energía primaria. Sistema contenerizado completo.	74
45.	Diagrama de sectores circulares. Procesos. Demanda acumulada de energía primaria. Sistema contenerizado. Escenario de capacidad máxima.	75
46.	Diagrama de barras. Categorías de impacto. Eco – Indicador 99. Sistema contenerizado completo.....	76
47.	Diagrama de barras. Normalización. CML 2000. Sistema contenerizado completo.	76

SECCIÓN I: INTRODUCCIÓN AL PROYECTO FINAL DE CARRERA

1 CONTEXTO

Desde la segunda mitad del siglo XX se ha producido un crecimiento económico global sin precedentes, que lleva una evolución exponencial. Se ha producido un aumento de la población mundial por el aumento de la esperanza de vida. Una mejor dieta alimenticia facilitada por una producción agrícola y captura pesquera masivas. La alfabetización masiva ha conllevado la multiplicación del consumo de papel, y por tanto de madera. Todos estos factores, han venido de la mano con un gran crecimiento económico, además los responsables políticos siguen apostando por la tendencia en este crecimiento.

Mientras los indicadores económicos como la producción o la inversión han permanecido en valor positivo durante años, los indicadores ambientales resultaban cada vez más negativos, mostrando una contaminación sin fronteras y un cambio climático que degradan los ecosistemas y amenazan la biodiversidad y la propia supervivencia del ser humano.

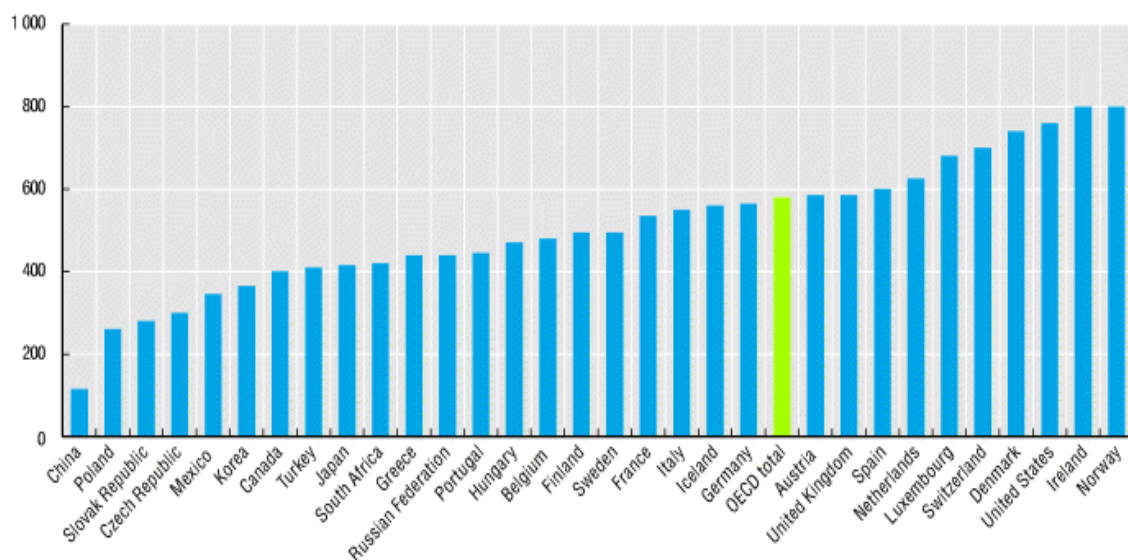
A nivel global, estamos consumiendo más recursos y generando más residuos de los que el planeta puede generar y admitir. Todo ello justifica que hoy se hable de un crecimiento insostenible.

El crecimiento económico conlleva este desarrollo insostenible. Sin embargo, no se ha hecho nada para mitigar estos efectos por el coste de aplicar medidas de sostenibilidad a los procesos y productos de la actividad económica. El desarrollo insostenible conlleva un beneficio económico a corto plazo, pero supone un grave problema para el bien común a largo plazo. Por el contrario, existen varios estudios con conclusiones concordantes, como el Informe Stern que afirman que si no se actúa con celeridad el proceso de degradación provocará una grave recesión económica mucho más costosa y con secuelas ambientales irreversibles que pueden dar lugar al colapso de nuestra especie.

Como conclusión, decir que, como se ha expuesto, es de vital importancia tomar en consideración el factor ambiental dentro de los procesos productivos, tanto en la producción de bienes, como durante su ciclo de vida y retiro de dicho producto. Siempre, con el objetivo de conseguir un desarrollo económico sostenible, es decir, un desarrollo que satisfaga las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.

Uno de los principios básicos de la sostenibilidad desde hace décadas es la preocupación por la contaminación del medio ambiente y el agotamiento de los recursos del planeta. Las políticas ambientales de la gran mayoría de los países desarrollados vienen mostrando interés en prevenir o tratar de evitar con anterioridad, los daños ecológicos y medioambientales de la actividad económica sobre el planeta. Para ello, se ha dado un giro en el pensamiento de sostenibilidad, de unas políticas ambientales que trataban de combatir posteriormente los efectos de la contaminación, hacia otras que tratan de evitar con anterioridad su producción. En este sentido, la recogida de residuos sólidos urbanos es uno de los factores que más preocupa ambientalmente.

En un país en vías de desarrollo como pueda ser China, cada habitante genera 330 gramos de basura al día. Sin embargo, En Estados Unidos, cada habitante crea más de dos kilos diarios de basura, o lo que es lo mismo, 60 toneladas en toda su vida.

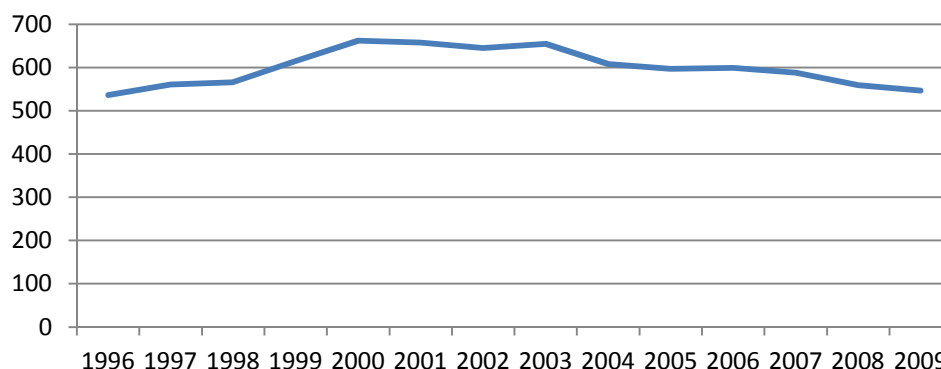


1. *Kg per cápita generados anualmente en diferentes países de la OCDE, en el año 2006) [1].*

En el año 2009, España contaba con 46.758.807 habitantes que generaban un total de 24.758.113 toneladas de residuos cada año. Por lo tanto, cada habitante generaba 529 kg/año de residuos urbanos [2].

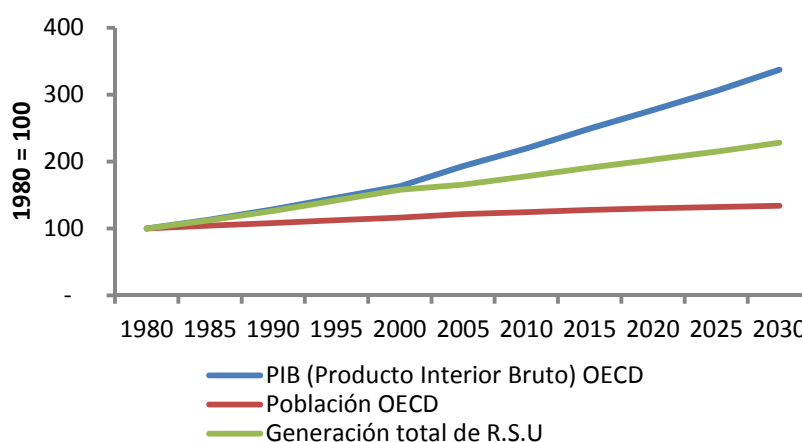
En la década de los 90, la generación de residuos en España aumentó considerablemente debido al aumento de la calidad de vida, que implica mayor cantidad de residuos generados per cápita, así como al aumento de la población del país. Sin embargo, en los últimos años se ha reducido la cantidad de RSU generados per cápita, como consecuencia principal de las políticas ambientales que se están llevando a cabo. Esto se ve reflejado perfectamente en la siguiente figura.

Cantidad de R.S.U producidos en España en kg/hab cada año



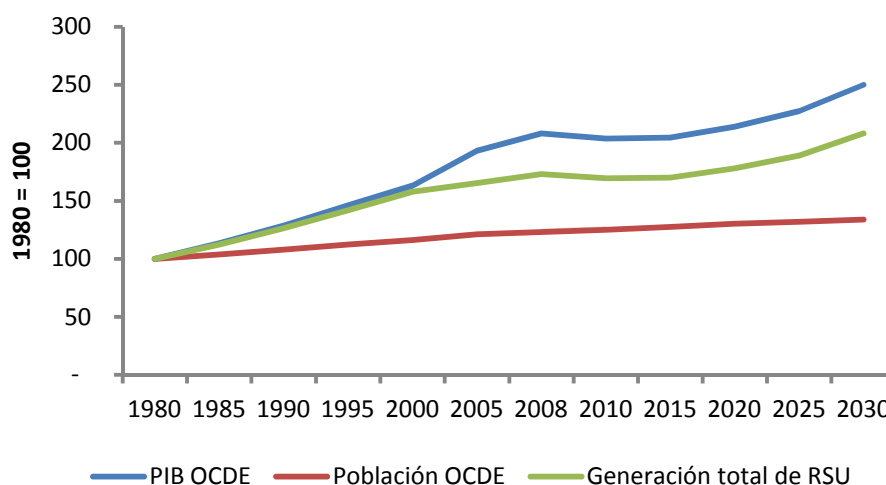
2. Cantidad de RSU producidos en España en el periodo 1996-2009 [2].

En la gráfica mostrada a continuación, se puede observar que la calidad de vida ha aumentado considerablemente. Esta se expresa por una medida agregada llamada P.I.B (Producto Interior Bruto). El P.I.B, expresa el valor monetario de la producción de bienes y servicios finales de un país durante un período (normalmente, un año), de los países pertenecientes a la O.C.D.E (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos), de la que España forma parte. El incremento de la calidad de vida y de la población, ha llevado consigo también, un crecimiento de la generación de R.S.U. La tendencia mostrada en esta gráfica realizada en el año 2008, va a verse alterada debido a la crisis económica. Se reflejará en el estancamiento del crecimiento del P.I.B y de la generación de R.S.U en menor medida, ya que la población va a seguir aumentando.



3. Representación de la evolución de varias variables respecto al año 1980. Gráfica realizada en el año 2008 [1]

En la siguiente gráfica se muestra el posible escenario en los próximos años tras la aparición de la crisis económica.



4. Representación de la evolución de varias variables respecto al año 1980. Elaboración propia con datos de crecimiento y decrecimiento del año 2010 [22]

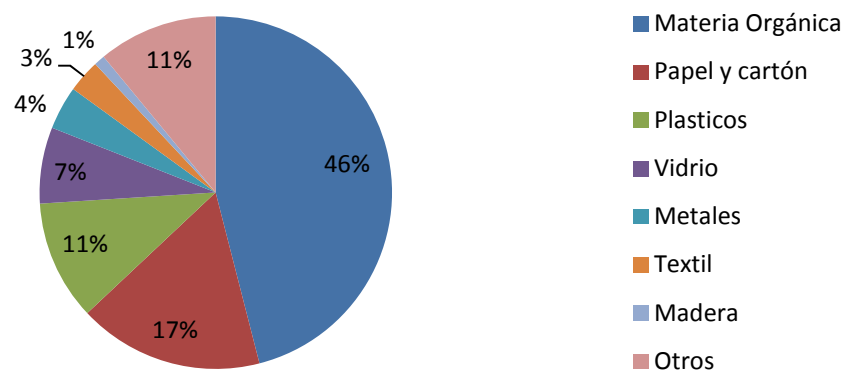
Como se puede apreciar en la tabla mostrada a continuación, la cantidad de R.S.U generada es directamente proporcional al número de habitantes del municipio. Este incremento se debe a que cuanto mayor es el municipio, el número de actividades comerciales, de servicios o industriales que son generadoras de grandes cantidades de R.S.U, también es mayor. Además, en las zonas rurales se aprovechan mejor los residuos y se tira menor cantidad, mientras que en las ciudades, el mayor nivel de vida fomenta el consumo y la producción de basura. Sin embargo, existe gran cantidad de pequeños municipios cuya principal actividad económica es el turismo, y por tanto en ellos esta tasa de producción de RSU, resulta a veces mayor que en las grandes ciudades. [5]

HABITANTES	Nº POBLACIONES	RATIO PRODUCCIÓN
1-2.000	5.830	0,7
2.001-10.000	1.545	0,8
10.001-50.000	501	0,9
50.001-100.000	60	1
más de 100.000	55	1,2

5. Producción de basura en España dependiendo del número de habitantes del municipio, en el año 2003) [4]

Este aumento de la generación de RSU, ha conllevado la optimización de la gestión de los residuos por parte de las administraciones. Para seguir en esta línea, se tienen que aunar los esfuerzos en separar en el origen las diferentes fracciones existentes en estos. Por ello, se debe emplear un mayor número de recursos en separar las fracciones con mayor porcentaje en la composición de los residuos urbanos. En el caso de España, en el año 2009, las fracciones con mayor importancia son por este orden: materia orgánica (46%), papel y cartón (17%), plásticos (11%), vidrio (7%), metales (4%), textil (3%), madera (1%) y otros (11%) [2].

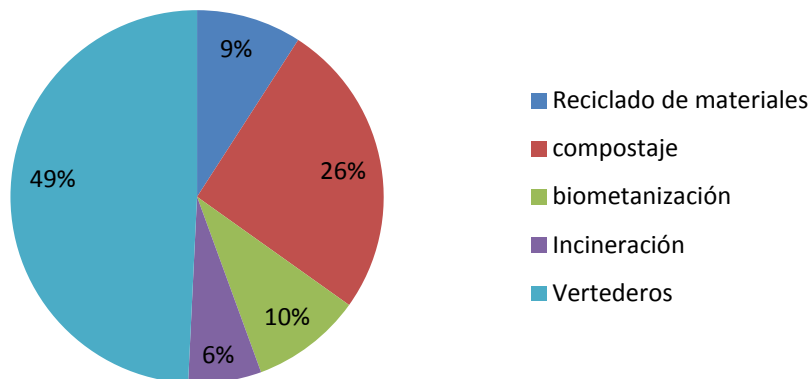
Proporción media de los componentes de los R.S.U



6. Composición media de los R.S.U en España en el año 2009 [2]

En el proceso de gestión de residuos también hay que prestar especial interés en la disposición final de estos residuos generados. En algunos casos, es posible un aprovechamiento del residuo haciendo disminuir la extracción de recursos de la naturaleza. Por ello, como se puede observar en la siguiente gráfica en España aún queda mucho trabajo y concienciación del ciudadano para en aspecto de la valorización, casi de la mitad de los residuos generados en España son finalmente depositados en un vertedero.

Gestión de los R.S.U



7. Gestión de residuos en España en el año 2009 [3]

Debido a este cambio de mentalidad de la sociedad, en los últimos tiempos, están surgiendo numerosas leyes y normativas a nivel nacional, europeo o mundial, en lo que respecta a la gestión eficiente de los residuos generados.

2 NORMATIVA APLICABLE A LA GENERACIÓN Y GESTIÓN DE RSU

2.1 NORMATIVA COMUNITARIA DE LA UE

- **Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas**
- **Directiva 2006/12/EC**

2.2 NORMATIVA ESTATAL O ESPAÑOLA

- **Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados**
- **Ley 7/1985, de 2 de abril, Reguladora de las Bases del Régimen Local**
- **Ley 11/1997 de 24 de abril de envases y residuos de envases (LERE), que traspone la Directiva 94/62/CE, de 20 de diciembre, relativa a los Envases y Residuos de Envases (DOCE L nº 365, de 31.12.94). Cuyo desarrollo reglamentario se llevó a cabo por el Real Decreto de 1 de mayo de 1998.**

- **El RD 653/2003**, de 30 de mayo, sobre incineración de residuos.
- **El RD 1481/2001**, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero
- **Ley 9/2006, de 28 de abril**, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente.
- **Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) 2008-2015**

2.3 NORMATIVA DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ARAGÓN

Por la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, corresponde a las Comunidades Autónomas la elaboración de los planes autonómicos de residuos.

- **Plan de Gestión Integral de Residuos de Aragón (GIRA 2009 – 2015**
- **Ley 27/2006, de 18 de julio**, por la que se regulan los **derechos de acceso a la información**, de participación pública y de acceso a la justicia **en materia de medio ambiente**. (incorpora las Directivas 2003/4/CE y 2003/35/CE).
- **Ley 7/2006, de 22 de junio**, de protección Ambiental de Aragón,

2.4 NORMATIVA LOCAL DEL MUNICIPIO DE ZARAGOZA

APLICABLE A LA GENERACIÓN Y GESTIÓN DE LOS R.S.U

- **Ordenanza de Limpieza Pública, Recogida y Tratamiento de Residuos Sólidos**
- **Ordenanza fiscal nº 17.1 y 17.2:** establecen respectivamente la Tasa por prestación de servicios de recogida de R.S.U; y su tratamiento y eliminación respectivamente.

Para más información sobre la normativa aplicable a la generación y gestión de residuos, dirigirse al *ANEXO I: Introducción al proyecto final de carrera*.

3 JUSTIFICACIÓN

En este marco, es importante señalar que van apareciendo nuevas tecnologías en lo que respecta a la gestión eficiente de residuos. Más concretamente, en el estudio aquí presentado los sistemas de recogida de residuos sólidos urbanos como solución a problemas relacionados con una mejora de la calidad de vida de los usuarios como puedan ser, la disminución de olores y de ruidos. Sin embargo, esta mejora no tiene porque implicar también una reducción del impacto

ambiental del sistema. Para evaluar el impacto ambiental, se deben emplear métodos científicos contrastados. Sin embargo, muchos sistemas no han sido contrastados científicamente.

Este es el caso, de la recogida neumática de residuos urbanos que no ha sido comparada en relación al impacto ambiental con la recogida de R.S.U tradicional con un camión de carga lateral que pase por cada contenedor situado a pie de acera en áreas de aportación.

El sector del transporte por carretera es el que más contribuye al aumento de las emisiones producidas por el ser humano (Cox, NOx, HC's...). En los últimos años se ha investigado en reducir el consumo por km de los camiones de recogida de basuras. En cambio, esta medida no parece paliar los problemas del aumento de las emisiones, ya que aunque se ha reducido el consumo, al aumentar la cantidad de basura generada, el número de camiones necesarios es mayor, lo que lleva incluso a un aumento significativo de las emisiones de contaminantes. Esto es lo que se denomina la paradoja de Jevons o Efecto Rebote. Esta paradoja afirma que, a medida que la evolución tecnológica aumenta la eficiencia con la que se explotan los recursos, lo más probable es que aumente el consumo de ese recurso, antes que disminuya. Concretamente, la paradoja de Jevons implica que la introducción de nuevas tecnologías con mayor eficiencia energética pueden, a la postre aumentar el consumo total de energía.

Lo anteriormente mencionado junto con una mayor concienciación ambiental de los gobiernos e instituciones en materia de transporte, está obligando a implantar nuevos combustibles menos contaminantes en relación a su producción, además de nuevos métodos de recogida de basura, como el que nos ocupa.

La implantación de nuevos métodos de recogida de R.S.U podría favorecer en disminuir contaminación ambiental por el uso de combustibles derivados del petróleo, además de reducir la dependencia energética de España de este tipo de combustibles.

Una infinidad de sistemas de recogida de basura se han venido implantando a lo largo de todo el mundo, y la gran mayoría son de contenedores. Los estudios de impacto ambiental comparando este método con otros novedosos, como la recogida neumática son muy escasos.

Además, se ha observado que la adquisición de un particular método de recogida de basuras por parte de las administraciones suele corresponder, en la mayoría de los casos, con criterios económicos o estéticos, pero en muy pocos casos con factores ambientales.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO PRINCIPAL

El Proyecto Final de Carrera tiene como objetivo principal: el análisis de dos sistemas de recogida de residuos sólidos urbanos (RSU), uno novedoso y otro tradicional, como son respectivamente, la recogida neumática y la recogida con camión de carga lateral en contenedores situados en áreas de aportación, presentes en la ciudad de Zaragoza, bajo criterios de ecodiseño y sostenibilidad y cumpliendo la Norma UNE 14006 de directrices para la incorporación del ecodiseño.

4.2 OBJETIVOS OPERATIVOS

- Realizar una revisión bibliográfica de los distintos sistemas de recogida de RSU.
- Estudiar el procedimiento de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de un producto contemplado en la Norma UNE 14006 de directrices para la incorporación del ecodiseño [6] y en las Normas ISO 14040 y 14044 [7].
- Proponer mejoras para ambos métodos de recogida de R.S.U desde el punto de vista del ecodiseño y la sostenibilidad.
- Validar ambos sistemas de recogida de RSU bajo criterios de sostenibilidad y en base al análisis de su ciclo de vida, tanto durante el proceso de extracción y procesamiento de la materia prima, fabricación e instalación, como durante su vida útil y el retiro o deposición final.
- Plantear una reflexión crítica sobre las aplicaciones, ventajas e inconvenientes, limitaciones y posibles mejoras de ambos sistemas de recogida de RSU.

5 ALCANCE Y LIMITACIONES

Para realizar el estudio anteriormente mencionado, se va a usar como modelo la ciudad de Zaragoza y más concretamente, el barrio de Valdespartera, urbanizado y construido en el sur de la ciudad entre 2003 y 2008, caracterizado por ser una ecociudad. Una ecociudad es diseñada siguiendo principios ecológicos y surge como una nueva aproximación del desarrollo sostenible. Por ello, todos los sistemas implantados en este tipo de ciudades deben ser estudiados desde el punto de vista medioambiental basándose en teorías científicas.

El sistema de recogida de basuras de Valdespartera es un sistema neumático fijo. Sin embargo, en la mayoría de los barrios del resto de la ciudad, el sistema implantado es la recogida mediante camión con contenedores de descarga lateral automatizada en el camión.

El estudio va a consistir en demostrar científicamente desde el punto de vista medioambiental, si la implantación de este sistema en el nuevo barrio, ha conseguido una mejora para el desarrollo sostenible de una manera más objetiva. Para ello, se van a comparar los impactos ambientales de recoger 1t de basura con los dos métodos planteados.

En el estudio, se van a tener en cuenta todas las variables de ambos sistemas involucradas en la generación de contaminación. Se van a analizar, desde la extracción y procesado de la materia prima para fabricar ambos sistemas, el propio proceso de fabricación, transportes, el propio uso relacionado con el consumo de energía y por supuesto la disposición final de ambos sistemas.

Se va a realizar también, un estudio de sensibilidad de alguna variable para proponer mejoras al sistema y conseguir una reducción del impacto ambiental en posibles futuros proyectos.

Los objetivos declarados son bastante ambiciosos, lo que implica el gran esfuerzo y tiempo necesario para realizar un estudio minucioso de todas las variables, que influyen durante el ciclo de vida de ambos sistemas. Por eso se va a limitar la lista del inventario y se van a analizar solo aquellas variables que impliquen un mayor impacto ambiental. Además, el proyecto solo va a tener en cuenta la recogida de residuos sólidos urbanos y más concretamente las dos fracciones que son recogidas en Valdespartera.

6 METODOLOGÍA

Para una mejora del impacto ambiental de los productos y servicios se ha desarrollado el ecodiseño. Esta técnica debe ser aplicada en conjunción con un sistema de información basado en auditorias y registros medioambientales. Por tanto, los sistemas de gestión ambiental y el ecodiseño son más eficaces si se aplican de forma conjunta, ya que comparten información, recursos y objetivos. Esto se lleva a cabo, diseñando los productos o servicios teniendo en consideración los aspectos medioambientales, así como requisitos del consumidor o sistemas de fabricación entre otros.

El ecodiseño analiza el ciclo de vida enfocado, al análisis del ciclo de vida del producto o servicio, en cambio el SGMA (Sistema de Gestión Medioambiental) sitúa sus fronteras en el

entorno de la empresa, centrando el análisis en el proceso productivo o en la implantación del servicio.

Se muestra el ciclo de vida completo de un producto o servicio genérico desde el punto de vista del ecodiseño. Este esquema se va usar como guía para realizar el inventario de los factores de contaminación, así como la relación de estos con los indicadores de impacto ambiental.



8. Fases del ciclo de vida de un producto o servicio [21]

En la década de los 90, muchos países comenzaron a implementar sus propias normativas ambientales, pero derivaban mucho de un país a otro. Por tanto, se hacía necesario tener un indicador universal que evaluara los esfuerzos de un bien o un servicio por alcanzar una protección ambiental que garantizara el desarrollo sostenible.

En este contexto, la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) se comprometió a crear normas ambientales internacionales, tras participar en la Cumbre de la Tierra organizada en 1992. Después fueron nominadas, ISO 14000.

Las normas ISO 14000 es un conjunto de documentos de gestión ambiental de aplicación voluntaria, no tienen obligación legal. Se centran en la organización proporcionando un conjunto de medidas basadas en procedimientos y pautas desde las que una empresa pueda construir y mantener un sistema de gestión ambiental, que sirve para ayudar a las organizaciones a conseguir objetivos medioambientales y económicos.

Las normas ISO 14000, constan de 5 documentos diferenciados, a los que se les asigna su respectivo número de identificación:

- Sistemas de Gestión Ambiental (14001: 2004 “Especificaciones y directivas para su uso”, 14004: 2004 “Directivas generales sobre principios, sistemas y técnica de apoyo” y 14006: 2011 “Guía para la incorporación del ecodiseño”).
- Auditorías Ambientales (14011: 2002 “Guía para las auditorías de sistemas de gestión de calidad o ambiental”).
- Gestión Ambiental (14031: 1999 “Evaluación del rendimiento ambiental. Directrices” y 14032 “Ejemplos de evaluación del rendimiento ambiental (ERA)”).
- Análisis del ciclo de vida (14040: 2006 “Principios y marco general”; 14044: 2006 “Requisitos y directrices”; 14047: 2003 “Ejemplos de la aplicación de ISO14040” y 14048: 2002 “Formato de documentación de datos del análisis”; 14049: 2000 “Ejemplos de definición de alcance, objetivo e inventario del análisis”).
- Etiquetas ambientales (14020: 2000 “Principios generales”; 14021: 1996 Tipo II; 14024: 1996 Tipo I y 14025: 1996 Tipo III).

6.1 NORMATIVA ISO 14040: 2006

La familia de normas ISO 14000 recoge el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en su serie 14040. En esta serie se describe el procedimiento general de metodología de análisis que se va a utilizar para realizar el estudio desde el punto de vista medioambiental de los sistemas de recogida de basuras. La familia de normas ISO 14040 se compone de las siguientes normas, que describen cada una de ellas una etapa a llevar a cabo para realizar este tipo de análisis:

- ISO 14040: 2006. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco.
- ISO 14044: 2006. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y directrices.
- ISO 14047: 2003. Ejemplos de la aplicación de ISO14040.
- ISO 14048: 2002. Formato de documentación de datos del análisis.
- ISO 14049: 2000. Ejemplos de definición de alcance, objetivo e inventario del análisis.

6.2 NORMATIVA UNE 14006

La necesidad de favorecer un desarrollo sostenible en la sociedad ha llevado a la necesidad de desarrollar productos menos dañinos para el medio ambiente. Para facilitar esta labor, AENOR elaboró, a demanda de las empresas, la Norma UNE 150301.

Esta Norma recoge los requisitos de un modelo de sistema de gestión ambiental que aplicado al proceso de diseño y desarrollo, permitiera a las empresas una mejora continua de los aspectos ambientales asociados a productos, servicios o actividades desarrolladas por ellas.

En el año 2003 fue aprobada la norma UNE 150301 “Gestión ambiental del proceso de diseño y desarrollo. Ecodiseño”. Su implantación en una organización consigue que todos los productos, servicios o actividades diseñados incorporen alguna mejora ambiental, sin transferir impactos de una etapa a otra del ciclo de vida, favoreciendo el desarrollo sostenible.

Una vez implantado el sistema de gestión ambiental la organización puede acceder de forma voluntaria a su certificación, que les diferencia de sus competidores y facilita también la compra verde a las administraciones públicas, las empresas y los consumidores finales.

Además, AENOR reescribió las Normas ISO 14040/44 en la Normas UNE-EN ISO 14040/44:2006.

En el año 2011, se ha publicado la norma ISO 14006 que da una guía para incorporar el ecodiseño. Como respuesta, AENOR publicó la norma UNE 14006 que invalida la UNE 150301, como respuesta a la modificación de las normas ISO del año 2006. Esta norma persigue al igual que su predecesora, reducir el impacto ambiental de productos o servicios durante todos sus ciclos: desde la etapa de diseño, siguiendo por la fabricación, distribución, uso y mantenimiento y valorización una vez finalizada su vida útil.

6.3 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV): METODOLOGÍA

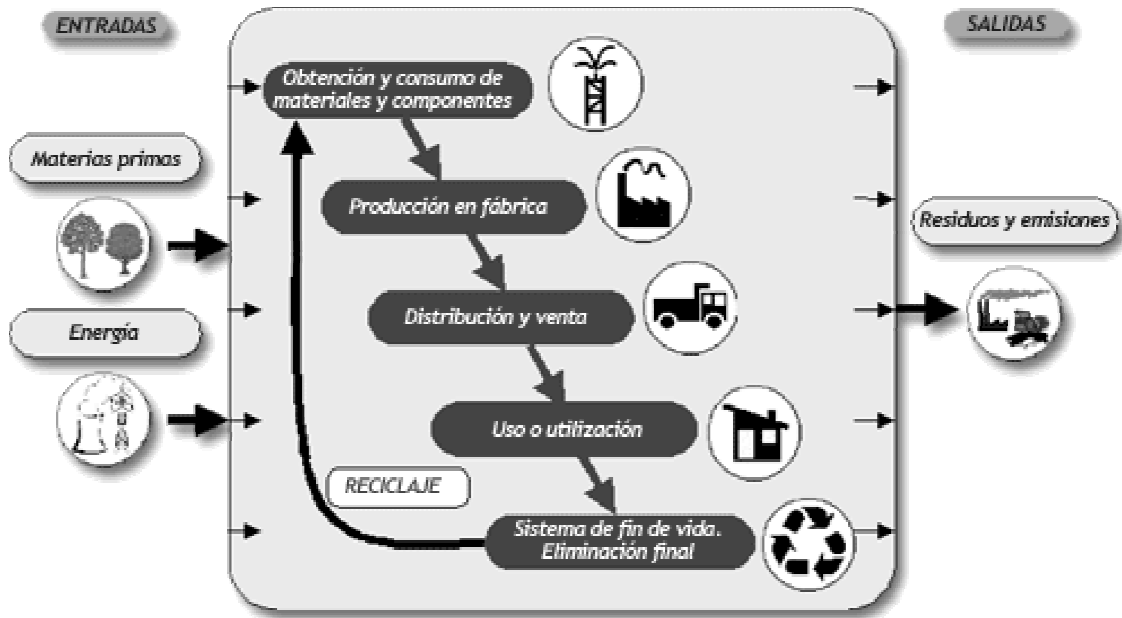
6.3.1 Definición y descripción general

El análisis del ciclo de vida (ACV) es una herramienta que se usa para evaluar el potencial impacto medioambiental de un producto, proceso o actividad a lo largo de todo su ciclo de vida mediante la cuantificación del uso de recursos ("entradas" como energía, materias primas, agua) y emisiones ambientales ("salidas" al aire, agua y suelo) asociados con el sistema que se está evaluando, y con el fin último de facilitar la toma de decisiones durante el proceso de planificación y/o diseño para aplicar medidas de reducción del impacto medioambiental.

La evaluación de los impactos se realiza en el ciclo de vida completo del proceso, bien o actividad. El ciclo de vida incluye la extracción de la materia prima, su transporte hasta el lugar de procesado y tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, el reciclado, la reutilización y el despacho final.

En un ACV completo se atribuyen a los productos todos los efectos ambientales derivados del consumo de la extracción de la materia prima y de energías necesarias para su procesado, las emisiones, energía y emisiones derivadas de la manufactura del bien, así como los efectos ambientales procedentes del tratamiento, uso o despacho final. En la figura mostrada en la parte de abajo, se relacionan todos estos agentes en un esquema.

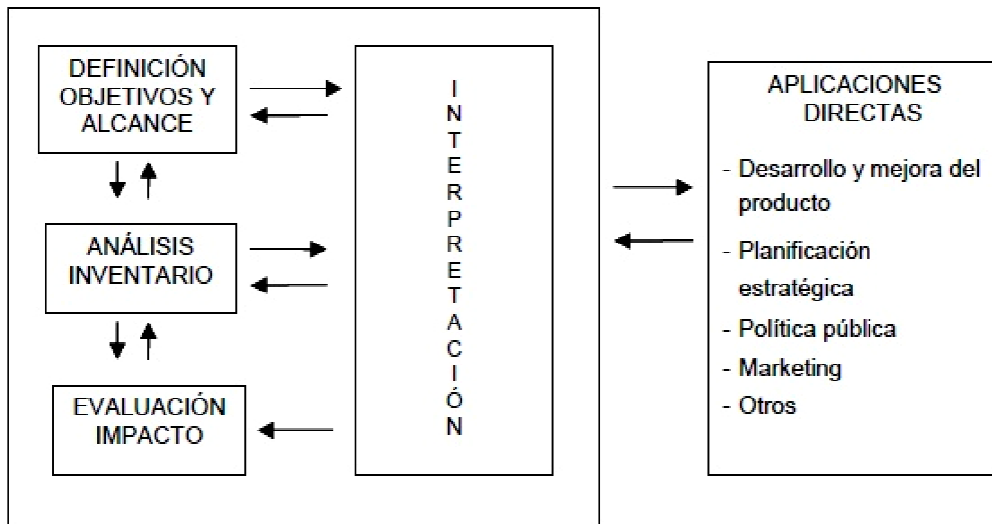
El ACV consiste por tanto en un tipo de contabilidad ambiental en la que se asignan a cada bien los impactos ambientales, debidamente cuantificados, generados a lo largo de su vida útil, “de la cuna hasta la tumba”. En la siguiente figura se relacionan todos estos agentes en un esquema.



9. Esquema de todos los agentes involucrados en un ACV [21]

El ACV no se lleva a cabo siguiendo una metodología fija. Al contrario, presenta varias alternativas, y se debe estar familiarizado con los métodos científicos y con el uso del sentido común a la hora de analizar cuestiones complejas antes de realizar este tipo de estudio.

El ACV es un análisis de carácter dinámico que se va realimentando, por lo que a medida que se van obteniendo resultados se pueden ir modificando los datos de partida para optimizar estos resultados. Este hecho, junto con la gran cantidad de datos históricos que se usan para realizar un ACV, explica la necesidad de contar con una herramienta informática. El carácter dinámico del ACV se representa en la siguiente figura, donde se puede observar las distintas fases del ACV: la definición del objetivo y el alcance, el análisis del inventario, la evaluación del impacto y la interpretación de los resultados. Todo el proceso está íntimamente relacionado con las aplicaciones directas.



10. Estructura metodológica del ACV [7]

El ACV, consiste seguir una serie de directrices marcadas por la Norma ISO 14040 / 44: 2006. Estas directrices están desarrolladas en el *ANEXO I: Introducción al proyecto final de carrera*.

7 ESTADO DE LA TÉCNICA

7.1 INTRODUCCIÓN

La prerecogida es la primera etapa en la gestión de residuos. Suelen ser los ayuntamientos de cada municipio los encargados de educar a los ciudadanos sobre la forma de depositar los residuos en la vía pública para su posterior recogida. Para los distintos tipos de recogida, los RSU se suelen depositar en bolsas de polietileno de baja densidad, de distintos volúmenes y en algunos casos con sistema de atado para evitar que los residuos se esparzan por los sistemas de prerecogida (contenedores, bajantes...) y no se produzca suciedad.

La recogida de RSU se ha realizado tradicionalmente mediante contenedores situados a pie de calle en los que los ciudadanos depositan las bolsas de residuos. Aunque, en los últimos años ha dado lugar a la recogida mediante contenedores soterrados, que es un sistema de recogida de RSU más estético y con menor ocupación de superficie en la vía pública.

Actualmente, en España, la distribución de los sistemas de recogida implantados en los cerca de 45 millones de habitantes, para poblaciones de más de 50000 habitantes, en términos de población, es la siguiente:

IGLÚ	CARGA LATERAL	CARGA TRASERA	NEUMÁTICA	PUERTA A PUERTA	SOTERRADOS
33,2%	32,9%	27,0%	0,6%	0,7%	5,6%

11. Distribución de los diferentes sistemas de recogida de RSU en España en el año 2010 [20].

En la memoria, únicamente se va exponer en una tabla las ventajas e inconvenientes que acarrea el uso de un determinado método de recogida de RSU. Para ampliar información de cada uno de los métodos de recogida de residuos dirigirse al *ANEXO I: Introducción al proyecto final de carrera*.

7.2 TABLA RESUMEN DE LOS SISTEMAS DE RECOGIDA DE RSU

SISTEMA	VENTAJAS	INCONVENIENTES
Recogida puerta a puerta	- Mínimo recorrido del ciudadano - Mínima inversión inicial	- Poco higiénico - Complejidad de recogida - Altísimos costes de operación - Contaminación estética y visual
Recogida en contenedores de baja capacidad a nivel de acera (Carga trasera)	- Reducida inversión inicial - Reduce problemas higiénicos - Facilita recogida selectiva - Comodidad para ciudadano (cortos recorridos y amplia franja horaria) - Sistema flexible a los cambios de los puntos de recogida - Sistema simple - Reduce carga de trabajo y accidentes laborales - Reducción de los costes de operación	- Olores y ruidos - Ocupa suelo urbano - Mezcla de residuos→Mala calidad RSU - Costes altos de explotación e inversión inicial media - Impacto visual y estético - Reboses→Problemas higiénicos
Recogida en contenedores de baja capacidad a nivel de área de aportación (Carga lateral)	- Facilita recogida selectiva - Reducción de personal - No hay contacto operario-RSU - Reducción carga física de trabajo - Sistema flexible a los cambios de los puntos de recogida - Amplia franja horaria - Mayor reducción de los costes de operación - Reducción de problemas higiénicos	- Mayor inversión inicial - No recoge los residuos fuera del contenedor→repaso - Calles amplias y libres de obstáculos - Perfecta colocación de los contenedores - Mayor cualificación de los operarios - Impacto visual y estético - Ocupación vía pública - Olores y ruidos - Aumenta el desplazamiento del ciudadano

Recogida en contenedores soterrados a nivel de áreas de aportación	- Mejora del impacto visual y estético - Mínima ocupación de la vía pública - Impermeables→Reducción % de humedad de los RSU y más higiénicos - Aprovecha flota de camiones - Elimina barreras arquitectónicas - Más económico que la recogida neumática - Fomenta recogida selectiva	- Gran inversión económica - Control de llenado exhaustivo - Bocas de vertido pequeñas - Mayor coste de operación - Ruido - Camufla el problema de la generación de RSU - Necesidad de campaña de concienciación - Aumenta el recorrido del usuario
Recogida neumática	- No impacto visual y estético - Baja ocupación de la vía pública - Impermeables - Mayor higiene - Eliminan barreras arquitectónicas - Fomenta recogida selectiva - No hay olores ni ruido - Menor coste de explotación - Larga vida útil - Disponible 24 horas al día y 365 días al año - Evita residuos grandes - Reduce problemas de tráfico	- La mayor inversión inicial - Altos costes energéticos - Necesidad de sistema alternativo para averías - Riesgo de vandalismo - Concienciación ciudadana - Colaboración ciudadana - Difícil ejercer acciones sancionadoras - Molestias generadas en la ejecución de las obras - Necesidad de espacio para Central de recogida - Necesario servicio de recolección de voluminoso - Necesidad de otro sistema para las fracciones vidrio y cartón

12. Ventajas e inconvenientes de cada uno de los sistemas de recogida de RSU) [Elaboración propia]

SECCIÓN II: DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y ALCANCE DEL ACV

1 INTRODUCCIÓN

El auge tecnológico de los sistemas de recogida de RSU, ofrece a los gestores municipales de residuos un abanico muy amplio de alternativas a la hora de decidir el sistema a implantar en un municipio. Sistemas como los comentados en el estado de la técnica son comúnmente usados por toda la geografía española, pero no son los únicos. Como se ha visto cada uno de los métodos tiene sus pros y sus contras, pero no se puede llegar a la conclusión de que un determinado sistema sea mejor que otro, sino que las características de la zona y el nivel de vida de los ciudadanos pueden hacer que un sistema sea mejor para un municipio pero desaconsejado para otro.

La actuación urbanística de Valdespartera llevada a cabo en la ciudad de Zaragoza supone un punto de inflexión sobre el devenir habitual de las actuaciones urbanísticas. Frente a las actuaciones urbanísticas de nueva planta ejecutadas de una forma asistemática y desintegrada, Valdespartera se presenta como una nueva alternativa de urbanización, entre la ciudad consolidada y los nuevos desarrollos urbanísticos que se están llevando a cabo para atender las demandas de vivienda y servicios a los que se está enfrentando la ciudad de Zaragoza en su contexto socioeconómico.

En el año 2001, el Excmo. Ayuntamiento de Zaragoza y la Gerencia de Infraestructura y Equipamiento de la defensa sobre terrenos de Valdespartera, firman un convenio, así como el propio entre Ayto y D.G.A para el desarrollo urbanístico de los suelos procedentes del acuartelamiento de Valdespartera. Este convenio produce la incorporación de las 242 Ha del acuartelamiento dentro del PGOU (Plan General de Ordenación Urbana) y la capacidad para construir 9.687 viviendas de las que 300 son libres y el resto viviendas protegidas (el 96'9 %) además de 181.645 m² de construcción lucrativos y los correspondientes para otros usos, equipamientos y servicios públicos.

En 2002, se constituye la sociedad ECOCIUDAD VALDESPARTERA ZARAGOZA S.A, sociedad mixta con la mayoría de capital público (D.G.A y Ayto de Zaragoza), con la incorporación a esta, de las Entidades CAI e Ibercaja. En Noviembre de ese mismo año, se realiza la aprobación definitiva del Plan parcial de Valdespartera y Proyecto de parcelación para el planeamiento de urbanización del antiguo acuartelamiento. También, es adjudicado el contrato de estudio de implantación de recogida de RSU en Valdespartera a NORCONTROL.

En Febrero de 2003, se aprueba el proyecto de urbanización para llevar a cabo dicha actuación y finalmente, en Mayo del mismo año, se pone la primera piedra que da inicio a las Obras de Urbanización de Valdespartera.

En Diciembre del año 2003, se adjudica a la U.T.E NECSO ENTRECANALES CUBIERTAS S.A – ENVAC IBERIA S.A, el Contrato para la elaboración del proyecto y construcción de de la central y red pública de recogida de RSU por neumática en Valdespartera. Finalmente, en Febrero de 2007, se pone en marcha la central de recogida neumática de RSU de Valdespartera.

Desde el inicio de las obras de urbanización, son multitud los congresos y jornadas técnicas en los que se ha presentado Valdespartera como modelo de sostenibilidad. Además, Valdespartera ha sido seleccionada como modelo de buenas prácticas Europeas, junto con otros desarrollos urbanísticos europeos, a petición del Parlamento Europeo, por el centro para el desarrollo urbano, la gerencia ambiental, la unidad del negocio regional europeo y del desarrollo económico, un grupo de de trabajo de la Universidad de Leeds. [24]

El contexto de este estudio fue el acuerdo de Bristol en año 2005, en el que se definieron las comunidades sostenibles, como Valdespartera. Son “lugares en los que las personas desean vivir y trabajar, ahora y en el futuro. Satisfacen las necesidades diversas de residentes presentes y futuros, son sensibles respecto a su entorno y contribuyen a una alta calidad de vida. Son seguras e incluyentes, están bien planificadas, construidas y gestionadas, y ofrecen igualdad de oportunidades y servicios adecuados para todos” [24]

En cambio, transformar esta visión de comunidad sostenible en una realidad plantea serías dificultades de ejecución y adopción de determinados enfoques en lo que respecta a la planificación regional, la ordenación urbanística y las políticas urbanas sostenibles en el conjunto de la Unión Europea. Esta dificultad, radica en el gran número de definiciones planteadas para comunidad sostenible y desarrollo sostenible. Por tanto, este acuerdo trata de combinar todos los factores inherentes en la sostenibilidad con el afán de mejorar las comunidades sostenibles y las políticas de integración que proporcionen recursos y redes de aprendizaje para alcanzar los objetivos de sostenibilidad.

2 DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y ALCANCE

En este apartado, se definen dos sistemas de recogida de RSU, como son la recogida neumática y la recogida contenerizada mediante vehículos de carga lateral, desde una perspectiva medioambiental, definiendo las cargas ambientales asociadas a cada una de las etapas del ciclo de vida de los subsistemas contenidos en dichos sistemas.

Este ACV sigue, en líneas generales, la estructura comentada anteriormente por las normas internacionales ISO 14040/44, Gestión Ambiental – Análisis del Ciclo de Vida – Principios y marco / Requisitos y directrices.

2.1 ALCANCE DEL ESTUDIO

Se pretende realizar el estudio del ACV del sistema de recogida de RSU implantado en el barrio zaragozano de Valdespartera y uno alternativo, comprendiendo la prerrecogida en sistemas de almacenamiento usados por el ciudadano, pasando por la recogida de estos residuos, y hasta su transporte a un centro de recuperación de materiales. Además, se realiza un estudio a nivel general de los sistemas, aplicable a cualquier tipo de emplazamiento, con el objetivo último de poder comparar el implantado, con el sistema alternativo de recogida contenerizado mediante vehículos de carga lateral existente en el resto de la ciudad, que usa contenedores de gran capacidad.

El ACV, va a ser utilizado para llevar a cabo una evaluación de las cargas ambientales asociadas a ambos sistemas de recogida de RSU. Para ello, se pretende identificar y cuantificar los inputs (uso de materia prima, energía, materiales, agua, etc.), así como los outputs o “vertidos” al entorno (emisiones a la atmosfera, generación de residuos y aguas residuales, ruido, olores,...)

2.2 RAZONES PARA REALIZAR EL ESTUDIO

La elección de la recogida de basuras en el barrio del Valdespartera, no se hizo teniendo en cuenta ningún estudio científico en lo que respecta a la sostenibilidad o impacto ambiental, sino que esa elección respondió más a otras variables, como puedan ser el aumento de la calidad de vida del ciudadano, mejorar la estética y el impacto visual urbanístico causado en otras partes de la ciudad donde está presente la recogida de basuras contenerizada, o a factores económicos. Esta elección, también pudo deberse al uso de un sistema de recogida de RSU novedoso.

Además, los estudios y bibliografía relacionada con la comparación de impacto ambiental de un sistema convencional de recogida de RSU, como el mencionado y la recogida neumática son muy escasos.

2.3 APLICACIÓN PREVISTA

Con el estudio de ACV, se pretende confirmar o desmentir si la elección del sistema de recogida de RSU neumático en lo que respecta a la sostenibilidad, fue acertada. Además, también se va a establecer una referencia para poder optimizar y mejorar dicho sistema desde el punto de vista del impacto ambiental, mostrando que variables son más sensibles a la posible reducción del impacto ambiental del ciclo de vida del sistema estudiado. Además los resultados de este ACV, servirán como herramienta para la toma informada de decisiones por parte de las administraciones en relación a las distintas políticas, medidas e implantación en lo que respecta a la recogida de RSU.

2.4 PÚBLICO PREVISTO

El presente estudio, va dirigido primeramente a la sociedad ECOCIUDAD VALDESPARTERA ZARAGOZA S.A, la cual podrá disponer de los resultados para su posterior comunicación al Ayuntamiento de Zaragoza y a los medios de comunicación de cara a difundirlos a la opinión pública. También, cabe la posibilidad de la publicación de un artículo científico que recoja los aspectos más importantes del presente proyecto, en alguna revista científica de calado nacional o internacional.

2.5 SISTEMAS ESTUDIADOS

Los dos sistemas estudiados en el Análisis de Ciclo de Vida son los siguientes:

- **Sistema de recogida neumática de RSU:** Extracción de la materia prima, transformación de esta; y fabricación y transporte de cada uno de los elementos que forman parte de la instalación hasta el lugar de implantación, así como el transporte de los residuos desde los buzones de vertido hasta el Complejo para Tratamiento de Residuos Urbanos de Zaragoza.
- **Sistema de recogida de RSU contenerizado:** Extracción de la materia prima, transformación de esta; y fabricación y transporte de cada uno de los subsistemas que forman parte del sistema al lugar de ubicación, así como el transporte de los RSU desde cada contenedor hasta el Complejo para Tratamiento de Residuos Urbanos de Zaragoza.

2.6 UNIDAD FUNCIONAL

El Análisis del Ciclo de Vida requiere una base objetiva para la comparación entre diferentes escenarios de recogida y transporte de RSU y esa base es la unidad funcional. En el caso de este estudio, la unidad funcional debe permitir la comparación de la recogida y transporte de los residuos por el sistema neumático con el sistema contenerizado con vehículos de carga lateral, y se define como:

La recogida y transporte de todos residuos generados correspondientes a las fracciones de envases y materia orgánica desde cada uno de los sistemas de pre-almacenamiento (buzones de vertido, compuertas domésticas o comerciales con sus respectivas bajantes, en el caso de la recogida neumática; y los contenedores en la recogida convencional), hasta el Complejo para Tratamiento de Residuos Urbanos de Zaragoza, ubicado en el Polígono denominado Parque Tecnológico de Reciclaje (PTR) en un periodo de 30 años.

2.7 LIMITES DE LOS SISTEMAS

Los límites del sistema determinan qué procesos unitarios deberán incluirse dentro del ACV, y qué cargas ambientales se estudiarán y a qué nivel de detalle.

2.7.1 Límites geográficos

El ámbito geográfico del ACV, se limita a la ecociudad de Valdespartera situada al sur de la ciudad de Zaragoza. Por tanto, parte de los resultados serán solo aplicables a este emplazamiento. Este es el caso del impacto ambiental total o del transporte de residuos o transporte de equipos al lugar de implantación.

Sin embargo, esto no quiere decir que algunos resultados de este estudio, no puedan usarse para la optimización del impacto ambiental en la implantación posterior de sistemas de recogida de RSU en otros emplazamientos.

Destacar en este sentido, que se usa el mix – eléctrico español, por lo que si el sistema se implantará en otro país los resultados variarían considerablemente.

2.7.2 Límites temporales

En el caso de la recogida neumática, se está estudiando una instalación concreta que fue inaugurada en el año 2007, pero que cuyo proyecto de implantación se adjudicó en el año 2003. Por tanto, la técnica empleada en la operación del sistema difiere de la que se usa hoy en día. Ya que, este sistema está en un proceso de optimización continua del gasto de energía.

Para el caso de la recogida convencional, se utilizan equipos y medios usados en la recogida de RSU con contenedores de gran capacidad vaciados mediante un vehículo de carga lateral. La adjudicación de este servicio en la ciudad de Zaragoza, data de la fecha, 13 de Marzo de 2008, ganada por Fomento Construcciones y contratas (FCC). Por consiguiente, para plantear la recogida ficticia convencional en Valdespartera, se van a usar los medios que actualmente está usando FCC que más se ajusten a las características de Valdespartera.

Además, hay que tener en cuenta el horizonte temporal del cálculo del impacto ambiental. En este caso, se va a tener en cuenta 30 años de utilización de ambos sistemas de recogida de basura, ya que la vida útil de la instalación neumática es de 30 años y además la vida útil de contenedores y camiones en el caso de la recogida contenerizada es de 10 años.

2.7.3 Etapas excluidas del análisis

En lo que respecta a la fabricación de cada uno de los equipos de los sistemas de recogida de RSU, se van excluir aquellos pequeños equipos que representen menos de 1% del peso total de todos los componentes. Además, para muchos de los equipos de cada sistema, no se van a tener en cuenta algunos procesos de fabricación, de los que se desconocen datos relativos a impacto y que presumiblemente su impacto en el análisis sería muy poco significativo.

Además, en el apartado de uso no se van a tener en cuenta las labores de mantenimiento, ni posibles averías o casos de vandalismo callejero que puedan suceder durante la explotación.

2.8 REQUISITOS RELATIVOS A LA CALIDAD DE LOS DATOS

Una vez definido el objetivo y alcance del ACV a realizar, es necesario definir las fuentes de datos más importantes y los datos recopilados.

En la medida de lo posible, los datos han sido recogidos de fuentes de información primarias vinculadas a cada uno de los sistemas mencionados. Se han seleccionado los procesos cuya contribución a los flujos de masa y energía se espera sea importante y cuyas emisiones se espera sean relevantes para el medio ambiente. Estos procesos son los incluidos en la extracción, procesado y transporte de la materia prima; la transformación de ésta en productos usados para la instalación de los sistemas de recogida de RSU; el transporte de cada producto hasta el lugar de implantación; así como, la instalación y uso propio de cada sistema. Para ello, se han usado las siguientes fuentes de información:

- **Envac Ibérica S.A:** Por medio de Eco – Ciudad Valdespartera S.A, se han recogido datos relativos al consumo eléctrico y a la cantidad de RSU recogidos de cada fracción del sistema de recogida neumático reales en este momento.
- **Instrucción para la instalación privada de un sistema de recogida neumática de RSU en Valdespartera:** Datos relativos a las características de cada componente, así como los parámetros de diseño de la recogida neumática.
- **Informes, publicaciones técnicas y bases de datos ambientales:** Para el resto de procesos en los cuales no se dispone de datos de fuentes primarias.

Asimismo, el estudio de los datos publicados en procesos similares a los de este análisis ha permitido realizar una validación de los datos primarios recogidos, así como disponer de unos rangos de variación de los datos para realizar estudios de sensibilidad.

Los requisitos de calidad de los datos recogidos han sido los siguientes:

- **Ámbito temporal de los datos:** Los datos recogidos deben referirse preferiblemente a los últimos 5 años.
- **Ámbito geográfico de los datos:** Los datos recogidos deben referirse preferiblemente a la Ecociudad de Valdespartera.
- **Ámbito tecnológico:** La tecnología a considerar debe ser, como se ha especificado anteriormente, la tecnología actualmente empleada para la recogida de RSU en Valdespartera para la recogida neumática y la tecnología empleada en el resto de Zaragoza, para la recogida contenerizada.

Además, se han utilizado bases de datos publicadas y disponibles en la herramienta informática SIMAPRO 7.3, para los procesos más simples y comunes como transportes, materiales, soldadura y consumo de energía. Las bases de datos usadas son las siguientes:

- Ecoinvent v.2
- BUWAL

2.9 HERRAMIENTA INFORMÁTICA UTILIZADA

El presente estudio de ACV se ha realizado utilizando una herramienta informática comercial denominada SIMAPRO 7.3 (<http://www.pre-sustainability.com/content/simapro-lca-software>).

SimaPro es una herramienta desarrollada por Pré Consultants para realizar el ACV que analiza sistemáticamente y consistentemente siguiendo las recomendaciones de las normas ISO 14040/44.

La primera versión de SimaPro data de 1990 y desde entonces ha sido usado por empresas, consultoras, universidades y centros de investigación en multitud de estudios lo cual avala su capacidad y potencial en este tipo de análisis.

2.9.1 La base de Datos

Una de las partes principales del software es la Base de Datos. Esta Base de Datos contiene varias librerías o proyectos que a su vez contienen diferentes procesos. Las entradas y salidas de un proceso concreto, están definidas en el registro de la base de datos de ese proceso. Los procesos están agrupados en siete categorías: Material, energía, transporte, transformaciones, uso, escenario de residuo y tratamiento de residuos. Además, la base de datos contiene datos de carácter general como son los nombres de sustancias, las unidades de medida, referencias de literatura, etc.

La base de datos por defecto contiene librerías de distintos autores con datos de energía, industriales, materiales, transporte y métodos de evaluación de impacto.

2.9.2 Indicadores de calidad de los datos

Otro elemento importante de SimaPro es el sistema de indicadores de calidad de los datos basado en los requisitos expuestos en la ISO 14040. Este sistema evalúa la idoneidad de los datos asignándoles una puntuación ponderada teniendo en cuenta el perfil que se haya definido en el objetivo y alcance: periodo de tiempo, región del estudio, tipo de tecnología, límites del sistema, etc. En este sentido, los datos primarios utilizados en este ACV son de máxima calidad.

2.9.3 El inventario de ciclo de vida

Una vez se han evaluado qué datos son necesarios para el ACV, se procede a hacer el inventario del ciclo de vida. Primeramente, se buscan y recogen aquellos datos que no estén presentes en las librerías de la herramienta y se introducen en los registros de los procesos. Después SimaPro genera automáticamente un árbol de procesos o diagrama de flujos uniendo todos los procesos.

2.9.4 La evaluación de impacto

Varios métodos de evaluación de impacto reconocidos son incluidos en SimaPro. Todos utilizan el mismo método de caracterización, el cuál calcula la contribución relativa de una sustancia o proceso a una categoría de impacto determinada. Además, otros métodos también utilizan otros procedimientos como la evaluación de daño (Eco-Indicador 99), la normalización

o la ponderación. El programa también permite crear métodos propios de evaluación de impacto, pero que en este caso no se va a utilizar esta opción.

2.9.5 Suposiciones y juicios de valor

El proceso de revisión crítica es completamente necesario en el caso de este análisis de ACV al tratarse de un proyecto en donde se realiza una comparación entre dos sistemas que cumplen la misma función, la recogida de RSU neumática y contenerizada. Esto se realiza con el objetivo final de evitar al máximo la posibilidad de discrepancias o efectos negativos en uno de las partes interesadas.

2.9.6 Metodología del la EICV (Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida)

En la evaluación de impactos se desea, a partir de los inventarios del ciclo de vida, que se van a definir para cada uno de los sistemas a estudiar, realizar un análisis y evaluación de las cargas ambientales observadas, clasificando su tipo, y valorando la calidad medioambiental de cada proceso del producto en base al eco-indicador 99 (EI99), al Índice GWP (Global Warming Potencial, IPCC 2007 GWP a 100 años), Acumulación de energía primaria y CLM 2 baseline 2000.

La evaluación de impactos medioambientales va a ser dividida en cuatro grandes bloques debido a la extensión que implica el sistema definido. Los cuatro bloques serán: producción de los diferentes elementos que componen dicho sistema (INFRAESTRUCTURA), distribución desde el lugar de producción hasta el emplazamiento donde se desea instalar (TRANSPORTE DE EQUIPAMIENTOS), uso del sistema de recogida (USO) y disposición final.

No se ha incluido un bloque específico sobre la extracción, transformación y transporte de las materias primas debido a que el impacto ambiental asociado a cada una de estas etapas se encuentra incluido en el impacto correspondiente a cada uno de los materiales tenidos en cuenta en el bloque de producción.

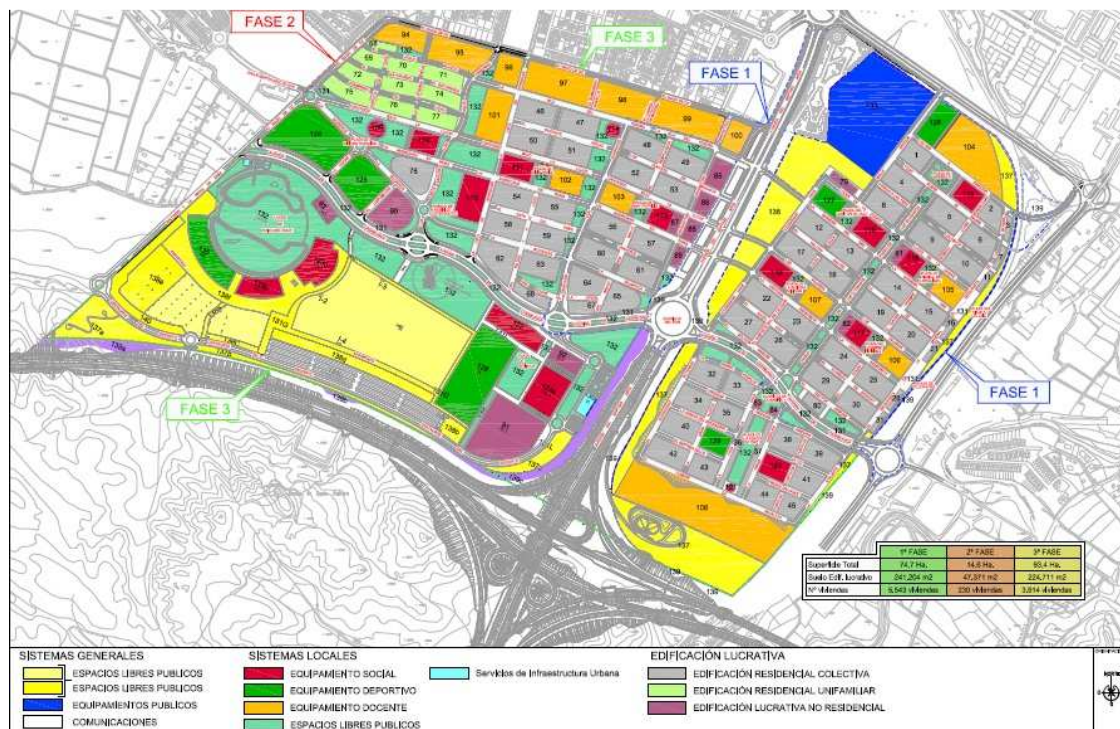
2.10 ESCENARIOS DE RECOGIDA DE RSU

Para realizar todos los análisis se tiene que partir de un escenario de recogida de RSU. En este caso, el escenario va a ser el barrio Zaragozano de Valdespartera, como ya se ha comentado anteriormente debido a la existencia de una instalación neumática de recogida de RSU. Eco-ciudad Valdespartera está situada al sur de la ciudad de Zaragoza como se puede observar en el siguiente plano de la ciudad, donde está delimitada en rojo.



13. Situación de Eco-ciudad Valdespartera en la ciudad de Zaragoza [26]

El suelo de la actuación urbanística realizada en este sector de la ciudad de Zaragoza, se distribuye de la forma que se muestra en la imagen dependiendo del uso al que está destinado.



14. Distribución del suelo en la actuación urbanística de Valdespartera dependiendo del uso al que se destina [25]

En la tabla siguiente, se muestra un resumen de la distribución del suelo que se observa en la imagen anterior.

Tipo de ocupación	Superficie (Ha)
Sistemas Generales	60,6
Equipamientos e infraestructuras	40,3
Espacios libres	27,6
Red viaria	63,5
Suelo residencial	51,3
Total	243,3

15. Distribución del suelo ocupado en eco-ciudad Valdespartera [25]

Para establecer el escenario de recogida, se ha dispuesto de la Instrucción técnica para la instalación privada de un sistema de recogida neumática de RSU en Valdespartera (Zaragoza) [26], donde se especifican todos los datos, parámetros y requisitos de diseño de la instalación. También, se han obtenido datos reales de recogida de RSU y consumo de energía en el centro de recogida, proporcionados por ENVAC IBÉRICA S.A.

Los RSU se dividen en varias fracciones de recogida selectiva, que son las fracciones de papel-cartón, de vidrio, de envases y de resto + Orgánica. En este caso, solo nos interesan las fracciones cuya recogida se realiza de forma neumática. Estas son las fracción de envases y orgánica + restos, para permitir comparar este sistema con el convencional, ya que la recogida del resto de las fracciones se hace mediante contenedores soterrados en áreas de aportación. Cada una de las fracciones estudiadas cuenta con los siguientes tipos de residuos:

- **La fracción de envases** está formada por aquellos residuos urbanos tales como bricks, botellas de plástico, envases de material flexible, bolsas y envolturas de plástico, bandejas y cajas de poliestireno expandido, latas de conserva y semiconserva, botes y latas de bebidas, chapas y tapas de metal.
- **La fracción resto + orgánica** incluye los RSU que sean combustibles, entre los que se incluyen restos de comida, goma, cuero o residuos de jardín. Además también contiene todos los residuos considerados urbanos, pero que no pueden clasificarse o los residuos cuyas mezclas de materiales hagan imposible su separación y selección.

En el momento de la redacción de la Instrucción los residuos urbanos se clasifican en las fracciones anteriormente descritas. Sin embargo, el Ayuntamiento de Zaragoza prevé para el

futuro, la separación en origen de los denominados residuos orgánicos (fracción orgánica) procedentes de la actual fracción Resto.

Se establecen dos escenarios de recogida bien diferenciados. El primero, debe recoger la cantidad de residuos de las dos fracciones sometidas a estudio, que según proyecto se preveía iba a generar el barrio de Valdespartera cuando estuviera completado (ESCENARIO DE RECOGIDA DE CAPACIDAD MÁXIMA). El segundo, debe recoger la cantidad de residuos de las dos fracciones sometidas a estudio, que actualmente se recogen (ESCENARIO DE RECOGIDA ACTUAL).

2.10.1 Escenario de recogida de capacidad máxima

La cantidad de basura de cada una de las fracciones sometidas a análisis, que presumiblemente se debería estar recogiendo según proyecto se calcula de acuerdo con las siguientes suposiciones recogidas en la Instrucción técnica:

- Habitantes por vivienda equivalente: 3.20.
- Kg de basura por habitante y día: 1.20.
- $50m^2$ de superficie de local comercial o equipamiento terciario = 1vivienda equivalente.
- $100m^2$ de superficie de equipamiento dotacional = 1vivienda equivalente.

La ubicación y número de válvulas se realizó para que en las bajantes de los buzones se albergue el 70% de la basura producida al día. Además, ningún usuario deberá recorrer más de 50 metros desde la entrada de su edificio los puntos de vertido, ya sean en lugares de acceso común, en planta baja, o cualquier otro tipo de tipología de vertido posible.

La instrucción técnica, también proporciona la cantidad de residuos que en proyecto se preveía iba a generar la actuación urbanística. Por tanto, teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, la capacidad nominal de recogida de residuos mensual para la que la instalación fue diseñada queda recogida en la siguiente tabla.

Envases (kg)	247383
Materia orgánica (kg)	1356495
Papel-Cartón (kg)	250821
Vidrio (kg)	105082
Total de RSU (kg)	1959780

16. Cantidad de residuos de cada fracción que se preveía recoger mensualmente según proyecto [26]

2.10.2 Escenario de recogida actual

Para el escenario de recogida actual, ENVAC IBERICA S.A por mediación de ECOCIUDAD VALDESPARTERA S.A, proporcionó los datos de recogida de residuos de dos meses, Mayo y Agosto de 2011. Además, destacar que se han usado los datos del mes de Mayo, ya que es más representativo de la realidad que Agosto, por hecho de que en Agosto mucha gente está de vacaciones.

Envases (kg)	33100
Materia orgánica (kg)	181500
Papel-Cartón (kg)	33560
Vidrio (kg)	14060
Total de RSU (kg)	262220

17. Cantidad de residuos de cada fracción que se recoge mensualmente actualmente. Datos de Mayo de 2011.

Esto permite saber, la proporción de cada fracción existente en los residuos de origen domiciliario. La proporción de cada fracción en residuos de origen domiciliario es la que se muestra en la siguiente tabla.

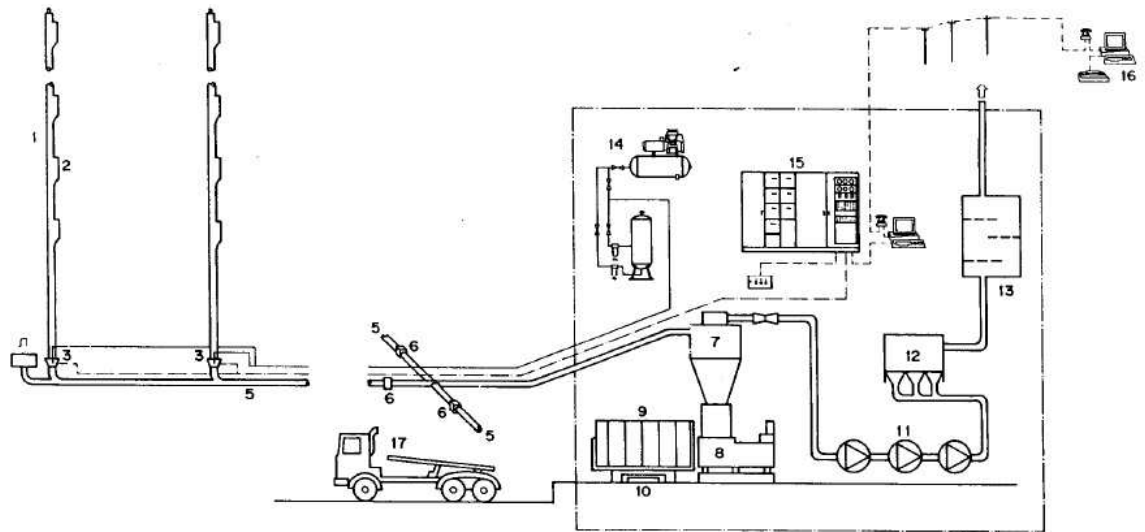
Materia orgánica (kg)	69,22
Papel-Cartón (kg)	12,80
Envases (kg)	12,62
Vidrio (kg)	5,36
Total de RSU (kg)	100

18. Proporción de cada fracción contenida en los RSU de origen domiciliario

Por último, destacar que estos son los datos que se van a utilizar tanto para la recogida de residuos neumática como para la contenerizada, ya que el escenario de recogida debe ser el mismo para poder comparar objetivamente ambos sistemas.

SECCIÓN III: INVENTARIO DEL SISTEMA NEUMÁTICO DE RECOGIDA DE RSU DE VALDESPARTERA

1 SISTEMA A ESTUDIAR



- | | |
|-------------------------------|--|
| 1. Bajante vertical | 10. Transportador de contenedores |
| 2. Compuerta de vertido | 11. Turboextractores |
| 3. Válvula de basura | 12. Filtro sintético |
| 4. Válvula de entrada de aire | 13. Silenciador |
| 5. Tubería de transporte | 14. Equipo para aire comprimido |
| 6. Válvula de seccionamiento | 15. Equipo de control con ordenador |
| 7. Separador de basura | 16. Módem para control a distancia |
| 8. Compactador de basura | 17. Camión para transporte de contenedores |
| 9. Contenedor de basura | |

19. Sistema de recogida neumática de RSU [27]

Los residuos se depositan en compuertas o buzones de vertido (2) depositándose en las bajantes verticales (1) hasta que se abren las válvulas de basura (3) situadas al final de la bajante. Entonces, los RSU pasan a la tubería subterránea de transporte (5) donde son arrastrados por una corriente de aire hasta la central de recogida. Esta corriente de aire, se consigue por aspiración con turboextractores conectados en serie (12), permitiendo la entrada de aire al sistema mediante unas válvulas de aire (4) colocadas en el extremo de cada ramal de tubería. También existen válvulas de seccionamiento (6) que aíslan los ramales principales de la red de tuberías, facilitando así las tareas de mantenimiento y reparación.

Dentro de la central de recogida, la basura se desvía en función de la fracción de residuos que transporta. Posteriormente, se separa del aire mediante un separador de basura o

ciclón (7). La basura cae por la parte de abajo del ciclón y el aire sale por la parte de arriba. La basura sale por debajo alimentando una prensa compactadora (8), que la empuja y compacta dentro de grandes contenedores (9). Un puente grúa con spreader (10) se encarga de reemplazar los contenedores llenos, que se cargan en un camión, por otros vacíos.

Tras separar el aire de la basura, el aire es sometido a un tratamiento de depuración y acondicionamiento antes de devolverlo a la atmosfera. Este tratamiento, consta de un filtro sintético (12) donde se eliminan las partículas de polvo. Por último, antes de ser expulsado el aire, pasa por un silenciador (13) para evitar ruidos molestos.

El proceso de recogida, se controla y supervisa de manera automática por el equipo de control con ordenador (15).

La única operación que requiere mano de obra, es la carga, descarga y conducción del camión (17), que transporta los contenedores llenos al Complejo para Tratamiento de Residuos Urbanos de Zaragoza, ubicado en el Polígono denominado Parque Tecnológico de Reciclaje (PTR).

1.1 SISTEMAS DE CONTROL DE LA RECOGIDA NEUMÁTICA

Para obtener mejores resultados en estos sistemas, es importante optimizar el uso, eficacia y coordinación de los distintos elementos. Por ello, el uso de herramientas informáticas se hace imprescindible para definir la logística de la recogida óptima.

El objetivo, de un sistema informático de control, es optimizar tiempos de recogida y consumos ofreciendo al ciudadano un servicio de calidad con el mínimo coste posible. Por ello, lo más importante es vaciar los buzones con el máximo nivel real de residuos, ya que el consumo se reparte entre una mayor cantidad de RSU, haciendo disminuir el coste por kg de RSU recogido.

En ocasiones, por características especiales de una instalación en concreto, como de recogida por horario, recogida en “horas valle” con costos de energía más baratos, u otros, la optimización de la capacidad cede su prioridad a los costes de operación o al mejor servicio.

1.1.1 Características de operación del sistema a estudio

El sistema de control implementado en la instalación sometida a estudio es el de las recogidas horarias estructuradas complementadas con recogidas por nivel en los buzones que pueden presentar problemas de saturación. El problema de esta instalación, es que la recogida se limita a las “horas valle” de tarificación eléctrica para reducir costos de operación. Además se

instalan baterías de condensadores para optimizar el factor de potencia y reducir más si cabe, el coste de operación de la instalación.

Además, la interface SCADA se usa como intermediario entre el sistema de control y el equipo de personas encargado de operar y supervisar la instalación.

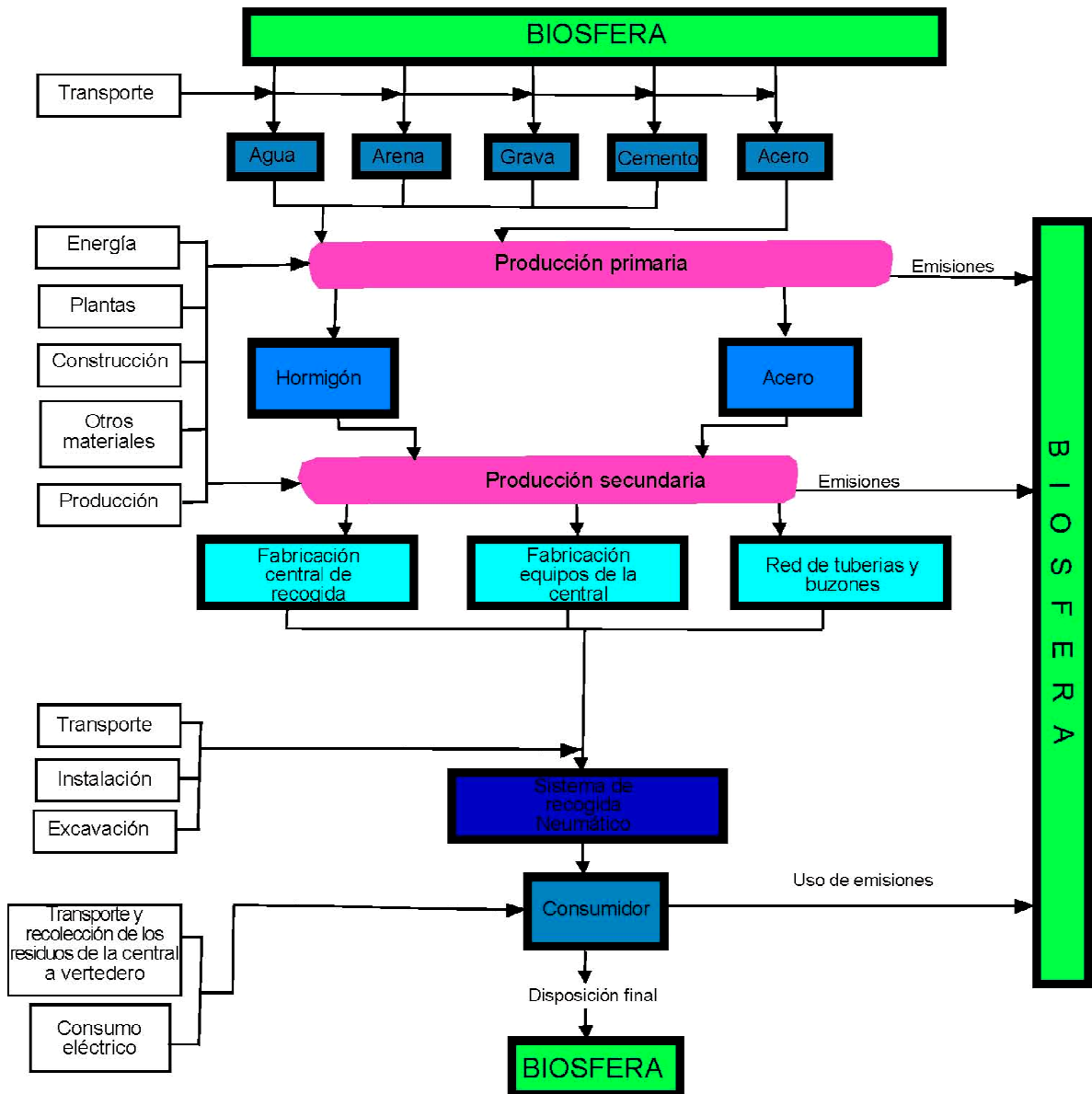
Sin embargo, esta instalación carece de variadores de frecuencia para la regulación de la presión dinámica y velocidad del aire requerido a tiempo real, y en su defecto se usa una regulación de la potencia requerida por número de motores en funcionamiento. Por lo tanto, el consumo eléctrico en esta instalación es de un 17% superior a otras instalaciones más recientes debido únicamente a este motivo. Este aspecto, se debe tener muy presente cuando se estudie el impacto ambiental del uso de la instalación, aunque ya se verá que el consumo por tonelada está muy por encima de lo óptimo debido principalmente a que la instalación neumática no es modulable.

Para más información sobre los distintos tipos de sistemas de control dirigirse al *ANEXO II: Inventarios de los análisis de ciclo de vida (ACV)*.

2 INVENTARIO

En el análisis del inventario se pretende cuantificar las entradas y salidas en el ciclo de vida del sistema de recogida neumática de RSU (entradas de energía, entradas de materia prima, emisiones atmosféricas, al agua, etc.), definiendo claramente cuáles son los límites del sistema, es decir, que materiales y procesos productivos son objeto de estudio y cuáles no.

Tras identificar estas entradas y salidas del sistema, el objetivo es desarrollar un diagrama que plasme dichas entradas y salidas identificándolas previamente. En la siguiente figura se muestra el diagrama de flujo asociado al sistema neumático de recogida de RSU. En ella se observa todos los flujos entrantes y salientes del sistema durante toda su vida útil, los cuales son extraídos del ambiente natural o bien emitidos a él.



20. Esquema de flujos asociados al inventario sistema neumático
[Elaboración propia]

El sistema estudiado se divide en 3 fases principales que producen impacto ambiental.

2.1 PRODUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA

El impacto ambiental comienza con la extracción de las materias primas y energía del entorno natural para la fabricación de cada componente de la instalación. Posteriormente, se transporta esta materia prima a la planta de procesado. Seguidamente, se transporta el material en bruto para su transformación en componentes de la instalación,

En la fabricación de los componentes de la instalación, se tiene en cuenta el material de fabricación y algunos procesos de fabricación de los que se dispone datos de impacto ambiental

(como la soldadura). En cambio, se carece información de impacto ambiental de muchos otros procesos de fabricación (doblado, corte de chapa...), que además teniendo en cuenta que la fase siguiente de uso es la más importante, apenas va a tener un impacto significativo en el estudio.

En este sentido, también se tiene en consideración el edificio que aloja la central de recogida de residuos contabilizada en metros cúbicos usando como inventario, un inventario completo de un edificio tipo, recogido en la base de datos ecoinvent.

Todas las características y materiales recogidos en el inventario han sido recopilados de dos fuentes principales:

- Instrucción técnica para la instalación privada de un sistema de recogida neumática de RSU en Valdespartera [26]
- Descripción general del sistema de recogida automatizada [27]

Para más detalle, dirigirse al *ANEXO II: Inventarios de los análisis de ciclo de vida (ACV)*.

2.2 TRANSPORTE

En este sentido, se va a tener en cuenta el transporte de cada uno de los componentes de la instalación desde el lugar de fabricación hasta el emplazamiento de la instalación neumática en Valdespartera contabilizándolo en el inventario como el producto de toneladas por kilometro.

Los detalles de transporte tales como el lugar de fabricación y los medios de transporte usados, han sido proporcionados por Eco-ciudad Valdespartera S.A.

Para más detalle, ver el *ANEXO II: Inventarios de los análisis de ciclo de vida (ACV)*.

2.3 USO

En el uso de la instalación se van a tener en cuenta todos los flujos de energía y material necesarios para la explotación de la instalación, que principalmente se constituyen por la energía eléctrica consumida tanto por la recogida (kWh), como por todos los sistemas auxiliares; y el gasoil necesario para transportar, la basura en los contenedores desde la central de recogida al Complejo para Tratamiento de Residuos Urbanos de Zaragoza, ubicado en el Polígono denominado Parque Tecnológico de Reciclaje (PTR). El transporte de los residuos de la misma forma que el transporte de equipamientos, también se contabiliza en toneladas por kilometro.

El escaso mantenimiento necesario y el reducido índice de utilización, desemboca en muy pocas averías por funcionamiento, o mantenimiento correctivo. Por tanto, se va a despreciar este apartado en el estudio.

En Valdespartera, por razones de operatividad se ha dividido la instalación dos clasificadora de recogida situadas en el mismo edificio. Cada una de las dos clasificadoras está constituida por todos los elementos necesarios para el correcto funcionamiento de una instalación de estas características.

Además, en este estudio, se establecen los dos escenarios de recogida planteados anteriormente:

- Escenario de recogida actual: Se recoge la cantidad de basura de las dos fracciones sometidas a estudio, envases y resto+ materia orgánica, generada en la actualidad. Para la obtención de los datos, se han usado como fuente la empresa encargada de la operación del sistema ENVAC IBERÍCA S.A y la empresa que gestiona todo lo relacionado con Valdespartera, ECO CIUDAD VALDESPARTERA S.A.
- Escenario de recogida de capacidad máxima: Se recoge la cantidad de basura de las dos fracciones sometidas a estudio, que se preveía iba a generar la actuación urbanística de Valdespartera.

Sin embargo, el sistema implantado debe ser capaz de recoger toda la basura cuando la actuación urbanística esté totalmente completada, incluyendo equipamientos públicos, docentes, deportivos y sociales, además del centro comercial y que los locales comerciales estén ocupados. Por lo tanto, el sistema de recogida neumática, no es modulable dependiendo de la capacidad de recogida.

Para profundizar en el proceso de desarrollo del cálculo del inventario de los distintos flujos materiales y energéticos durante el ciclo de vida del sistema, dirigirse al *ANEXO II: Inventarios de los análisis de ciclo de vida (ACV)*.

SECCIÓN IV: INVENTARIO DEL SISTEMA CONTENERIZADO DE RECOGIDA DE RSU DE VALDESPARTERA

1 SISTEMA A ESTUDIAR

Las administraciones locales españolas con competencias en la gestión de residuos municipales son los encargados de definir el modelo de recogida más adecuado, considerando las características propias de cada municipio o agrupación municipal., como son la densidad de población, tipo de viviendas, hábitos de consumo, etc.

Existen varios métodos de recogida implantados en la ciudad de Zaragoza. Hasta el año 2008, los sistemas de recogida mayoritariamente implantados en la ciudad de Zaragoza eran la recogida con vehículo de carga trasera y manual. Sin embargo, en Marzo del año 2008 se adjudicó a Fomento de Construcciones y Contratas (FCC) la prestación del servicio de recogida de basuras de la ciudad por un periodo de 12 años por un valor de 61,3 millones de € anuales.

En esta nueva adjudicación, FCC ofrece varias novedades para la prestación del servicio como son un tren de lavado exterior de vehículos, un túnel robotizado para lavado intensivo de contenedores, una estación de EDAR de tratamiento de agua de lavado y una estación de transferencia de residuos para la optimización de recursos.

El sistema de recogida implantado en Zaragoza es de recogida selectiva específica de envases ligeros (plásticos aluminio, acero y cartones de bebida), haciéndose hincapié en la selección de esta fracción. Para ello existen fundamentalmente dos tipos de recogida selectiva en función de dónde se ubiquen los contenedores; recogida selectiva en acera y recogida selectiva en áreas de aportación.

Como se comentó anteriormente, es necesario implantar una recogida de RSU por contenedores hipotética, en el barrio de Valdespartera para poderlo comparar con el sistema existente actualmente. Debido a las características urbanísticas del barrio de Valdespartera, con largas y amplias avenidas con bloques de viviendas compactos, el sistema más eficiente para ser implantado en este barrio, es la recogida selectiva en áreas de aportación de contenedores de gran volumen, realizando la recogida de estos con vehículos de carga lateral de gran tonelaje.

Para más información de la descripción de este sistema de recogida de residuos, ver *ANEXO II: Inventarios de los análisis de ciclo de vida (ACV).*

1.1 CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA

Para calcular el inventario del ciclo de vida es necesario conocer la dotación total de contenedores, vehículos recolectores y lavadores necesarios para proporcionar un servicio de recogida de calidad y sostenible.

Para simplificar el sistema, se va a usar únicamente un vehículo lavador para la limpieza de los contenedores prescindiendo del túnel de lavado y de la dotación que se desplaza con un vehículo ligero para el correcto lavado exterior con una lanza a presión.

Para favorecer la recogida de datos, se ha recopilado, usando como fuente otros proyectos [41], en una tabla las variables más importantes para poder realizar el estudio. El valor de algunas ellas solo sirve de orientación. Algunos de estos datos orientativos son la dotación de contenedores, la frecuencia de recogida y la distancia entre áreas de aportación, que como se verá, se calcularán más adelante.

También, destacar que algunas variables no se van a tener en cuenta, como es el porcentaje de otras fracciones no correspondientes contenidas en los contenedores (% de impropios), ya que no se evaluó en la recogida neumática. Otra es el consumo de combustible del camión, ya que el inventario del transporte se calcula como toneladas por kilómetro para poder introducirlo a SimaPro como un impacto de debido al transporte.

En la tabla siguiente se muestran todas las variables a tener en cuenta para poder realizar un correcto inventario del sistema contenerizado.

DATOS TÉCNICOS	Envases ligeros	Restos + materia orgánica
Dotación de contenedores (litros/hab)	7.5	10.5
Capacidad del contenedor (litros)	3200	3200
Vida útil contenedor (años)	10	10
Frecuencia de lavado de contenedores (veces /año)	12	12
Agua para lavado (litros)	40	50
Llenado medio contenedores (%)	65	65
% reposición anual	5	15
Frecuencia de recogida (veces / semana)	2 o 3	7
% impropios en el contenedor	30	5
capacidad del vehículo de transporte (litros)	25000	25000
Densidad residuos en contenedor (kg/m ³)	25	120
Densidad residuos en camión (kg/m ³)	150	600
vida útil camión (años)	10	10
Consumo combustible (litros/100km)	40	45
Distancia media entre contenedores (metros)	150	150

21. Tabla datos técnicos para la recogida contenerizada de carga lateral [41]

Para el estudio del sistema contenerizado, se van a establecer los dos escenarios de recogida de basura desarrollados usados con anterioridad para el ACV del sistema neumático, uno el escenario actual de recogida y el otro el hipotético caso de que la urbanización de Valdespartera esté totalmente desarrollada según lo estipulado en proyecto.

1.2 SIMPLIFICACIÓN DEL SISTEMA

Primeramente, comentar que dadas las dificultades presentadas para la adquisición de datos reales de operación de un sistema contenerizado y la complejidad de cálculo de un sistema real, se ha simplificado el cálculo del sistema contenerizado. Las simplificaciones realizadas se muestran a continuación:

- La generación de residuos se reparte a partes iguales en cada uno de los contenedores. En la realidad se intenta que sea así, pero luego en la práctica siempre se deposita más basura en un contenedor que en otro, originando problemas de saturación. Por lo que muchas veces se requiere una proceso de realimentación de información entre conductores de los vehículos recolectores y las personas encargadas de la gestión del servicio.
- Para solucionar el problema anterior, se ha establecido un porcentaje de llenado del 65 % para evitar saturaciones en momentos puntuales como puedan ser las Navidades.
- La densidad de los residuos permanece inalterable temporalmente y geográficamente. Suposición discutible, ya que los hábitos de la población varían en el tiempo y dependiendo de su condición social.
- La densidad de los residuos una vez compactados en el interior del vehículo recolector, también permanece inalterable en el tiempo.
- Se ha obviado el porcentaje de impropios no correspondiente a la fracción sometida a estudio, ya que no se ha tenido en cuenta en el ACV del sistema neumático.
- Se realiza una recogida cada dos días para todas las dos fracciones en el escenario de recogida actual y la recogida será diaria para las dos fracciones en el escenario de capacidad máxima.
- Todas las variables de operación del sistema permanecen constantes durante toda la vida útil.
- No se usa ninguna herramienta de optimización para la situación de áreas de aportación, sino que se usan las ubicaciones actuales de los contenedores soterrados.

Se sitúan más contenedores o se suprimen, ya que el número de contenedores soterrados no coincide con los necesarios en la recogida de carga lateral para ninguno de los dos escenarios.

- No se usa ninguna herramienta de optimización para el itinerario de recogida, que se plantea sobre el mapa de Valdespartera de la forma más óptima posible. Destacar que el itinerario es independiente del escenario de recogida, habiendo de realizar el camión recolector, más o menos paradas para la descarga de los contenedores.

1.3 ESCENARIO DE RECOGIDA ACTUAL DEL SISTEMA

En el primero de ellos, se recogerá la cantidad de basura correspondiente a las fracciones de envases y restos + materia orgánica, que actualmente se recoge en la Eco-Ciudad Valdespartera mediante recogida neumática. De esta manera, se puede comparar el impacto ambiental de ambos sistemas si este uso de la instalación se mantiene hasta el final de su vida útil.

Teniendo en cuenta este escenario de recogida, se va a calcular la dotación de contenedores de cada fracción necesaria instalar para un correcto servicio de recogida. El procedimiento de cálculo se va a describir una sola vez ya que es el mismo para cada una de las fracciones independientemente del escenario de recogida planteado.

1.3.1 Cálculo de las variables de operación del sistema

Sabiendo, la cantidad de basura que se debe recoger de cada una de las fracciones en Valdespartera, la densidad de cada fracción en el interior del contenedor y la frecuencia de recogida, se puede saber el volumen que ocuparán los residuos en el interior de los contenedores hasta que el camión recolector los recoja.

$$V_{Basura_Contenedor} (m^3) = \frac{Peso\ Residuo \times Día (kg)}{\rho_{Residuo_contenedor} (\frac{kg}{m^3})} \cdot FrecuenciaRecogida(cada\ n^o\ dias)$$

Como el volumen del contenedor a instalar es un dato fijo, $3,2\ m^3$ se puede saber la dotación total de contenedores para alojar toda la basura producida entre dos recogidas de basura.

$$N^o\ Contenedores = \frac{V_{Basura_contenedor} (m^3)}{3,2}$$

Sin embargo, puede suceder que el volumen de la caja del camión, que es de 25.000 litros, no pueda alojar todo los residuos de una fracción depositados en un día teniendo que realizar varios trayectos en un mismo día. Entonces se calcula el volumen que ocupa los residuos de cada fracción, en el interior de la caja compactadora del vehículo recolector sabiendo la densidad de estos una vez compactados.

$$V_{Basura_{camión}}(m^3) = \frac{Peso\ Residuo\ x\ Día\ (kg)}{\rho_{Residuo_camión} \left(\frac{kg}{m^3}\right)}$$

$$N^o\ Trayectos = \frac{V_{Basura_{camión}}(m^3)}{25}$$

En este caso, se supone un contenedor por cada emplazamiento, ya que el número de contenedores es muy reducido y los ciudadanos se tendrían que desplazar cientos de metros hasta su área de aportación.

Para la evaluación de la distancia del itinerario de recogida, se han situado todas las áreas de aportación sobre un plano de Valdespartera que son las actuales áreas de aportación de las fracciones de vidrio y papel – cartón. Posteriormente, se ha planteado un itinerario de recogida lo más optimizado posible dentro de las posibilidades de la resolución gráfica. El número de áreas de aportación situadas sobre el plano, es mayor que las que realmente existen, sin embargo el itinerario sería idéntico. Únicamente, se deben suprimir aquellos contenedores que se encuentren más próximos entre sí.

Además, se ha situado el edificio de oficinas y el parking de vehículos en el mismo lugar en el que se encuentra actualmente la central de recogida. La resolución del itinerario de recogida, se muestra a continuación.



22. Plano de la distribución de áreas de aportación y del itinerario de recogida en el barrio de Valdespartera [Elaboración propia], [43]

Contabilizando cada uno de los tramos mostrados en el plano anterior, se obtiene una distancia total de 13881 metros.

1.3.1.1 Fracción de envases

ENVASES	
Volumen envases en contenedor (m ³)	88,27
Volumen envases en camión (m ³)	14,71
Nº Contenedores (ud)	43
Distancia recorrida (m)	13881
Peso basura por contenedor (kg)	51,32
Frecuencia de recogida (cada nº días)	2
Nº de trayectos	1
Nº Emplazamientos	43

23. Tabla de datos de operación de la recogida contenerizada de la fracción de envases en el escenario actual

1.3.1.2 Fracción de Materia Orgánica + Resto

MATERIA ORGÁNICA	
Volumen envases en contenedor (m ³)	100,83
Volumen envases en camión (m ³)	20,17
Nº Contenedores (ud)	49
Distancia recorrida (m)	13881
Peso basura por contenedor (kg)	247
Frecuencia de recogida (cada nº días)	2
Nº de trayectos	1
Nº Emplazamientos	49

24. Tabla de datos de operación de la recogida contenerizada de la fracción de M.O en el escenario actual

1.4 ESCENARIO DE RECOGIDA DE CAPACIDAD MÁXIMA

Para el segundo escenario de recogida, se debe diseñar un sistema de recogida contenerizado que sea capaz de recoger las dos fracciones sometidas a estudio, suponiendo la generación de basura que se preveía para toda la urbanización de Valdespartera según proyecto.

1.4.1.1 Cálculo de las variables de operación del sistema

Teniendo en cuenta este escenario de recogida, se va a calcular la dotación de contenedores de cada fracción necesaria instalar para un correcto servicio de recogida. El procedimiento de cálculo es el desarrollado anteriormente para el escenario actual de recogida.

Debido a que la cantidad de residuos a recoger en este escenario es muy elevada, se van a instalar dos contenedores de cada una de las fracciones de RSU sometidas a estudio por cada área de aportación.

1.4.1.2 Fracción de envases

ENVASES	
Volumen envases en contenedor (m ³)	329,84
Volumen envases en camión (m ³)	54,97
Nº Contenedores (ud)	159
Distancia recorrida (m)	13881
Peso basura por contenedor (kg)	51,86
Frecuencia de recogida (cada nº días)	1
Nº de trayectos	3
Nº Emplazamientos	80

25. Tabla de datos de operación de la recogida contenerizada de la fracción de envases en el escenario de capacidad máxima

1.4.1.3 Fracción de Materia Orgánica + Resto

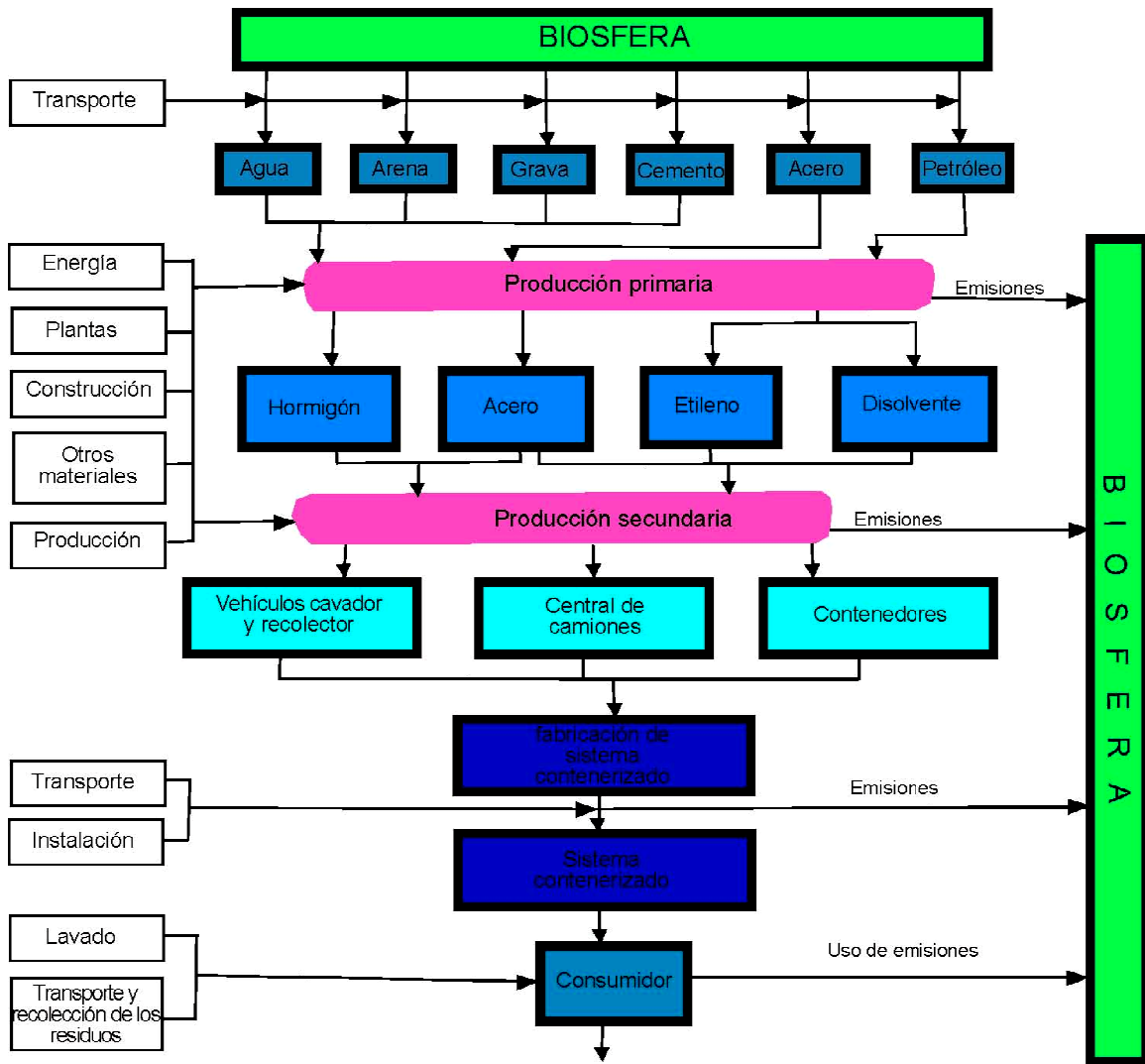
MATERIA ORGÁNICA	
Volumen envases en contenedor (m ³)	376,80
Volumen envases en camión (m ³)	75,36
Nº Contenedores (ud)	182
Distancia recorrida (m)	13881
Peso basura por contenedor (kg)	248,44
Frecuencia de recogida (cada nº días)	1
Nº de trayectos	4
Nº Emplazamientos	91

26. Tabla de datos de operación de la recogida contenerizada de la fracción de M.O en el escenario de capacidad máxima

2 INVENTARIO

En el análisis del inventario se pretende cuantificar las entradas y salidas en el ciclo de vida del sistema de recogida contenerizado de RSU (entradas de energía, entradas de materia prima, emisiones atmosféricas, al agua, etc.), definiendo claramente cuáles son los límites del sistema, es decir, que materiales y procesos productivos son objeto de estudio y cuáles no.

Tras identificar estas entradas y salidas del sistema, el objetivo es desarrollar un diagrama que plasme dichas entradas y salidas identificándolas previamente. En la siguiente figura, se muestra el diagrama de flujo asociado al sistema contenerizado de recogida de RSU. En ella, se observan todos los flujos entrantes y salientes del sistema durante toda su vida útil, los cuales son extraídos del ambiente natural o bien emitidos a él.



27. Esquema de flujos asociados al inventario sistema contenerizado
[Elaboración propia]

El sistema estudiado se divide en 3 fases principales que producen impacto ambiental:

2.1 PRODUCCIÓN

En el apartado de producción se va a tener en cuenta la producción de todos los elementos necesarios para el servicio de recogida. Estos elementos son: los contenedores, los vehículos recolectores y lavadores con sus equipos de compactación y lavado respectivamente, edificio desde donde se gestiona el servicio, que es usado como almacén y lugar de estacionamiento de los vehículos.

El impacto ambiental comienza con la extracción de las materias primas y energía del entorno natural para la fabricación de cada componente del sistema contenerizado. Posteriormente, se transporta esta materia prima a la planta de procesado. Seguidamente, se

transporta el material en bruto para su transformación en componentes de la instalación, donde se tiene en cuenta el material de fabricación y algunos procesos de fabricación de los que se dispone datos de impacto ambiental (como la inyección del plástico de los contenedores).

En cambio, se carece información de impacto ambiental de muchos otros procesos de fabricación (doblado, corte de chapa...), que además apenas van a tener un impacto significativo en el estudio, teniendo en cuenta que la fase de uso es la más importante.

Descripción más detallada de la obtención del inventario de producción de los elementos que constituyen el sistema contenerizado en, *ANEXO II: Inventarios de los análisis de ciclo de vida (ACV)*.

2.2 TRANSPORTE

En este sentido, se va a tener en cuenta el transporte de cada uno de los componentes de la instalación desde el lugar de fabricación hasta el emplazamiento del sistema de recogida de RSU contenerizado situado en Valdespartera.

Descripción más detallada de la obtención del inventario de transporte en, *ANEXO II: Inventarios de los análisis de ciclo de vida (ACV)*.

2.3 USO

En el uso de la instalación se van a tener en cuenta todos los flujos de energía y material necesarios para la explotación de la instalación, que principalmente se constituyen por la energía eléctrica consumida por el edificio de gestión y el gasoil necesario para recoger y transportar las dos fracciones de basura sometidas a estudio (materia orgánica + resto y envases de plástico) de todos los contenedores repartidos en distintas ubicaciones en el barrio de Valdespartera hasta el complejo de tratamiento de residuos, ubicado en el Polígono denominado Parque Tecnológico de Reciclaje (PTR).

Además, en este caso, es necesario tener en consideración el consumo de agua con detergente derivado del lavado de los contenedores, ya que hay un excesivo consumo de agua o el uso de detergentes con productos contaminantes, puede afectar considerablemente al impacto ambiental. Además, también se debe tener en cuenta el consumo de gasoil del vehículo lavacontenedores para desplazarse siguiendo el mismo itinerario usado para la recogida, contabilizándolo como un transporte usando como carga el peso del equipo de lavado y el agua contenida en la cisterna.

Para más detalle, mirar *ANEXO II: Inventarios de los análisis de ciclo de vida (ACV)*.

SECCION V: EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Los sistemas de evaluación de impacto ambiental usados, son los siguientes:

- IPCC 2007 (Potencial de calentamiento global)
- Acumulación de energía primaria
- Eco-Indicador 99
- CML 2000

Entre las etapas definidas en la fase de análisis de impacto en la metodología del ACV, se evaluó las etapas de caracterización. Esta etapa, implica la aplicación de modelos para obtener un indicador ambiental en cada categoría de impacto, unificando a una cantidad de referencia todas las sustancias clasificadas dentro de la categoría mediante el empleo de factores de peso o equivalencia.

Para una descripción más detallada de cada uno de los métodos de evaluación usados en el presente proyecto, dirigirse al *ANEXO III: Evaluación de impacto ambiental*.

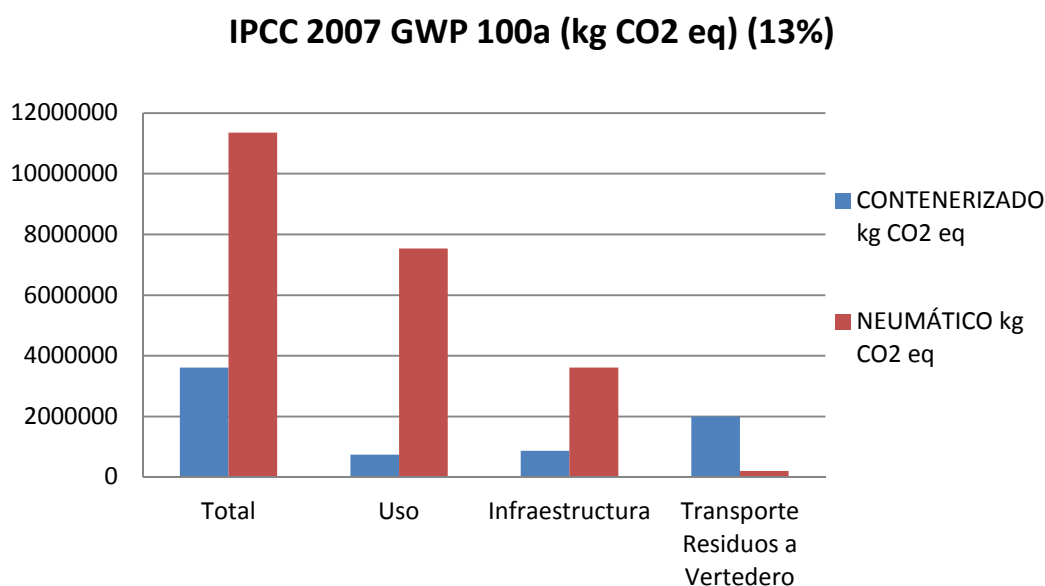
Como el objetivo principal del proyecto es la comparación de ambos sistemas de recogida de residuos, en esta sección únicamente se va a mostrar la comparación de ambos sistemas usando los cuatro métodos de evaluación de impacto ambiental enumerados anteriormente.

Para mayor detalle sobre la evaluación de impacto ambiental por separado de ambos métodos de recogida de RSU, dirigirse al *ANEXO III: Evaluación de impacto ambiental*.

1 COMPARATIVA DE SISTEMA NEUMÁTICO Y CONTENERIZADO DE RECOGIDA DE RSU

1.1 ESCENARIO DE RECOGIDA ACTUAL

1.1.1 IPCC 2007 GWP a 100 años

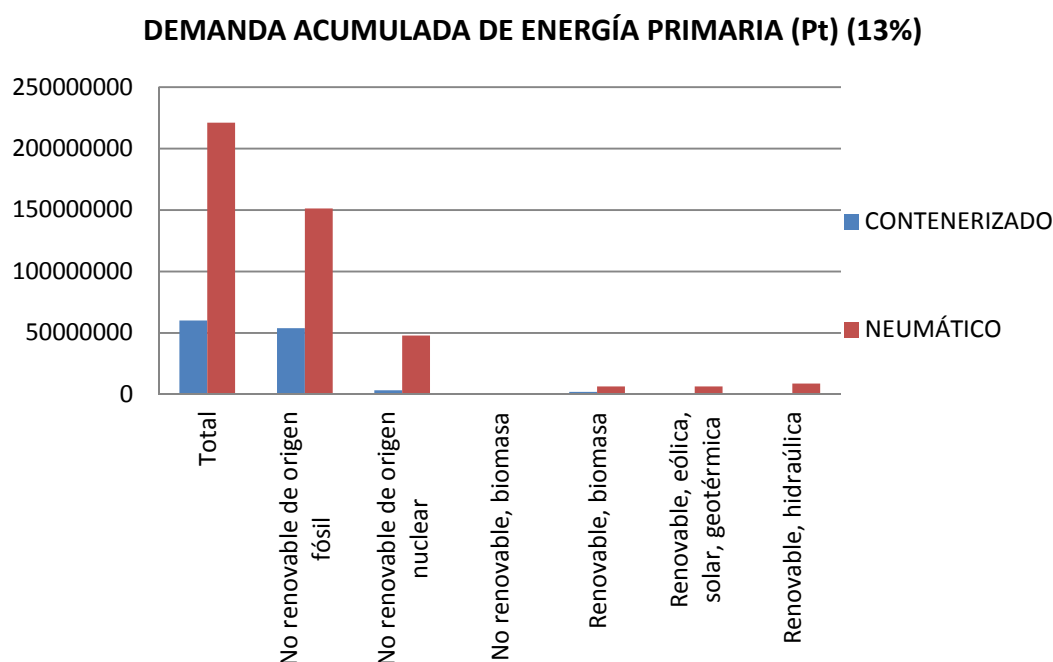


28. Comparación sistemas de recogida de residuos. IPCC 2007 100 a. Escenario de recogida actual

Destacar, que no se va a entrar a comparar ambos sistemas para un porcentaje de utilización de los sistemas del 13 %, ya que todos los indicadores de evaluación de impacto ambiental son peores para el caso de la recogida neumática.

Para comparar objetivamente ambos sistemas se debe acudir al 100% de utilización del sistema, ya que en el caso neumático ninguna parte de la infraestructura es modulable y además, el consumo específico de energía eléctrica por tonelada de residuos recogida se dispara cuando el sistema no trabaja en capacidad nominal.

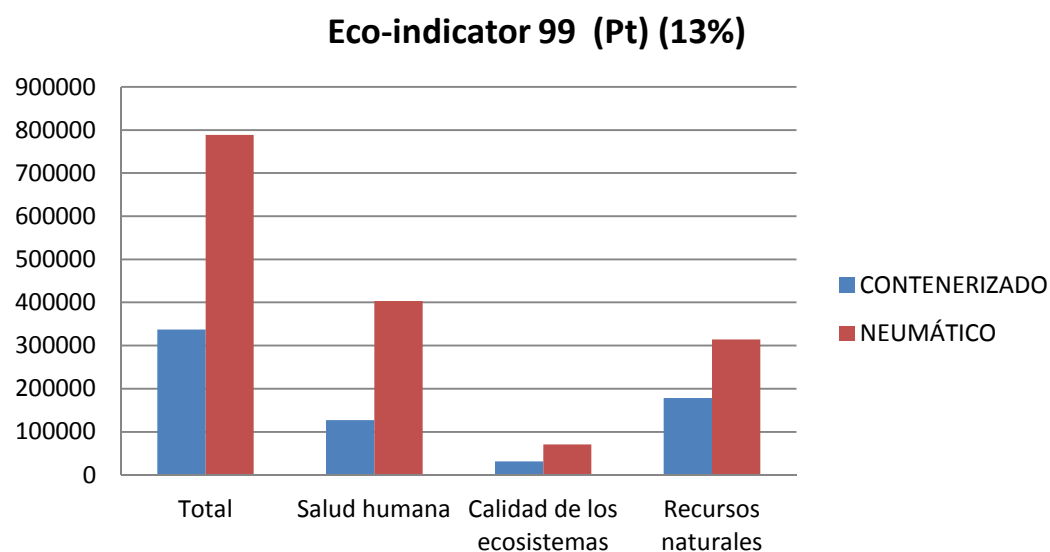
1.1.2 Demanda acumulada de energía primaria



29. Comparación sistemas de recogida de residuos. Demanda acumulada de energía primaria. Escenario de recogida actual.

1.1.3 Eco – Indicador 99

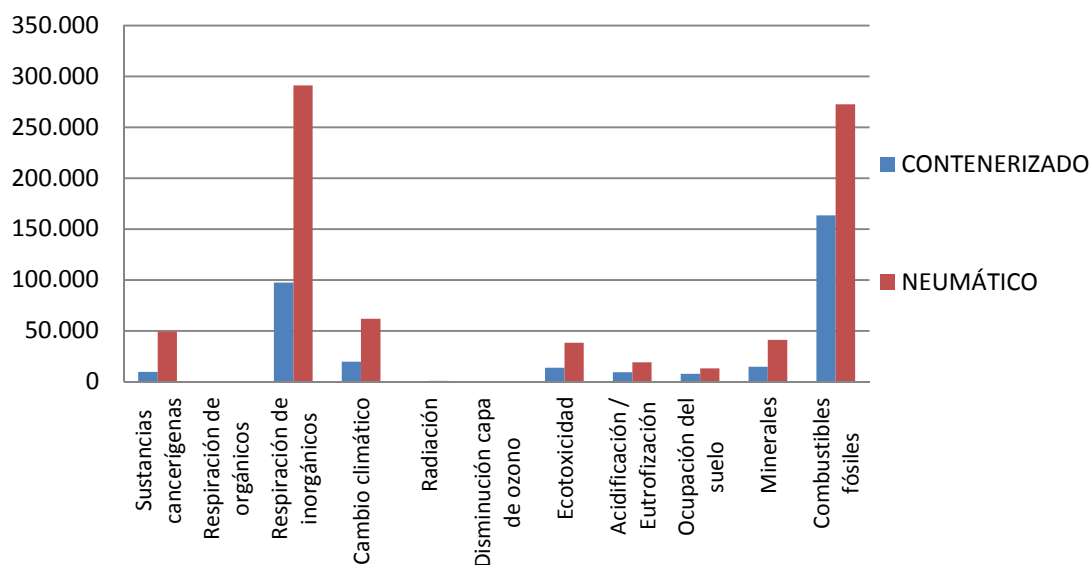
1.1.3.1 Categorías de daño



30. Comparación sistemas de recogida de residuos. Eco – Indicador 99. Categoría de daño. Escenario de recogida actual.

1.1.3.2 Categoría de impacto

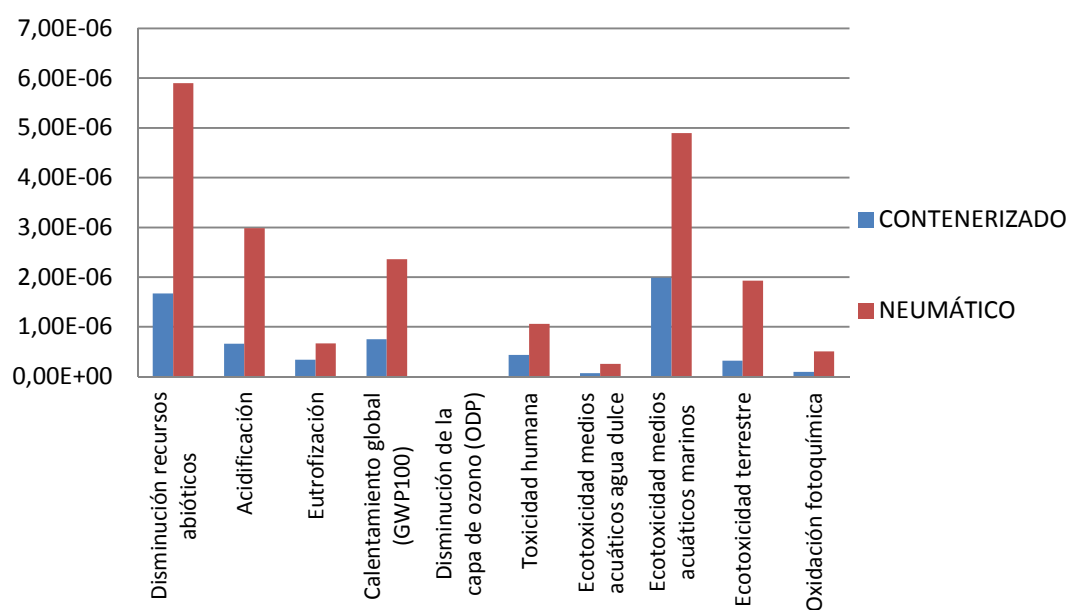
Eco-indicator 99 (Pt) (13%)



31. Comparación sistemas de recogida de residuos. Eco – Indicador 99.
Categoría de impacto. Escenario de recogida actual.

1.1.4 CML 2 baseline 2000

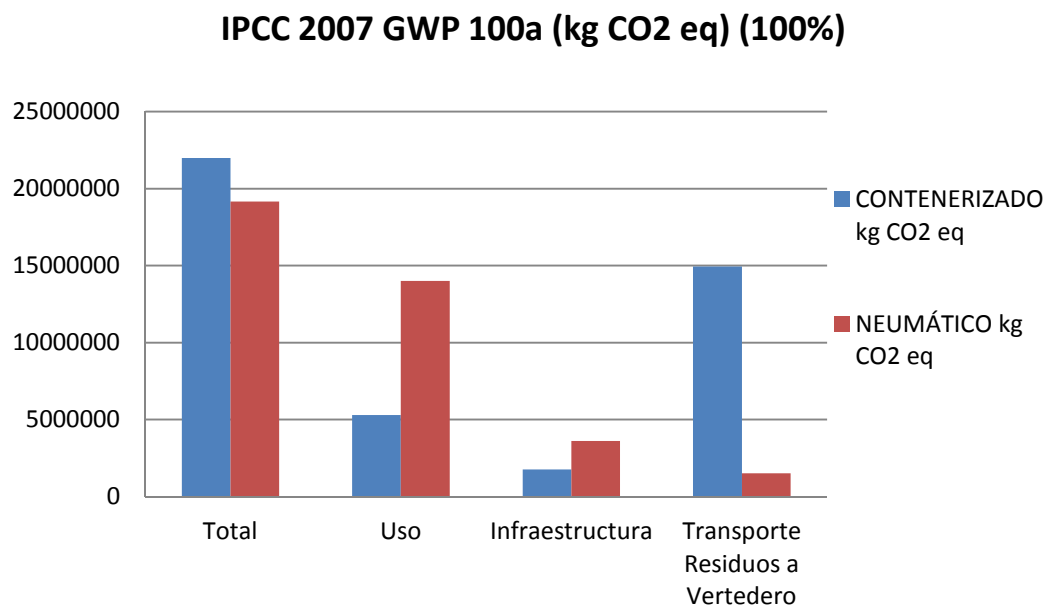
CML 2 baseline 2000 (Pt) (13%)



32. Comparación sistemas de recogida de residuos. CML 2 Baseline 2000. Escenario de recogida actual.

1.2 ESCENARIO DE RECOGIDA DE CAPACIDAD MÁXIMA

1.2.1 IPCC 2007 GWP a 100 años



33. Comparación sistemas de recogida de residuos. IPCC 2007 100 a. *Escenario de recogida de capacidad máxima*

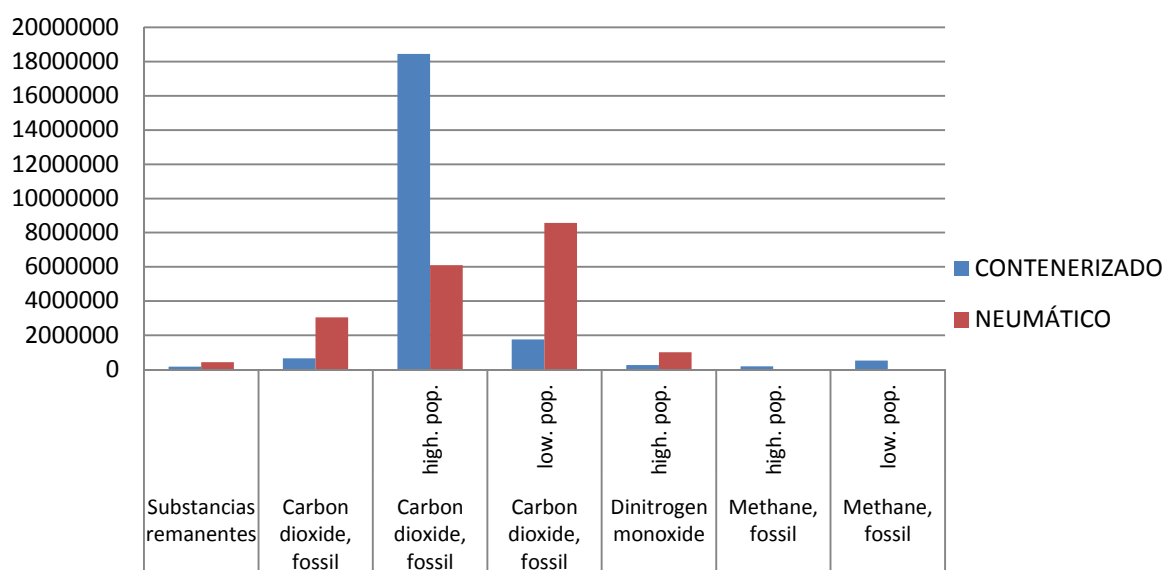
El inventario del transporte de los residuos al vertedero, es el mismo para ambos sistemas de recogida de residuos. En cambio, en el sistema contenerizado el potencial de calentamiento global, es mucho mayor. Esto se debe, principalmente a que el inventario de transporte de la base de datos ecoinvent usado, difiere de un sistema a otro. En el sistema neumático se usa un camión de transporte, en cambio en el sistema contenerizado se usa un camión de recolección de basuras con un consumo específico contabilizado en t*km mucho mayor que en el caso anterior debido a las características del camión.

Los camiones de recolección de residuos, son vehículos cuyo uso para transporte interurbano no es aconsejable debido a que su transmisión optimiza el consumo para realizar cortos desplazamientos, a baja velocidad con múltiples paradas en las áreas de aportación. Por ello, cuando la distancia entre el final del recorrido de recolección y el centro de recuperación de materiales es más de 40 Km, se suele usar una estación de transferencia para trasladar los residuos mediante contenedores, como se hace en el sistema neumático, donde los residuos están mucho más compactados optimizándose el transporte. Aunque, en este caso la distancia es de 20 Km se podría realizar un análisis económico para ver la viabilidad de la instalación de una estación de transferencia.

Sin embargo, comparando el subsistema de uso, que es el que realiza la recolección, el sistema neumático sale bastante desfavorecido. Este subsistema compara el consumo eléctrico en el sistema neumático, con el consumo de gasoil en el caso del sistema contenerizado.

Por tanto, en lo que respecta al potencial de calentamiento global total, el sistema neumático afecta en menor medida a este indicador haciendo que el sistema sea más sostenible para futuras generaciones.

IPCC 2007 GWP 100a (kg CO₂ eq) (100%)



34. Comparación sistemas de recogida de residuos. IPCC 2007 100 a, Sustancias. Escenario de recogida de capacidad máxima

En la gráfica anterior, se observa que el sistema contenerizado emite la mayor cantidad de dióxido de carbono en áreas con alta densidad de población, ya que es procedente de los motores de combustión interna de los vehículos que emiten este gas directamente en la zona donde se implanta el servicio de recogida, afectando a los ciudadanos que disfrutan de este.

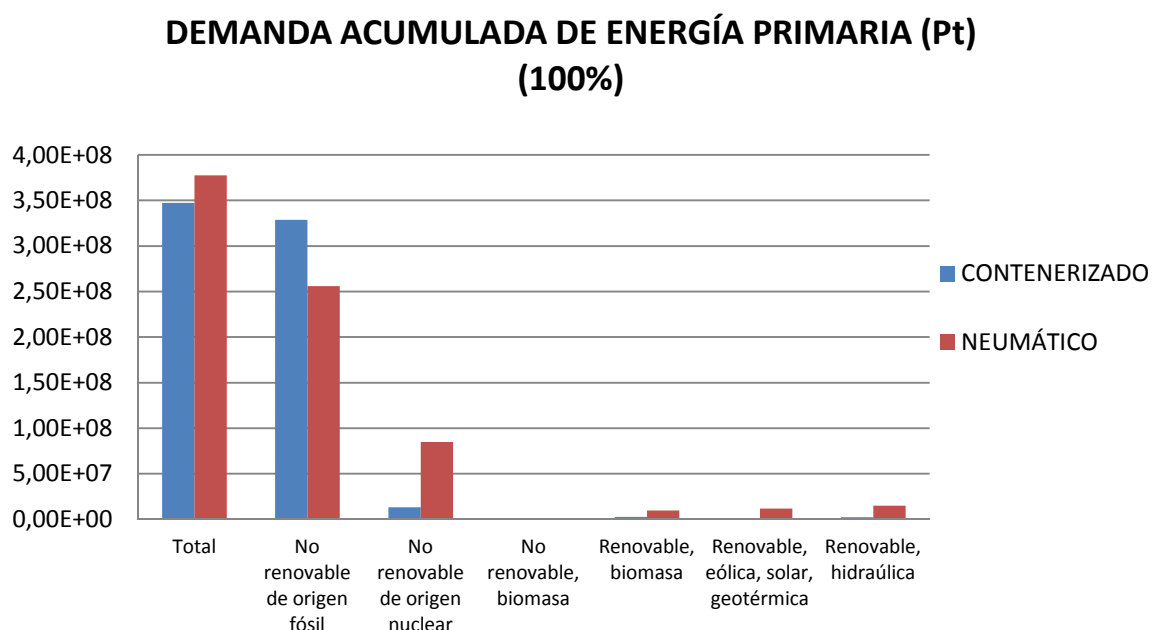
En cambio, el dióxido de carbono mayoritario emitido en por el sistema neumático que procede de la producción de energía eléctrica se emite en zonas sin grandes núcleos de población. Aunque, también hay una parte que es emitido directamente en la zona de estudio debido a los vehículos que transportan los residuos desde la central de recogida hasta el vertedero.

Por tanto, la emisión de sustancias contaminantes es mucho más perjudicial en el caso de la recogida contenerizada debido a que se emite mayor cantidad de sustancias, y además de

una forma más localizada, pudiendo provocar efectos secundarios en la zona, como el smog fotoquímico.

En cambio, el sistema neumático como funciona con energía eléctrica, las sustancias contaminantes son en su gran mayoría emitidas en los lugares de generación de esta con salvedad de las sustancias emitidas por el camión de transporte desde la central de recogida al vertedero.

1.2.2 Demanda acumulada de energía primaria



35. Comparación sistemas de recogida de residuos. Demanda acumulada de energía primaria. Escenario de recogida de capacidad máxima.

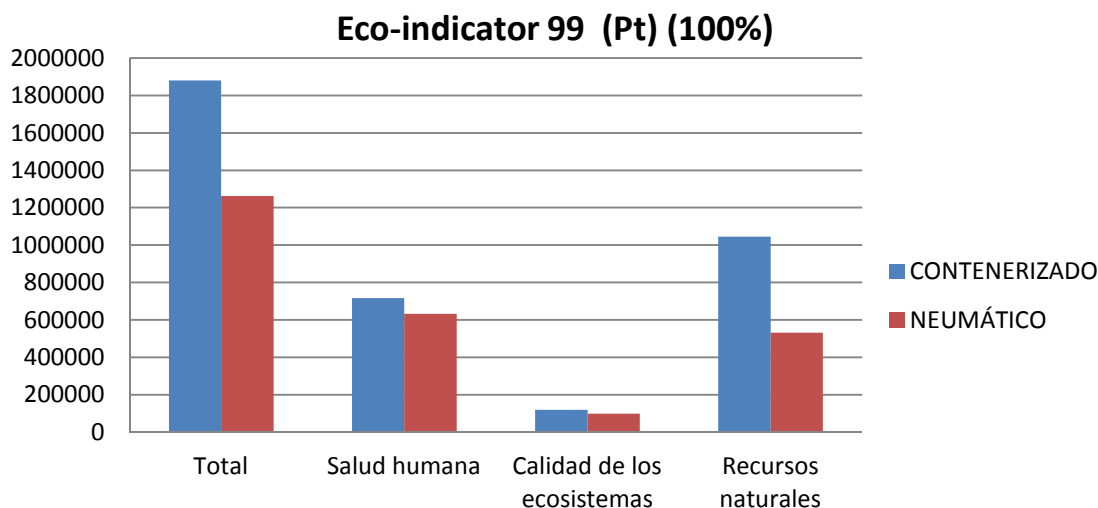
La demanda de energía primaria, nos da información, de que fuentes de energía primarias se necesita extraer recursos para el funcionamiento de cualquier sistema.

En el gráfico anterior, se muestra, que el sistema neumático usa mayor cantidad de energía primaria en su vida útil. Sin embargo, si nos centramos en recursos renovables y no renovables, el sistema neumático usa fuentes de energía primaria renovables, que son más sostenibles. Tal es el caso de la energía de la biomasa, eólica, geotérmica e hidráulica.

Esto se debe, a que el sistema contenerizado usa mayoritariamente combustibles fósiles para el funcionamiento de los motores de combustión interna. En cambio, el sistema neumático funciona principalmente con energía eléctrica, haciendo que el mix-eléctrico español defina la demanda de energía primaria.

1.2.3 Eco – Indicador 99

1.2.3.1 *Categoría de daño*



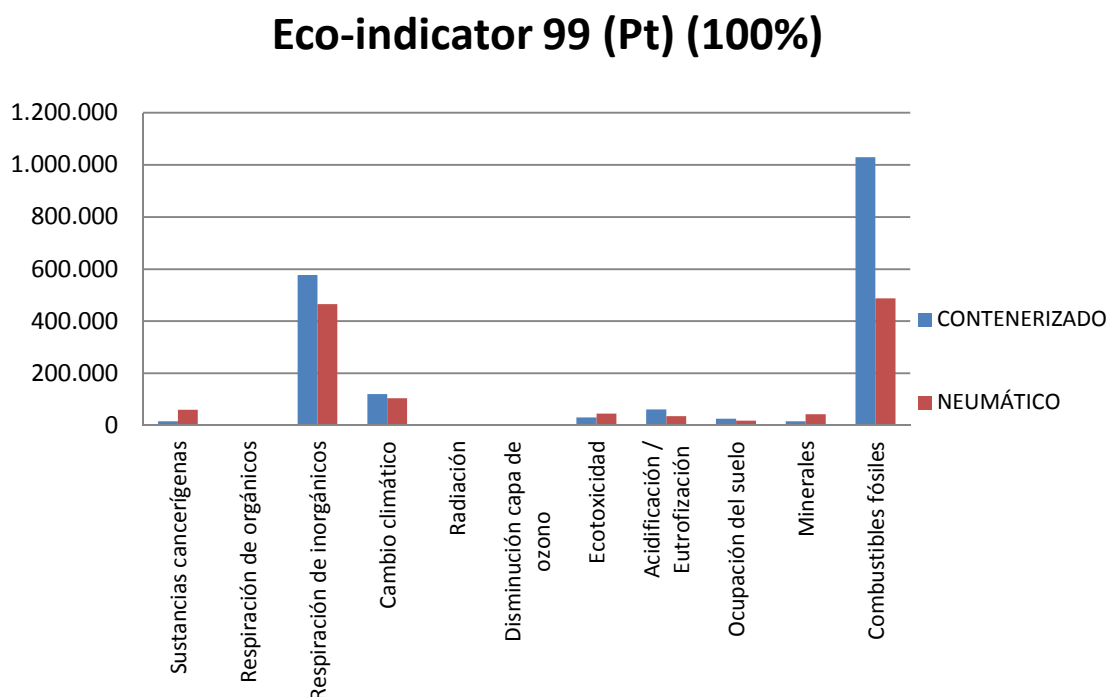
*36. Comparación sistemas de recogida de residuos. Eco – Indicador 99.
Categoría de daño. Escenario de recogida de capacidad máxima*

Hasta, ahora se ha analizado el impacto de ambos sistemas respecto al potencial de calentamiento global y el uso de energía primaria. Sin embargo, existen otras categorías de daño provocadas por otras categorías de impacto, que no se tienen en consideración los métodos de evaluación de impacto ambiental anteriores, y que serían interesantes analizar.

El Eco – Indicador 99 analiza otras categorías de daño que se deben a otras categorías de impacto que serán analizadas en el apartado siguiente.

Como se observa en el gráfico número 36, el sistema contenerizado afecta en mayor medida a cada una de las categorías de daño analizadas por este indicador. Hay que prestar especial atención a la categoría de daño referente a los recursos naturales donde la diferencia entre un sistema y otro es bastante significativa. Por tanto, el sistema contenerizado va a ser menos sostenible para las generaciones futuras haciendo que se agoten los recursos naturales y se requiera más energía para extraerlos. Por tanto, será necesario buscar alternativas al gasoil como combustible para los vehículos de transporte.

1.2.3.2 Categoría de impacto



37. Comparación sistemas de recogida de residuos. Eco – Indicador 99. Categoría de impacto. Escenario de recogida de capacidad máxima

En la gráfica anterior, se muestran las categorías de impacto que provocan los daños anteriormente analizados.

La respiración de inorgánicos y la disminución de los combustibles fósiles son las dos categorías de impacto más dañinas en ambos sistemas.

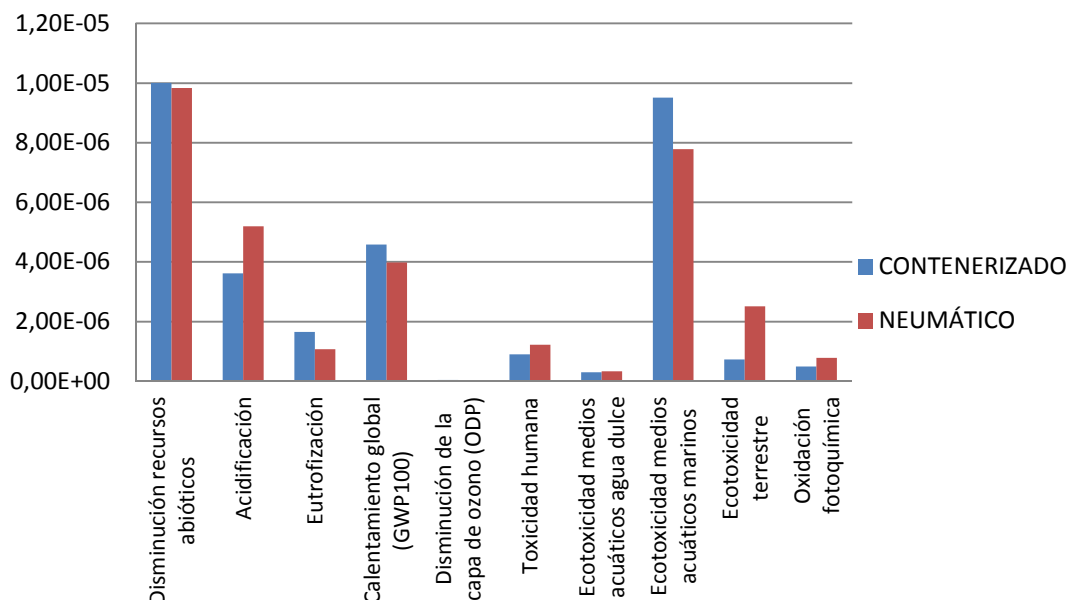
La disminución de los combustibles fósiles, es mucho mayor en el sistema contenerizado. En el futuro provocará dificultad en la extracción de los mismos, que hará que la energía específica para extraerlos aumente exponencialmente, desfavoreciendo la sostenibilidad del sistema contenerizado frente al neumático.

La respiración de inorgánicos afecta en distinto ámbito. Mientras que, en la recogida contenerizada afecta a la zona de uso del sistema perjudicando la salud de los ciudadanos que en ella viven, en la recogida neumática la mayor parte de estos inorgánicos son emitidos en las zonas de producción de la energía eléctrica de forma muy dispersa, afectando mucho menos a la salud de los humanos.

Sucede de la misma forma para todas las categorías de impacto. En la recogida contenerizada estos impactos están localizados en la zona de uso del sistema, en cambio en el sistema neumático están dispersos por todas las zonas de producción de energía eléctrica.

1.2.4 CML 2 baseline 2000

CML 2 baseline 2000 (Pt) (100%)



38. Comparación sistemas de recogida de residuos. CML 2 Baseline 2000. Escenario de recogida de capacidad máxima.

El potencial de calentamiento global analizado por el sistema CML 2 baseline 2000 es el mismo que analizaba el IPCC 2007 GWP. Además, se observa que su peso respecto a otras categorías de impacto es bastante significativo. Por tanto, las conclusiones son las asociadas al análisis de los resultados del IPCC 2007 GWP.

Las categorías de daño más significativas son la disminución de recursos abióticos, la eco-toxicidad de los medios acuáticos marinos, la acidificación y el potencial de calentamiento global.

La disminución de los recursos abióticos presenta la casi el mismo peso para ambos métodos de recogida de RSU, al contrario de lo que ocurría en el Eco-Indicador 99. Esto se debe, a que el Eco-Indicador 99 tiene en cuenta el aumento de la energía para la extracción del recurso, en cambio el CLM 2000, lo calcula como una disminución total de la masa de cada recurso, aunque si bien pueden ir apareciendo nuevas reservas durante la vida útil de los sistemas.

La eutrofización, tiene más importancia para el sistema contenerizado, más acusada, teniendo en cuenta el carácter local de este impacto, que puede provocar una disminución del

oxígeno diluido en los ríos circundantes a la instalación. Esto, puede provocar un daño irreversible a los eco-sistemas allí presentes.

La acidificación es más importante en el sistema neumático. En cambio, el efecto de la dispersión de los procesos contaminantes hace que el daño provocado por el sistema neumático sea menor que en el caso del contenerizado, en el que estas emisiones están concentradas en la zona de implantación del sistema. Lo mismo sucede para las categorías de impacto de la toxicidad humana y terrestre, y la oxidación fotoquímica.

Además, destacar que la oxidación fotoquímica puede acarrear otros efectos secundarios como el smog fotoquímico, si estos contaminantes se encuentran concentrados geográficamente como sucede en la recogida contenerizada.

SECCION VI: INTERPRETACIÓN DEL CICLO DE VIDA

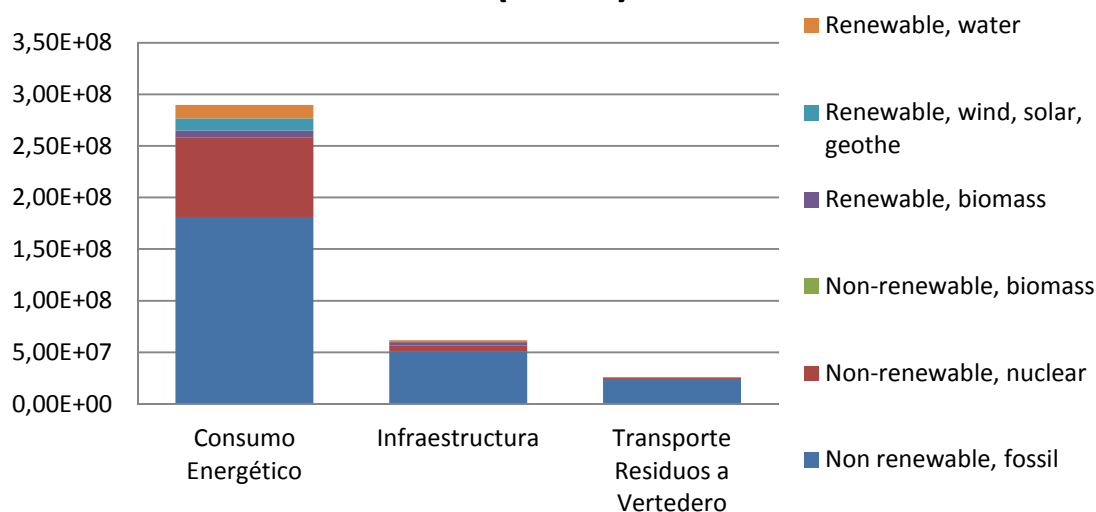
1 SISTEMA NEUMÁTICO

1.1 INTERPRETACIÓN DEL CICLO DE VIDA

Desde el punto de vista de análisis de los impacto ambientales, en la recogida neumática se sustituye una parte de los impactos producidos en un ámbito local, por las emisiones debidas a la producción de energía eléctrica consumida, in situ.

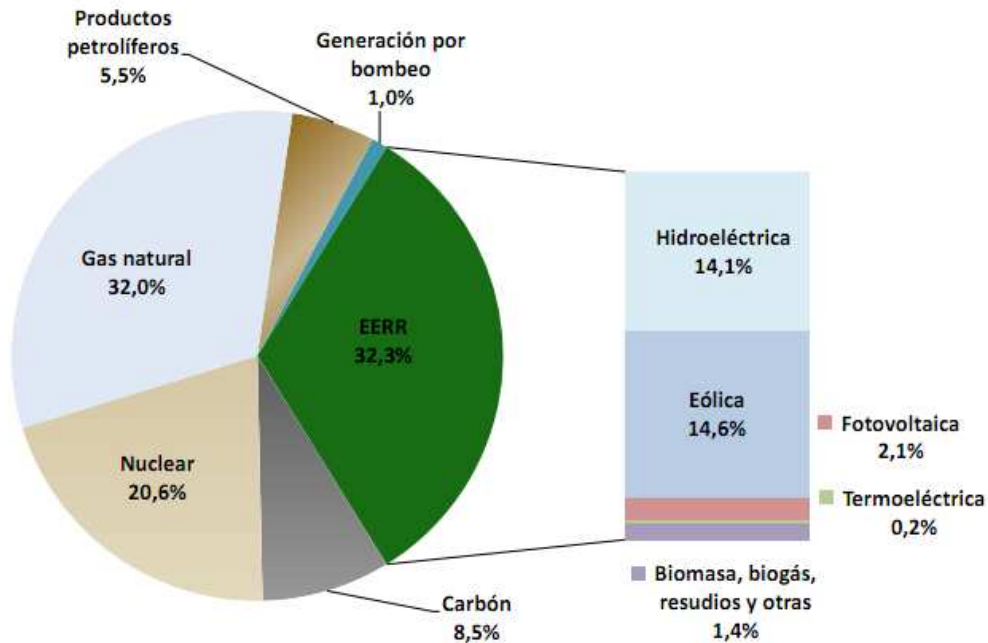
El consumo de energía eléctrica es muy importante en el balance energético total, el impacto generado dependerá de la fuente energética utilizada para la producción de energía eléctrica. En el gráfico siguiente, se muestra la proporción de cada fase del ciclo de vida a la demanda de energía primaria cuando el sistema trabaje al 100% de su capacidad. Como se puede observar el consumo energético representa más del 60% de la demanda de energía primaria.

Demanda acumulada energía primaria (Pt) (100%)



39. Diagrama de barras. Flujos materiales y energéticos. Demanda acumulada de energía primaria. Sistema neumático completo. Escenario de capacidad máxima.

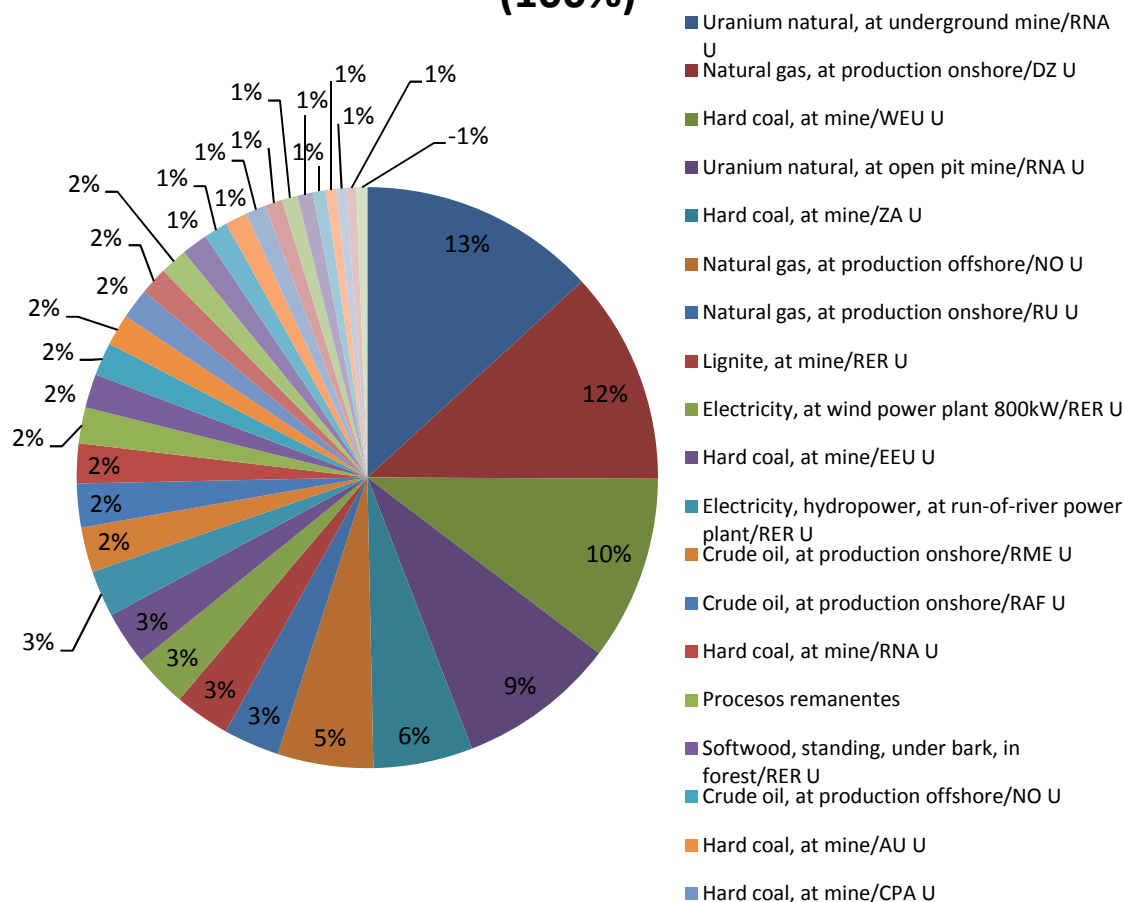
En España, el modelo de cálculo para la estimación de emisiones a la atmósfera y sus impactos derivados se basa en un mix de generación eléctrico bastante dependiente de los combustibles fósiles como se muestra en el gráfico siguiente.



40. Estructura del mix de producción eléctrica española en el año 2010 [47]

Por tanto, se debe prestar especial atención en el consumo eléctrico y tratar de reducirlo todo lo posible. Los demás impactos ambientales derivados del consumo eléctrico, también son provocados por la alta dependencia de España de los productos derivados del petróleo. Además, el vehículo de transporte de residuos desde la central de recogida hasta al lugar de valoración consume gasoil, por lo que España es más si cabe dependiente de los productos derivados del petróleo. En la gráfica siguiente, se muestran que procesos, son los que más energía primaria requieren.

Demanda acumulada energía primaria (Pt) (100%)



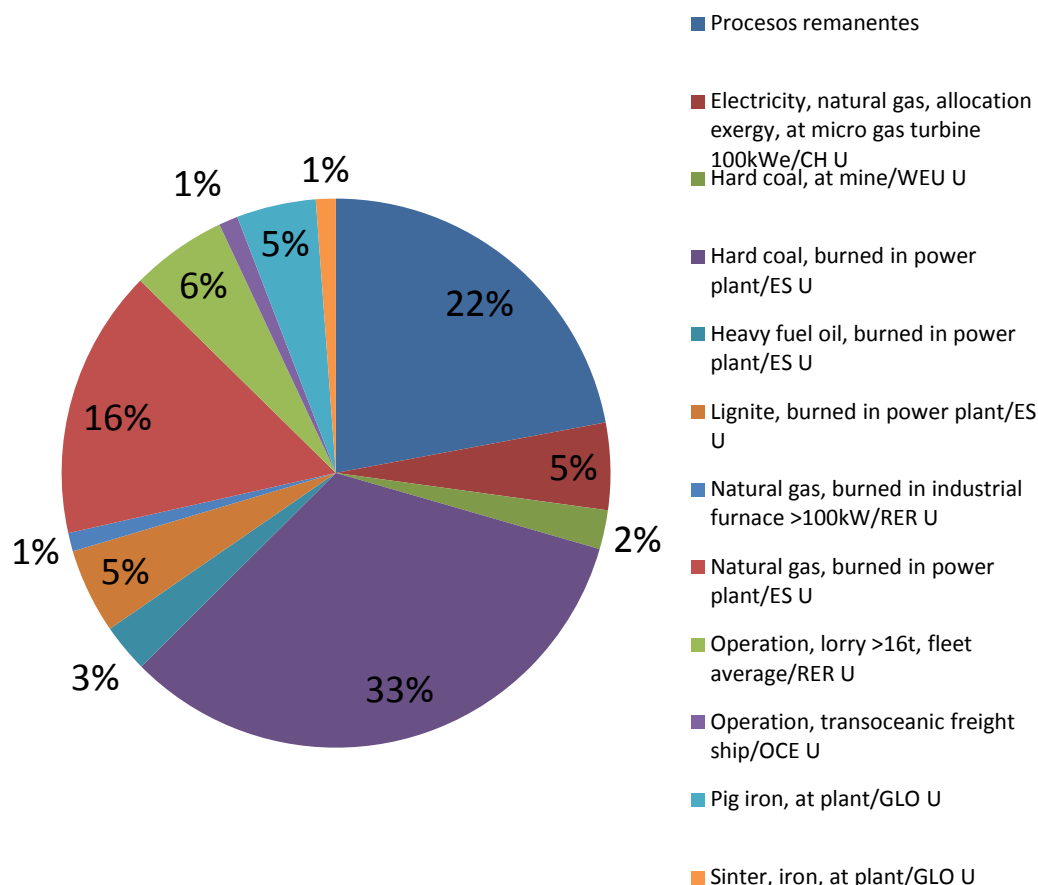
41. Diagrama de sectores circulares. Procesos. Demanda acumulada de energía primaria. Sistema neumático completo. Escenario de capacidad máxima.

Se puede ver, que los procesos que derivan de la producción de energía eléctrica por medios no renovables predominan en la demanda de energía primaria durante todo el ciclo de vida.

Sin embargo, los impactos ambientales debidos a la generación de la energía consumida, aunque pueden tener efectos locales, en la casi totalidad de los casos, estos impactos tienen una localización geográfica diferente de las áreas de recogida. Esto puede tener importancia cuando se trate de impactos con efectos globales como puede ser el potencial de calentamiento global.

En el gráfico siguiente, se muestra la importancia de los procesos de generación de energía eléctrica en el potencial de calentamiento global total del sistema en su vida útil.

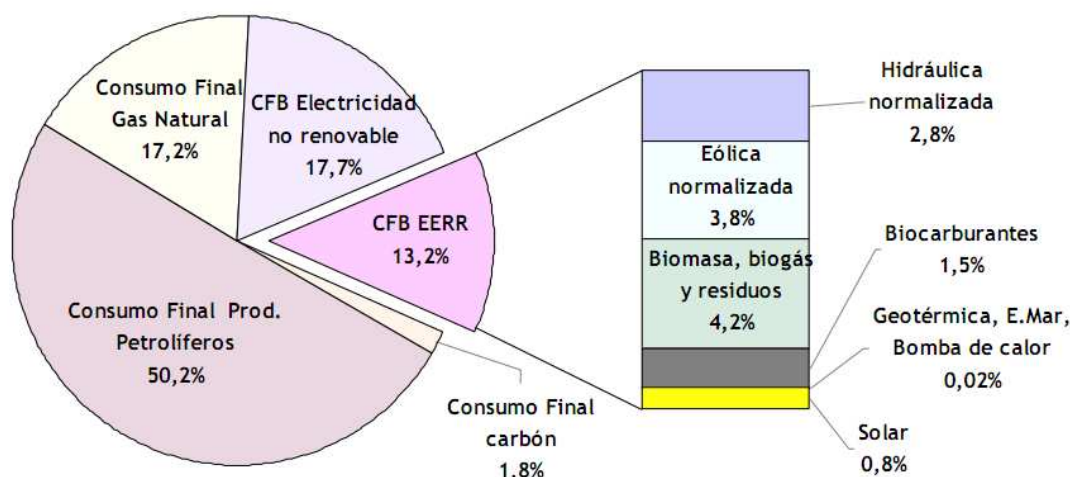
IPCC 2007 GWP 100a kg CO₂ eq (100%)



42. Diagrama de sectores circulares. Procesos. IPCC GWP a 100 años. Sistema neumático completo. Escenario capacidad máxima.

Como se puede ver la contribución al potencial del calentamiento global de los procesos derivados de la producción de energía eléctrica es muy alta, con un 65 %.

Además, teniendo en cuenta que casi todos los procesos usados para la fabricación de la infraestructura utilizan como fuente energética la eléctrica o productos derivados del petróleo, hace que la energía se extraiga en su gran mayoría de productos derivados del petróleo. Esto viene derivado de la estructura energética española que se muestra a continuación.



43. Consumo final bruto de energía en España en el año 2010 [47]

1.2 CONCLUSIONES LIMITACIONES Y MEJORAS

El modelo de recogida neumática debe considerarse de manera distinta a la recogida mediante contenedores. Actualmente existen en el mercado solo dos distribuidores, y las condiciones de construcción se ajustan a la normativa y planificación urbanística, con las calidades normalizadas correspondientes, más que a criterios de tipo ambiental. Por lo que, no se puede hacer nada directamente para reducir el impacto ambiental de la infraestructura. Todos los procesos de producción de la infraestructura usan o energía eléctrica o productos derivados del petróleo. Por lo que en España, tenemos un grave problema de dependencia energética exterior.

En lo que respecta al transporte de los equipamientos, su contribución al impacto ambiental es casi despreciable como se puede ver en el *ANEXO III: Evaluación de impacto ambiental*.

No obstante, la eficiencia de este modelo debe dirigirse hacia un menor consumo específico por tonelada de residuos recogidos y un menor uso de energía eléctrica basada en fuentes no renovables.

En el estudio de evaluación del impacto ambiental del ciclo de vida, se ha usado distinto valor para el consumo específico de energía eléctrica por tonelada de RSU recogida, para cada uno de los dos escenarios de recogida de residuos.

- Escenario actual: Se han usado datos reales de consumo y recogida, obteniéndose un consumo específico de 200 kWh / tonelada debido principalmente a que la instalación no trabaja a capacidad nominal, a la ausencia de variadores de

frecuencia que regulen la potencia necesaria y al mal uso que se le da al sistema originando numerosos atascos, que hacen aumentar el consumo específico.

- Escenario de capacidad máxima: El consumo específico usado es de 50 kWh / tonelada. Supone que la instalación está totalmente optimizada con las últimas tecnologías de control de los programas de recogida.

Este tipo de instalaciones tiene el problema de la no modularidad de la infraestructura, debiendo de instalar una infraestructura capaz de recoger todos los residuos generados por la actuación urbanística completa. Por lo que actualmente, está recogiendo el 13 % de residuos de su capacidad, provocando además, unos consumos específicos elevadísimos como se ha comentado anteriormente. Esto, conlleva que todos los indicadores ambientales sean totalmente desfavorables respecto a la recogida contenerizada en este escenario de recogida, como se ha visto en el apartado anterior.

Actualmente, aunque la instalación estuviera trabajando a capacidad nominal, nunca llegaría a trabajar con un consumo específico de 50 kWh / tonelada, ya que el diseño de la instalación data del año 2003. Por tanto, algunas medidas que se podrían implantar para intentar mejorar el consumo eléctrico son las siguientes:

- Intentar optimizar el programa de recogida intentando que los buzones en el momento de la recogida estén lo más lleno posible, suprimiendo la recogida por horario con la que es imposible asegurarlo.
- Instalar variadores de frecuencia, que optimice la potencia requerida a la potencia disponible en cada momento dependiendo de cuantos buzones se estén recogiendo, del tipo de fracción a recoger (densidad de la fracción), la distancia a la que están situados los buzones..., actualmente la regulación de potencia se hace por unidades de motores en funcionamiento.
- Intentar reducir el consumo de arranque de los motores, o bien mediante los variadores de frecuencias anteriores o dejando que los motores trabajen en vacío con un consumo casi nulo entre programas de recogida. Actualmente, se hace con un arranque estrella-triángulo.

Para reducir la dependencia de los derivados del petróleo, se podría instalar en la cubierta del edificio de la recogida de residuos algún sistema de generación de energía eléctrica individual haciendo que la instalación produzca su propia energía eléctrica, no dependiendo del exterior y evitando posibles problemas derivados de la falta de suministro eléctrico. Esto se podría hacer con una de las tecnologías de energía renovable disponibles en el mercado, como paneles fotovoltaicos o aerogeneradores de pequeña potencia.

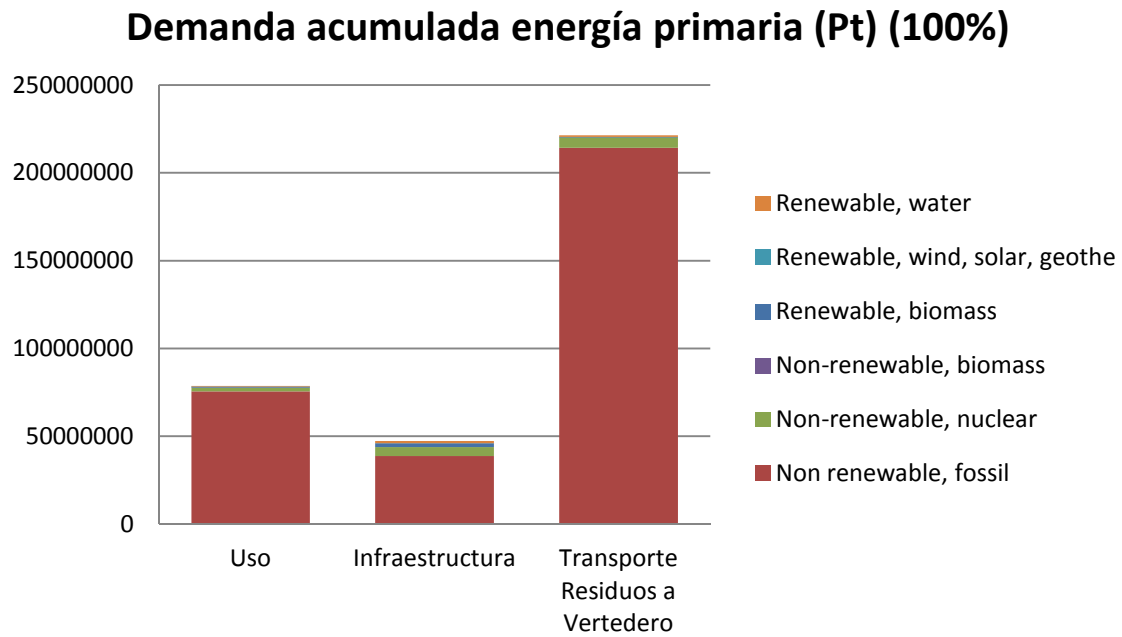
Otra alternativa, a la no modularidad de la instalación, sería la instalación de un sistema neumático móvil, en el que los residuos son aspirados por un camión de recogida en vez de por una central fija. De esta forma, se puede realizar la instalación completa y recoger solo aquellas zonas en las que se están produciendo residuos.

Por último, para evitar atascos y/o obturaciones de la red de tuberías por el uso impropio del sistema se debe realizar una campaña informativa sobre las consecuencias del mal uso de la instalación.

2 SISTEMA CONTENERIZADO

2.1 INTERPRETACIÓN DEL CICLO DE VIDA

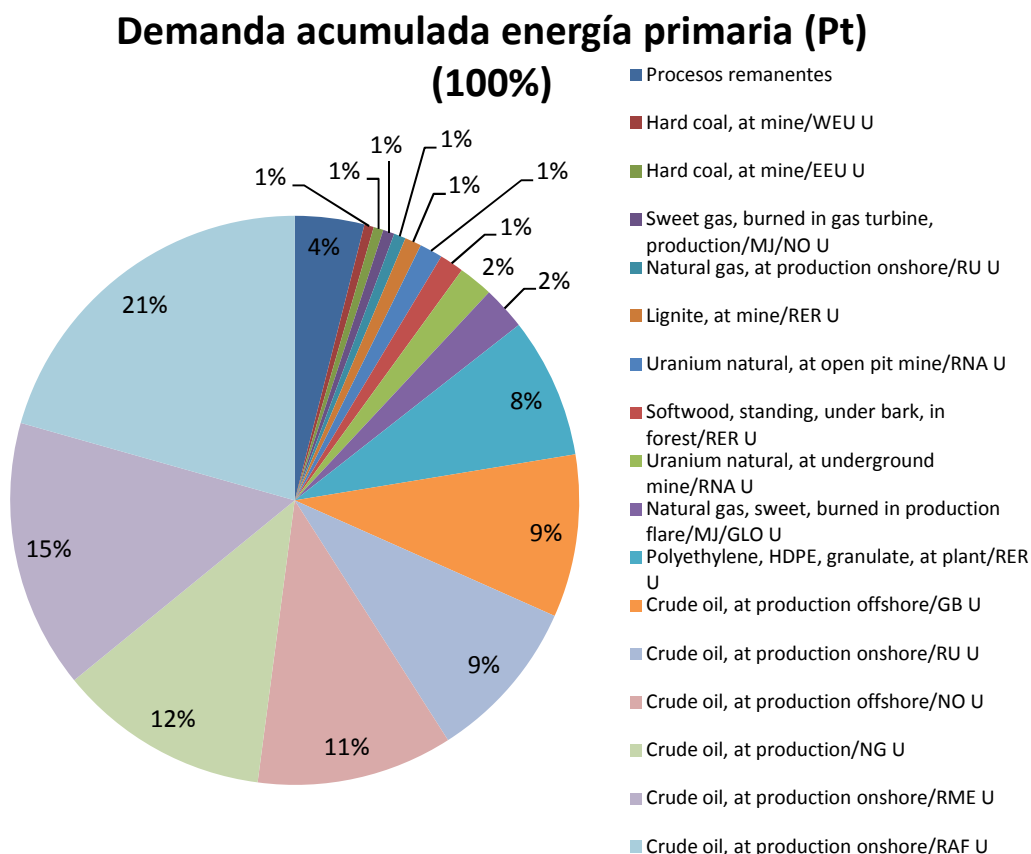
El impacto ambiental del ciclo de vida del sistema de recogida de residuos contenerizado, es derivado mayoritariamente de la operación del sistema, constituido por dos de los tres subsistemas principales analizados, el uso y el transporte de los residuos al vertedero. Estos sistemas, utilizan fundamentalmente combustibles fósiles, en su gran mayoría gasoil para el funcionamiento de los motores de combustión interna tanto de los vehículos recolectores como lavadores. Por tanto, el impacto es derivado mayoritariamente de procesos de combustión en motores de combustión interna. En la siguiente gráfica se muestra, la procedencia de la energía usada.



44. Diagrama de barras. Flujos materiales y energéticos. Demanda acumulada de energía primaria. Sistema contenerizado completo.

Este sistema, es más dependiente si cabe de los combustibles fósiles que el sistema neumático. Este sistema, usa combustibles fósiles para casi todos los procesos durante su vida útil.

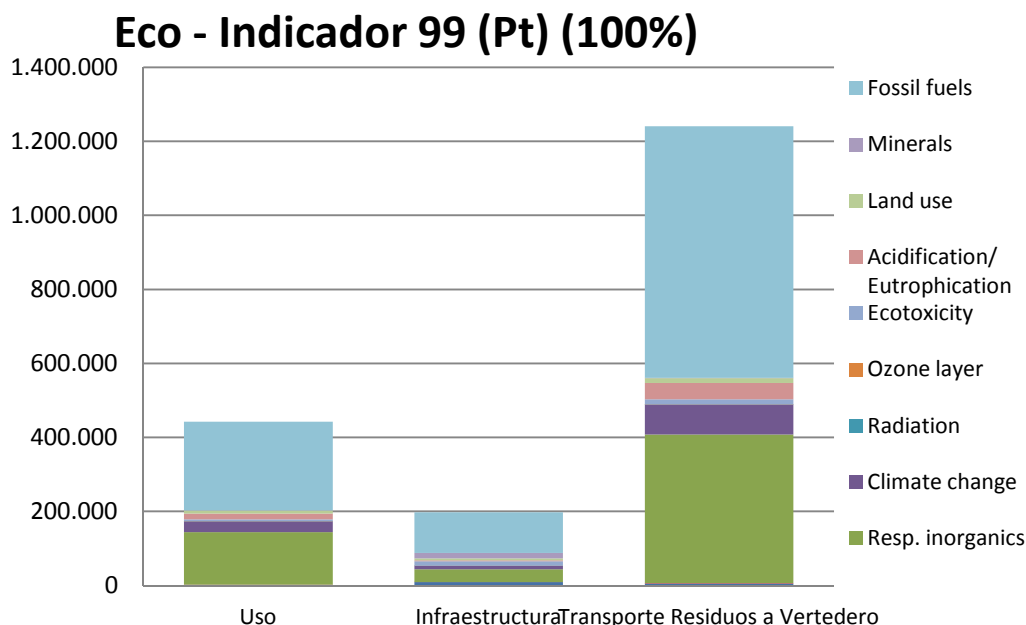
A continuación, se muestra la proporción de la demanda de energía primaria requerida por cada proceso durante toda la vida útil del sistema.



45. *Diagrama de sectores circulares. Procesos. Demanda acumulada de energía primaria. Sistema contenerizado. Escenario de capacidad máxima.*

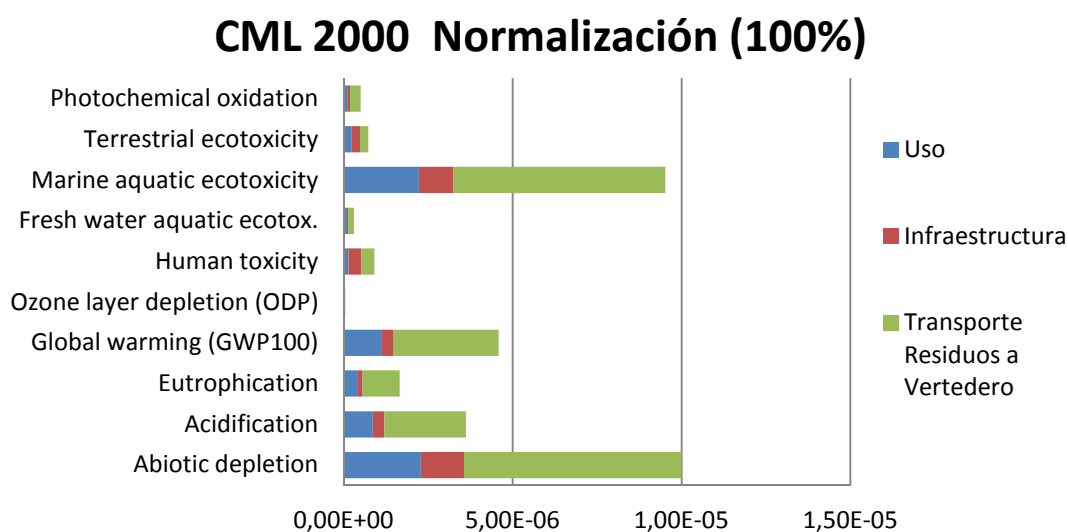
Se puede ver que la producción de petróleo por diversos métodos y en zonas geográficas distintas, necesita un 77% de la demanda de energía primaria total de todo el sistema en su vida útil.

En este sentido, como los vehículos de recolectores y lavadores operan en la zona donde se implanta el servicio, los ciudadanos que disfrutan del servicio de recogida se ven directamente afectados por las categorías de impacto que este sistema provoca. Esto sucede al contrario de lo que ocurría en el sistema neumático.



46. Diagrama de barras. Categorías de impacto. Eco – Indicador 99. Sistema contenerizado completo.

Por tanto, los ciudadanos que disfrutan del servicio y las zonas donde se implanta el sistema, se ven afectados directamente por la respiración de inorgánicos y acidificación / eutrofización respectivamente. Estas categorías de impacto, son derivadas del uso y del transporte de los residuos al vertedero que son categorías de impacto bastante significativas, junto a otras pero que afectan a nivel global como puedan ser el agotamiento de los combustibles fósiles, el cambio climático o la eco-toxicidad de los medios acuáticos marinos.



47. Diagrama de barras. Normalización. CML 2000. Sistema contenerizado completo.

2.2 **CONCLUSIONES LIMITACIONES Y MEJORAS**

Primeramente, señalar que este sistema es completamente modulable excepto la central de camiones que debe ser diseñado para la producción máxima de basura de la actuación urbanística. Por ello, sus indicadores ambientales para el caso del escenario actual son infinitamente más favorables que en el caso de la recogida neumática.

El lavado de los contenedores apenas contribuye a ningún indicador medioambiental, en cambio en la eco-toxicidad terrestre provocada por el detergente es donde hay que prestar especial atención. Este problema, no debería preocupar ya que el detergente usado nunca se deposita en la vía pública, sino que el proceso de lavado tiene lugar en el interior del vehículo lavador y cuyas aguas residuales son depuradas antes de su vertido. El consumo de agua, apenas contribuye a ningún indicador ambiental. (Ver *ANEXO III: Evaluación de impacto ambiental*).

En este sistema, el transporte de equipamientos, también es despreciable frente al resto de flujos materiales y energéticos.

Existe gran diferencia entre los consumos específicos del transporte mediante un vehículo específico de transporte y el vehículo recolector. Se ha comentado, que el consumo específico por tonelada y kilometro transportado de un vehículo de transporte es acusadamente menor que el que presenta un vehículo recolector. Para la evaluación de impacto ambiental se ha usado en este caso un vehículo recolector tanto para el itinerario de recogida, incluido en la fase de uso, como para el transporte desde el final de este itinerario al lugar de valoración, incluido en el transporte de los residuos a vertedero.

Se deben plantear mejoras a este sistema para mejorar el aspecto medioambiental del sistema. Algunas de las mejoras son las siguientes:

- Usar vehículos de mayor capacidad.
- Usar vehículos de bajo consumo específico o vehículos de propulsión mediante combustibles alternativos, ya sea gas licuado del petróleo, biodiesel, que producen menos contaminantes o vehículos eléctricos, pero solucionando la dependencia eléctrica de los combustibles fósiles. Los vehículos eléctricos solucionarían los problemas de emisiones en el lugar de implantación del sistema.
- Incorporar vehículos que cumplan la norma Euro 5 y 6, que reducen la emisión de contaminantes.
- Disminuir u optimizar la distancia al punto de descarga. Se ha comentado en el *ANEXO II: Inventarios de los análisis de ciclo de vida*, que la estación de transferencia, es aconsejable para distancias mayores a 40 Km. Sin embargo, como

se ha visto el transporte de los residuos al vertedero, es sin duda la fase del ciclo de vida menos sostenible, por tanto, se podría plantear la central de camiones como una estación de transferencia para realizar este transporte en camiones específicos para este fin.

SECCION VII: CONCLUSIONES

La conclusión final del PFC, es que desde el punto de vista medioambiental la recogida neumática ha sido una buena elección siendo un sistema más sostenible que el contenerizado. Además, los impactos ambientales no se encuentran localizados en una zona como en el caso de la recogida contenerizada, sino que se encuentra dispersos por los lugares de generación de energía eléctrica y de producción de la infraestructura.

Además, destacar que el sistema neumático es menos dependiente de los productos derivados del petróleo que la recogida contenerizada.

Sin embargo, el sistema neumático no es modulable debiéndose instalar una infraestructura para las previsiones de generación de residuos. En año 2011 la instalación trabajó a un 13 % de su máxima capacidad de recolección. Este problema, se pudo solucionar en futuras instalaciones con el sistema neumático móvil.

Además, el sistema neumático es más sensible a una mala utilización por parte de los usuarios, pudiendo dejar sin servicio a varias manzanas y haciendo que el consumo energético se dispare.

Por último, destacar la mejoría en la calidad de vida de los usuarios que ofrece el sistema neumático frente al contenerizado. Elimina malos olores, ruido, proliferación de animales y roedores en los contenedores, así como una cercanía de los puntos de vertido.

1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

Primeramente, el proyecto se ha introducido en un marco o contexto de trabajo en el que comenzar a trabajar. Para ello, se ha definido la situación actual en materia de generación de residuos a nivel nacional e internacional, mostrando la evolución de la producción de residuos en el tiempo, la proporción de cada fracción contenida en una bolsa tipo, la diferencia entre emplazamientos rurales y urbanos, y el porcentaje de cada tipo de valoración aplicado a los residuos en España...

Posteriormente, se han descrito todas las normativas aplicables a la gestión de residuos desde un ámbito comunitario, pasando por normativas estatales, autonómicas y hasta normativa aplicable únicamente a nivel local. Importante, destacar que la recogida de residuos es competencia de las administraciones locales (*ANEXO I: Introducción al proyecto*).

El proyecto, analiza dos sistemas de recogida medioambientalmente, el neumático y el contenerizado en áreas de aportación recogidas mediante vehículos de carga lateral. Por tanto, es necesario realizar un estudio de la técnica existente en materia de recogida de residuos. Se ha realizado una breve descripción de cada uno de los métodos de recogida de residuos existentes en la actualidad (*ANEXO I: Introducción al proyecto*), incluyendo un resumen de ventajas e inconvenientes de todos los sistemas.

Para el análisis medioambiental, se ha usado la herramienta del análisis de ciclo de vida (ACV), por lo que se ha definido claramente la forma de actuar para realizar este tipo de estudios, basándose en las Normas ISO 14040 / 44.

Para realizar el análisis de ciclo de vida, se ha establecido un objetivo y alcance del estudio, que debe recoger además de los conceptos indicados, la calidad de los datos, límites de los sistemas, herramienta informática usada...

Una vez se ha establecido el marco sobre el que realizar el ACV, se debe plantear el escenario de recogida de residuos para poder cuantificar ambos sistemas de recogida de residuos. Se establece en Valdespartera, ya que existe una instalación de recogida neumática y se plantea un sistema ficticio contenerizado en el barrio para poderlos comparar de una forma objetiva. Además, la producción de residuos actual no es la prevista por la actuación urbanística, por lo que se plantean dos escenarios con distintas cantidades: 100% y 13% de la cantidad de residuos que iba a generar Valdespartera.

Posteriormente, se deben cuantificar los flujos materiales y energéticos más significativos durante un periodo de 30 años (vida útil estimada de la recogida neumática) para realizar el inventario del ciclo de vida de ambos sistemas.

Seguidamente, se introducen ambos inventarios en una herramienta informática para facilitar la evaluación del inventario. Esta herramienta, se llama SimaPro, que además incluye diversas bases de datos con inventarios de los que alguno se usa. Para realizar la evaluación del inventario del ciclo de vida, se han usado cuatro métodos de evaluación de impacto ambiental.

Con posterioridad, se han presentado los resultados de ambos sistemas, realizando además una comparación entre ambos.

Por último, se interpreta el ciclo de vida de ambos sistemas, enumerando una serie de soluciones a los impactos más relevantes y problemáticos en lo que respecta a la sostenibilidad.

2 OTROS ASPECTOS

Los objetivos enumerados en la *SECCIÓN I: Introducción al proyecto final de carrera*, se han cumplido:

- Se ha realizado una revisión bibliográfica de los sistemas de recogida de RSU.
- Se ha estudiado el procedimiento del ACV según las Normas ISO 14040 / 44.
- Se ha comparado desde un punto de vista medioambiental y sostenibilidad, ambos sistemas de recogida de RSU, realizando dos ACV.
- Se han propuesto mejoras para ambos sistemas desde el punto de vista del ecodiseño.

Se han presentado numerosas dificultades durante la realización del proyecto:

El planteamiento del sistema contenerizado ha presentado diversas dificultades. La primera de ellas se debe a la negativa u omisión, del Ayuntamiento de Zaragoza y la empresa subcontratada para realizar este servicio en dicha ciudad, a proporcionar cualquier tipo de información relevante. Al final, la base de la información han sido numerosas publicaciones al respecto. El segundo problema, se debió a la optimización del sistema, resuelto de una forma bastante original.

En la elección del consumo específico por tonelada recogida del sistema neumático. Estableciendo al final una instalación ideal con los últimos avances existentes en la optimización del consumo energético. Para la contabilización de flujos materiales, se realizaron varias simplificaciones dado que el realizar un inventario detallado de esta instalación conlleva un excesivo trabajo, para la mejoría en los resultados que se puede obtener.

La realización de este proyecto, me lleva a la necesidad de plantear el sistema de generación de energía eléctrica individual mediante energías renovables para la instalación neumática, así como el estudio de las mejoras en el consumo planteadas en la *SECCIÓN VI: Interpretación del ciclo de vida*. Estos estudios se pueden plantear en estudios futuros o en otro posible PFC.

3 VALORACIÓN PERSONAL

Con la realización del presente PFC, he aprendido el proceso a seguir para realizar un ACV definido por las normas ISO 14040 / 44. Además, la recopilación de datos ha sido primordial para este proyecto, analizando diversas fuentes secundarias y acudiendo a informarme a fuentes primarias de información, aunque si bien en alguno de los casos sin demasiado éxito.

También, he conocido la cadena de la gestión de residuos, que se inicia con los sistemas aquí analizados, documentándome sobre normativa aplicable, estado actual de la gestión de residuos...

Quiero dejar claro en este PFC, mi preocupación en la dependencia energética que España tiene en el exterior, ya que como se ha visto, todos los impactos producidos por el sistema neumático derivan del mix – eléctrico español. Más preocupación todavía, cuando recientemente he leído en la prensa que la inversión en energía renovables se está reduciendo cada año a marchas forzadas.

Por último, destacar que la mayor contribución personal del proyecto final de carrera, se refiere a mi cambio de pensamiento en lo que respecta a la sostenibilidad y a las energías renovables, que parecen ser el futuro si no lo es la completa destrucción del planeta.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Gurriá, A (2008). OECD Environmental Outlook to 2030. Paris, Francia. ISBN 978-92-64-04048-9
- [2] Instituto Nacional de Estadística, estadísticas sobre el medio ambiente, Encuesta sobre recogida y tratamiento de residuos (2009)
- [3] Camacho, A. (2010). Anuario de Estadística 2010 del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid. Ed. Catálogo General de Publicaciones Oficiales. p. 1219.
- [4] Generación de residuos sólidos urbanos. Revista on-line ambientum Mayo 2003.
- [5] Gobierno de España (2011), Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, Artículo 12. Madrid, Ed: Boletín Oficial del Estado.
- [6] AENOR, UNE – EN ISO 14006:2011, Sistemas de Gestión Ambiental. Directrices para la incorporación del ecodiseño.
- [7] Internacional Organization for Standardization (2006), Normas ISO 14040 / 44: Gestión Ambiental, Análisis del ciclo de vida, principios y marco / Requisitos y directrices.
- [8] Txaramunto (2009), foto denuncias del diario Vasco
- [9] ROL4TEK (2009), Catálogo de productos. Barcelona
- [10] Boné, A (2009), Plan de Gestión Integral de Residuos de Aragón 2009-2015. Zaragoza, Depósito Legal: Z- 4656/09, p-282
- [11] <http://serbarrendero.blogspot.com>
- [12] Grupo Licasla (2011). Catálogo de contenedores iglú.
- [13] <http://www.ngvglobal.com>
- [14] Fundicio Ductil Benito (2009). Catálogo de contenedores de recogida selectiva. Barcelona. IP - 491/1ª Ed – Depósito Legal.
- [15] www.contenur.com
- [16] Ros Roca (2006). Recogida neumática de residuos. Descripción general del sistema. Lérida. L-201-2006, Ed –Depósito Legal

- [17] Código Técnico de la Edificación DB – HS: Salubridad (2006). Madrid
- [18] Rioja, P (2004). Diseño de la nueva red de recogida selectiva de residuos urbanos en Castellón de la Plana, Proyecto Final de Carrera. Castellón. Texto Universitarios de la Universidad Jaime I (Escuela Superior de Tecnología y ciencias experimentales)
- [19] <http://www.thermalefluide.com>
- [20] Martin, O (2011). Informe annual 2010 de Ecoembes. Madrid.
- [21] IHOBE, S.A. Sociedad Pública de Gestión Ambiental. Gobierno Vasco. Dpto de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente (2000). Manual Práctico de Ecodiseño. Vitoria. Depósito Legal: BI-2644-00.
- [22] Bakas, I; Sieck, M; Andersen, F.M; Larsen, H.V (2011). Projections of Municipal Waste Management and Greenhouse Gases. Copenhagen. ETC/SCP working paper 4/2011.
- [23] Sanchez, J (2010). La sostenibilidad de la recogida de residuos a debate; Recogida neumática vs Recogida contenerizada. Vitoria
- [24] Katsarova, Ivana (2007). Las posibilidades de éxito del enfoque relativo a las comunidades sostenibles y su aplicación. Ed: European Regional and Business and Economic Development Unit y el Centre for Urban Development and Environmental Management, Leeds Metropolitan University (Reino Unido).
- [25] Ecociudad Valdespartera. Folleto Técnico.
- [26] Instrucción técnica para la instalación privada de un sistema de recogida neumática de RSU en Valdespartera (2006)
- [27] Envac Ibérica S.A (2007), Descripción general del sistema de recogida automatizada.
- [28] Envac Ibérica S.A (2007), Funcionamiento del sistema de control de la recogida automatizada de basura.
- [29] Envac Ibérica S.A (2007), Descripción de componente: Contenedor apilable 25 m³.
- [30] Envac Ibérica S.A (2007), Descripción de componente: Spreader ISO 20'-20 Tm.
- [31] Envac Ibérica S.A (2007), Separador de desechos. Descripción del componente.
- [32] Envac Ibérica S.A (2007), Descripción de componente: Sala Monoblock de Tratamiento de aire.

[33] Enargas. Ente nacional regulador de Gas (2009). Revestimientos anticorrosivos de cañerías y accesorios.

[34] Envac Ibérica S.A (2005), Proyecto de instalación de la recogida automatizada. Mediciones y Presupuestos.

[35] Multiaceros c.l (2011), Características Planta de Revestimiento Tricapa.

[36] Piqueras, Joaquín (2007), Proyecto de construcción y de montaje de la red pública de transporte y vertido, y de contenedores soterrados para fases i, ii y iii. Vista general red fases i, ii y iii.

[37] Envac Ibérica S.A (2005), Mediciones del proyecto de recogida automatizada y contenedores soterrados.

[38] ISRCer (2003). Análisis Económico Ambiental de la Recogida de Residuos de Envases.

[39] García De Riego, M (2007). El lavado de contenedores.

[40] www.genesisecotech.com

[41] ISR (Instituto para la Sostenibilidad de los Recursos) (2007), Proyecto Casta Diva. Análisis integral de la recogida municipal de materiales reciclables.

[42] Contenur s.l, Catalogo de descripción técnica del contenedor CCL – 3200 de carga lateral.

[43] De Miguel, Rafael (2010). Urbanismo y desarrollo sostenible en Zaragoza: Eco – Ciudad Valdespartera. Prames S.A. ISBN: 978-84-8321-957-7. Z-2243-10.

[44] Schmidt Ibérica (2011). Caja con instalación de lavado.

[45] Sucitesa (2011). Ficha Técnica del limpiador de contenedores energético. ECOLABEL. Urbadte extra – L.

[46] PRé Consultants (2008), SimaPro Database Manual. Methods library, Países Bajos.

[47] IDAE (Instituto para la diversificación y Ahorro de Energía) (2011), Plan de energías renovables 2011-2020.