



## ANÁLISIS DE DOS SISTEMAS DE RECOGIDA DE RESIDUOS URBANOS. EVALUACIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA LA HUELLA DE CARBONO

Autores: Jose Guillermo Filippone Capllonch, Universidad Nebrija ([gfilippo@nebrija.es](mailto:gfilippo@nebrija.es))  
Sebastián Labella Hidalgo, Fundación para la Cooperación Internacional Funciona ([sebastian.labella@carbonfeel.org](mailto:sebastian.labella@carbonfeel.org))

### Introducción

De los grandes desafíos ambientales que enfrenta la Humanidad, sin duda el cambio climático es el de mayor trascendencia. Las evidencias científicas de toda índole (IPCC, 2014) no dejan margen de dudas: de no tomarse drásticas medidas contra el calentamiento global el mundo que conocemos en la actualidad sufrirá en las próximas décadas transformaciones sustanciales. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) es un organismo intergubernamental establecido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) de la ONU en 1988 para analizar, evaluar e informar sobre el conocimiento científico sobre este problema, sus consecuencias y la propuesta de posibles soluciones. Si bien sus conclusiones han sido puestas en cuestión durante años desde diversos sectores y países, hoy en día no existe ningún planteamiento científico, ni político, serio que las niegue.

Tras la XXI Conferencia Internacional sobre Cambio Climático organizada por la ONU (COP21, 2015a) y la firma del Acuerdo de París en 2015 (COP 21, 2015b), 196 estados asistentes han firmado un compromiso por el que se han comprometido con el objetivo de limitar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para mantener el aumento de la temperatura global en menos de 2 °C (e iniciar esfuerzos por limitarla a 1,5 °C). Si bien en este acuerdo, voluntario y vinculante, se han logrado significativos avances al reconocerse el compromiso común de limitar las emisiones de GEI, no se han alcanzado objetivos de reducción de emisiones y de mitigación jurídicamente vinculantes, ni sanciones en caso de incumplimiento. Pese a estas las dificultades, se han establecido mecanismos para definir objetivos nacionales de Contribuciones Nacionales Previstas (FCCC, 2015a), así como herramientas que faciliten el cumplimiento de estos objetivos: mecanismos de mercados de carbono, financiación y transferencia de tecnologías.

Hasta octubre de 2015, 146 estados habían presentado planes de mitigación, incluidos los mayores productores de GEI. Los objetivos de reducción se centran en energías renovables, eficiencia energética, transporte, agricultura y el sector forestal (FCCC, 2015b). La diversidad de las situaciones de partida (42 países son *desarrollados* y 104 *no desarrollados*) y de las medidas que se proponen suponen una dificultad a la hora de fijar objetivos comunes (FCCC, 2015c). La buena predisposición no alcanza para conseguir limitar el calentamiento global en valores compatibles con la sostenibilidad global: estas medias nos sitúan ante la perspectiva de un aumento de temperaturas de entre 2,7 ó 3 °C para 2100, superior al límite de 2 °C de seguridad (Sostenibilidad, 2015) (COP21, 2015c). Por estas causas, la Huella de Carbono (HC) es considerado actualmente un indicador de impacto ambiental fundamental. La HC es un Análisis del ciclo de vida (ACV), limitado a las emisiones de GEI. El estudio, evaluación de las emisiones de GEI y la búsqueda de soluciones para su disminución, constituyen vectores principales en la lucha contra el cambio climático.



Por su parte, la recogida, gestión y tratamiento de los residuos urbanos (RSU) constituye un problema ambiental de creciente importancia, sobre todo en el entorno de grandes urbes. Este asunto merece la mayor atención debido a sus múltiples implicaciones, incluida su relación con el cambio climático. En España cada habitante genera una media de 449 kg/año de residuos; un 80 % se realiza mediante recogida sin separación en origen; del total, apenas un 30 % se recicla y el resto acaba en vertederos o incinerados, muchas veces sin el control adecuado (Greenpeace, 2015). Estas cifras nos sitúan muy lejos del 50 % que exige la Directiva Marco para 2020 y del 70% 2030 (Directiva 98, 2008). Los datos de Emisiones Globales que publica el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en 2015 confirma que España no va en la buena senda: se incrementaron en un 3,6 % en el último año, situándose en +17,5 % respecto del año base. En este cómputo, Gestión de residuos contribuye con 15,7 millones de toneladas, un 4,6% del total, +0,3 % respecto al año anterior (MAGRAMA, 2016).

La composición de los residuos municipales en España está formada en un 43 % de fracción “orgánica” (en realidad, toda la fracción domiciliaria que no se recoge separada), 14 % de envases ligeros, casi 19 % de papel y cartón y el 7 % por vidrio (MAGRAMA, 2014). El residuo restante incluye muebles, aparatos eléctricos o electrónicos, textiles o pilas que se recogen, en principio, mediante sistemas específicos.

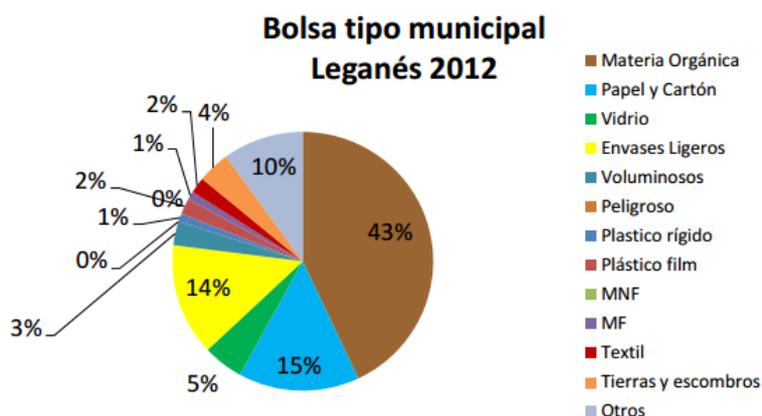


Ilustración 1. Composición de los residuos municipales en Leganés (Fuente:www.leganes.org)

Garantizar la gestión apropiada de los residuos es responsabilidad de los Ayuntamientos. Sin embargo, la Ley de Residuos y Suelos Contaminados define la *responsabilidad ampliada del productor* el cual, bajo el principio de que *quien contamina paga*, les obliga a establecer sistemas de depósito y retorno del producto o residuo para su reutilización o gestión. Estos sistemas son conocidos como Sistemas Integrados de Gestión (SIG), siendo probablemente los más conocidos Ecoembes (envases y papel) y Ecovidrio. Si bien para las fracciones afectadas por este principio puede haber diferentes soluciones, por motivos prácticos se suelen establecer convenios de colaboración para que los servicios municipales se hagan cargo del servicio de recogida domiciliaria y la entrega posterior a los SIG para su gestión. El sobrecoste que representa la recogida selectiva de los residuos se compensa en forma del pago de un canon por parte de los SIG.

En este trabajo se analizan dos sistemas de recogida de RSU: el tradicional sistema de *recogida lateral* mediante camiones y el, más innovador y menos conocido, sistema de *recogida neumática*. Se ha elegido para este trabajo la ciudad de Leganés, ciudad



situada a 10 km al sur del centro de la ciudad de Madrid, ya que cuenta con una de las redes de recogida neumática de mayor desarrollo en España (Leganés, 2016) y, al tener también recogida lateral en los barrios restantes, facilita una comparación directa.

## Objetivos

En este trabajo se intenta determinar la eficiencia de ambos sistemas de recogida desde el punto de vista de la HC, analizando los dos sistemas de recogida de residuos utilizados en la ciudad de Leganés. Para el análisis se utilizará la herramienta BookFeel desarrollada por CarbonFeel, que facilita el cálculo de la huella de carbono de productos, procesos, servicios y organizaciones. Permite calcular las emisiones de GEI en términos de CO<sub>2</sub> equivalente, y generar informes adaptados a las diferentes normas y metodologías de cálculo existentes (BookFeel, 2016).

## Sistema de recogida de residuos urbanos de Leganés

Los servicios de residuos en Leganés se rigen, como en todo el territorio nacional, por la Ley 22/2011 de Residuos y Suelos Contaminados (BOE, 2011a), que transcribe la Directiva 2008/98/CE de Residuos (Eur-lex, 2008), el Real Decreto 1481/2001 por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero (BOE, 2001) y la Ley 11/1997 de Envases y Residuos de Envases (BOE, 1997). A nivel autonómico, la Ley 5/2003 de Residuos de la Comunidad de Madrid (BOE, 2003) desarrolla la normativa nacional. La Comunidad de Madrid está elaborando una Estrategia de Gestión Sostenible de los Residuos (2017 - 2024), que se considera muy relevante por las consecuencias que tendrá, más allá de la gestión de residuos en sí, en las políticas dirigidas a la reducción de la generación de residuos (Madrid, 2016). A nivel local, se regula mediante la Ordenanza General de Medio Ambiente (Leganés, 2016a).

La Ley 22/2011 establece que las Entidades Locales deberán elaborar programas de prevención y de gestión de residuos de su competencia, gestionar los residuos no peligrosos y domiciliarios utilizando el sistema de gestión que mejor se adecue a sus posibilidades, en función de la normativa vigente. La normativa actual otorga a este tipo de residuos la consideración de *residuos* domiciliarios, a los que se asimilan los procedentes de limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas, animales domésticos muertos y vehículos abandonados.

En Leganés no se realiza recogida separada en origen (el domicilio) de la fracción orgánica y *otros* restos. Por ello, a efectos comparativos, en este trabajo solo se tendrán en cuenta las dos fracciones que se recogen mediante el *Sistema de recogida neumática*: envases ligeros y fracción "orgánica" (en realidad basura orgánica más residuos sin especificar, no recogida separadamente). Estas fracciones representan más del 56 % del total de residuos domiciliarios. El total anual de residuos municipales recogidos en 2015 en Leganés fue de 65.053 toneladas (0,94 kg/hab.día), de los cuales 52.686 t son de restos (0,77 kg/hab.día) y 3.145 t de envases ligeros (casi 0,05 kg/hab.día).

Ambas fracciones, son compactadas y transportadas hasta la estación de transferencia de residuos de Leganés (Polígono Urtinsa). La compactación de la recogida lateral se realiza mediante una compactadora incluida en el propio vehículo, mientras que en la



neumática se realiza en contenedores-compactadores de 30 m<sup>3</sup>. La planta de transferencia tiene una capacidad de 380 T/h y recibe los residuos de 7 municipios. Posteriormente se transportan para su tratamiento hasta el complejo gestionado por Gestión y Desarrollo del Medio Ambiente de Madrid, S.A. (GEDESMA) en Pinto, empresa pública dependiente de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de Madrid (SIMUR, 2012).

### Sistemas utilizados

#### Recogida neumática

Los primeros antecedentes de este sistema se pueden encontrar en Suecia: tras un primer sistema piloto en el hospital de Solleftea, se puso en marcha el primer sistema grande en el mundo en una zona residencial, en 1967 en Sundbygerg, un suburbio de Estocolmo. A esta instalación fueron inicialmente conectadas 600 viviendas; tras diversas ampliaciones atiende hoy en día a más de 2000 viviendas (Hernández, 2010). Actualmente más de 25 ciudades poseen sistemas similares.

Además de la comodidad para los vecinos que pueden desprenderse de sus residuos a cualquier hora del día, incluso sin salir de sus casas, la recogida neumática posee otras ventajas: de bajo impacto visual, elimina, o al menos minimiza, la circulación urbana de camiones y la producción de atascos, humos, ruidos y suciedad en el entorno de los contenedores. Sin embargo, el sistema presenta diversos inconvenientes, sobre todo la construcción de las instalaciones y el consumo energético de operación. Otros problemas provienen del mal uso del sistema: atascos por bolsas demasiado grandes o palos largos, contaminación por *impropios*<sup>1</sup> de las fracciones correspondientes: escombros, cartones, pilas, etc.

La recogida de estas dos fracciones de residuos (envases y “orgánica”) se realiza en Leganés empleando el sistema neumático en dos grandes barrios: Zarzaquemada (ZA, unos 45.000 habitantes) y Leganés Norte (LN, 21.000 hab.). ZA cuenta con dos plantas de recogida (Norte y Sur) cada una con dos redes, una para cada fracción. LN posee una red que se utiliza para ambas fracciones, con aspiración en distintos horarios. Esto incluye a unos 67.600 habitantes sobre una población de 188.530 (Leganés, 2016b), lo que representa casi un 36 % del total. Las redes están formadas por tuberías de 500 mm, equipada con buzones domiciliarios y callejeros, y control remoto desde cada central. En éstas se encuentra toda la maquinaria necesaria para su funcionamiento: soplantes-aspirantes que se encargan de mover la columna de residuos, ciclones para la separación de las fracciones sólidas, filtros de aire que evitan la salida de material particulado y malos olores, contenedores compactadores y otros servicios auxiliares.

Se debe observar que, si bien la recogida neumática permite minimizar la basura en las calles, por uso deficiente del sistema un porcentaje significativo no ingresa en los buzones, por motivos diversos: los principales son embalajes y bolsas de gran tamaño procedentes de diversos orígenes (comercios, restauración, podas, etc.) y cierta falta de colaboración ciudadana que opta por depositar las bolsas en la calle en zonas no destinadas a estas fracciones. Esta importante fuente de residuos se tiene que recoger mediante camiones, pasando a integrar la fracción recogida mediante carga lateral.

<sup>1</sup> Materiales no solicitados en esa recogida.

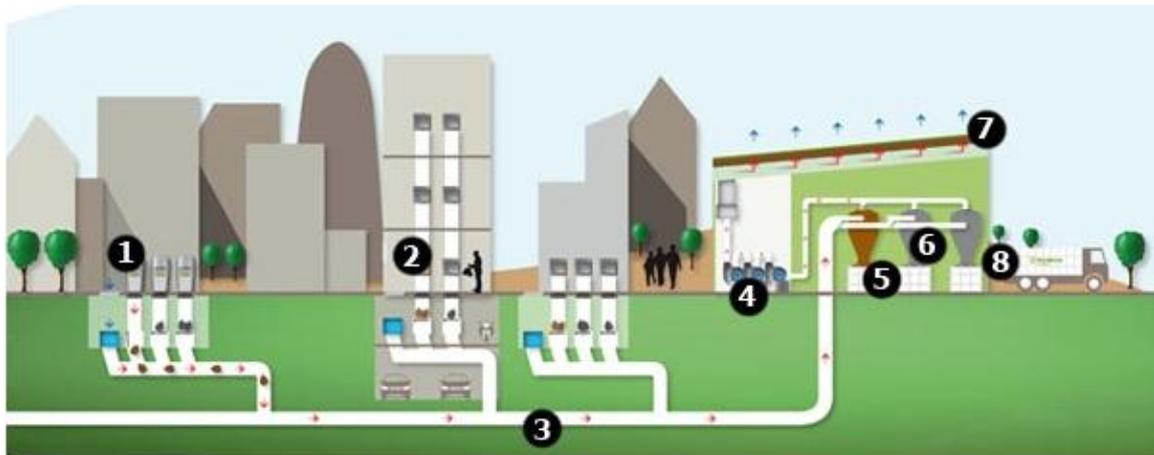


Ilustración 2. Esquema de un sistema de recogida neumática de residuos domiciliarios: 1,2 buzones de recogida, 3 red de transporte, 4 ventiladores, 5 compactadores, 6 ciclones, 7 chimeneas de aire filtrado, 8 recogida de contenedores (Fuente: Ros Roca).



Ilustración 3. Recogida neumática: Izda. ZA, buzones callejeros. Dcha. LN, buzones domiciliarios.



Ilustración 4. Planta de recogida neumática: Izda. Conducciones y ciclones. Dcha. Contenedores compactadores.

## Carga lateral

En el resto del municipio la recogida se realiza mediante el sistema de recogida por carga lateral; se dispone de 410 contenedores de 3.200 litros. Se distinguen mediante tapas de color verde (fracción restos) y de color amarillo (envases ligeros), éstas con abertura de



30 cm para evitar la introducción de impropios de gran volumen. Los vehículos recolectores cuentan con un P.M.A.<sup>2</sup> de 26.000 kg, equipados con caja compactadora de 25 m<sup>3</sup>, tolva de descarga y brazos elevadores para recoger el contenedor y volcarlo en la caja a través de la tolva. El grado de compactación del residuo es 1:5. Es un sistema de un coste y consumo energético moderado. Entre sus inconvenientes se cuentan la ocupación del espacio público, solo puede recoger en un lado de la calle, se suelen acumular otras basuras en sus proximidades, ocasionan olores, riesgos sanitarios y ruidos en el momento de la recogida (Hernández, 2010).



Ilustración 5. Recogida lateral de residuos domiciliarios. Izda. Camión recolector (Fuente: leganes.org). Dcha. Contenedores para envases ligeros y restos.

Las cantidades recogidas por ambos sistemas en 2015 en los dos barrios, se indican en la tabla siguiente (en toneladas):

Tabla 1. Cantidades de residuos recogidas por tipo de tecnología y tipología de residuo 2015 (Incluye 2.690 t de ZA y LN de bolsas que se recogen de la calle)

Recogida residuos (t)	Carga lateral	Neumática
Resto residuos	41.544*	11.139
Envases ligeros	1.774	1.517

## Determinación de la Huella de Carbono

### Herramientas y metodología para el cálculo

Se ha utilizado el enfoque metodológico desarrollado por CarbonFeel (2016). Este enfoque del análisis de Ciclo de Vida incorpora una *semántica ambiental* que garantiza transparencia, intercambio y acceso a la información para el cálculo de la HC. Basada en la metodología de Wackernagel y Rees (Moreno, 2005), adopta estándares de cálculo reconocidos. Es válida para productos, servicios y organizaciones.

La herramienta de cálculo es BookFeel, un código que se ajusta a las normas internacionales más utilizadas, a nivel corporativo (ISO 14069, ISO 14064 y GHG Protocol) y a nivel de producto (ISO 14067 y PAS 2050), permite incluir todas las fuentes

<sup>2</sup> Peso Máximo autorizado.



de emisiones de GEI, incluida la ocupación del territorio, y está abierta al uso de factores y patrones de cálculo de otras metodologías.

El protocolo Feel (*Footprint Electronic Exchange Language*) facilita el intercambio electrónico de información para afrontar proyectos colaborativos (CarbonFeel, 2012) y cuenta con herramientas para el intercambio de información (BubbleFeel, ReportFeel).

Las fuentes de emisión se dividen en tres, llamadas *Alcances*:

- *Alcance 1*: fuentes directas, bajo control de la organización (fuentes de combustión fijas y equipos móviles o vehículos propios).
- *Alcance 2*: fuentes indirectas originadas por las compras de electricidad y vapor.
- *Alcance 3*: fuentes indirectas debidas a las actividades de la compañía, que no están bajo control directo (transporte de productos y materias primas relevantes, viajes del personal en avión u otros medios, residuos, etc.)

La metodología está orientada a la utilización de datos primarios, aunque a veces estos son de difícil, o imposible, obtención. Para resolver este obstáculo, la contabilidad del carbono de CarbonFeel apela al Método de las Cuentas Contables MC3 que permite obtener estos datos de las cuentas contables de la organización, lo cual facilita incluir la totalidad de consumos y afrontar proyectos comparables. La HC así obtenida puede servir de referencia para tener en cuenta la Huella Ecológica (HE). Este protocolo evita errores frecuentes en el cómputo, tales como imputar a la huella propia el desplazamiento de clientes o proveedores, o la “huella futura” derivada del uso que harán terceras personas o del tratamiento que se le dará al final de la vida útil del producto analizado.

BookFeel está dividida en dos zonas: la de Configuración (que permite adaptar la herramienta a un escenario de estudio) y la Usuario, en la que se introducen los datos, se ejecuta y visualizan los resultados del cálculo. A su vez posee dos niveles de estructura:

Estructura de *alcance*. Está formada por:

- *Capítulos* de consumo (Fuente de emisión).
- *Jerarquía* de los capítulos de consumo. Permite ordenar los Capítulos de consumo con gran flexibilidad, según las necesidades del cálculo.

Estructura *analítica*. Está formada por:

- *Objetos* de estudio. Cada capítulo de consumo puede imputarse de acuerdo a determinados criterios (procesos, instalaciones, divisiones corporativas, etc.).
- *Categorías* de objetos de estudio. Los objetos de estudio pueden ser clasificados en distintas categorías que permitan analizar la información según cierta lógica.

En este estudio, los datos utilizados para el cálculo en la medida de lo posible han sido obtenidos directamente de fuentes del Área de Medio Ambiente del Ayuntamiento de la ciudad de Leganés. Sin embargo, debido a que ciertos datos no están disponibles por razones de confidencialidad o falta de documentación, en esos casos se recurre a otras fuentes acreditadas.



## Recogida neumática

Los datos se dividen en dos categorías: Construcción de la instalación y Uso de instalación (consumo eléctrico). La Construcción de las instalaciones se desagrega a su vez en “Edificios” y en “Buzones y conducciones”.

Si bien el consumo de energía está perfectamente documentado, los correspondientes a la construcción no se han podido obtener directamente, dado la confidencialidad de ciertos datos<sup>3</sup>. Debido esta complicación, el estudio de HC se ha realizado para la instalación ZA Sur y extendido a las demás. En esta suposición se acepta una pérdida de precisión en los resultados, aunque a efectos comparativos se asume que no representa un error significativo. Los detalles se pueden obtener del TFG “Cálculo de la huella de carbono del sistema de recogida neumática de residuos de la ciudad de Leganés” (Cagiga, 2015).

Los datos de la construcción de las instalaciones de ZA Sur son<sup>4</sup>:

Tabla 2. Datos de construcción instalación ZA Sur

Fecha construcción ZA sur	1999-2000	Población asistida (hab)	27.177
Superf. construida edificio (m <sup>2</sup> )	1558,48	Longitud tuberías (m)	6.623
Buzones	137	Capacidad buzón (L/ud.)	450

A partir del coste medio de edificación de plantas industriales dados por el “Método de Determinación de los Costes de Referencia de Edificación” de la Comunidad de Madrid (CM, 2014), se ha estimado el coste de la planta de la siguiente manera: tomando el coste medio de 355,5 €/m<sup>2</sup> y una planta de 1558 m<sup>2</sup>, resulta: Coste planta= **554.039,64 €**

Para determinar el efecto sobre la HC de cada uno de los materiales empleados en la obra, se necesita conocer la relación exacta de cada uno de ellos. Al ser imposible conocer el contenido exacto de cada material en edificios y obras civiles, se han utilizado algoritmos incluidos en la base de datos de BookFeel. En este caso son fórmulas-tipo generales proporcionadas por la Agencia Tributaria (2016) para la *Revisión de precios de los contratos de obras y de contratos de suministro en obras de edificación*, contenida en el RD 1359 (2011) para “Obras de edificación general, con alto componente de instalaciones”. El coste de la instalación se ha desagregado utilizando la fórmula 812:

$$K_t = 0,04A_t/A_0 + 0,01B_t/B_0 + 0,08C_t/C_0 + 0,01E_t/E_0 + 0,02F_t/F_0 + 0,03L_t/L_0 + 0,04M_t/M_0 + 0,04P_t/P_0 + 0,01Q_t/Q_0 + 0,06R_t/R_0 + 0,15S_t/S_0 + 0,06T_t/T_0 + 0,02U_t/U_0 + 0,01V_t/V_0 + 0,42$$

En esta fórmula los coeficientes representan los contenidos típicos de materiales en cada tipo de obra, en la que cada parámetro representa el material que se indica en la tabla siguiente. La utilización de esta fórmula implica cierto error de partida, ya que el contenido exacto de determinado material en una obra en particular sin los pliegos y planos de la obra es imposible. Por ejemplo, según la fórmula, se supone que el contenido de aluminio es del 4 % o materiales electrónicos del 6 %.

<sup>3</sup> Información suministrada por el Departamento Técnico de Medio Ambiente del Ayto. de Leganés.

<sup>4</sup> Los valores han sido redondeados para facilitar su lectura.



Aplicando estos porcentajes se desglosa el coste de la planta en el coste de cada ítem, y con valores unitarios medios dados por la base de datos de BookFeel, se calculan los contenidos en kg de cada componente:

Tabla 3. Contenidos de la construcción ZA Sur por componente

Símbolo	Material	kg	Símbolo	Material	kg
A	Aluminio	9.850	P	Plásticos	6.926
B	Mats. bituminosos	11.788	Q	Productos químicos	6.926
C	Cemento	77.830	R	Áridos y rocas	60.441
E	Energía	5.610 € <sup>5</sup>	S	Mats. siderúrgicos	36.936
F	Focos y luminarias	370	T	Materiales electrónicos	1.330
L	Mats. cerámicos	23.410	U	Cobre	1.705
M	Madera	31.660	V	Vidrio	7.290

A partir de estos datos, se construyó la siguiente estructura de alcances:

- *Alcance 1.* Energía consumida durante la fase de construcción. Los 5.610 € son el gasto en fuel, gas y gasóleo consumidos en la fase de construcción.
- *Alcance 2.* Energía eléctrica consumida durante un año de explotación. El consumo energético de funcionamiento anual de la instalación (motores y demás consumos) ha sido de 1.046.242 kW/h·año (año 2015)<sup>3</sup>.
- *Alcance 3.* Edificios y obras civiles complementarias, buzones y conducciones. Para la obra civil las emisiones indirectas de construcción se han obtenido de los materiales desglosados de la tabla anterior. Para tuberías y buzones, la cantidad de material se ha calculado a partir de su geometría, sabiendo que las primeras están fabricadas con acero al carbono soldado y los segundos de acero fundido:

Tabla 4. Materiales empleados en tuberías y buzones

Materiales conducciones	Tuberías	Buzones
Material	Acero al C	Acero fundido
Kg	1.188.233	54.375

En la imagen siguiente se muestra, a modo de ejemplo, la pantalla de BookFeel mediante la que se introducen los datos y, en la tabla siguiente, se muestran las emisiones, calculadas para cada ítem de las fases de construcción y utilización, para los 3 GEI considerados y los totales equivalentes (HC).

<sup>5</sup> Se ha incluido como consumo de Alcance 1.



U001 Construcción de la Instalación		1	2	3
Visualizar fuente de información ..... <input type="checkbox"/>		Edificio	Tubería	Buzones
Visualizar costo ..... <input type="checkbox"/>				
CodeFeel	Capítulo	UM	Entrada	Entrada
1000000000	EMISIONES Y ABSORCIONES DIRECTAS			
1020000000	COMBUSTIÓN MÓVIL			
1020100000	COMBUSTIBLES FÓSILES			
1020300000	Costes de construcción	EUR	554.039,64	
2000000000	EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA			
3000000000	OTRAS EMISIONES INDIRECTAS			
3040000000	PRODUCTOS COMPRADOS			
3040100000	Acero al carbono	t	1.188,23	
3040200000	Fundición de acero	t		54,38
3040300000	Costes construcción	EUR	554.039,64	
3050000000	USO DEL PRODUCTO			

Ilustración 6. Entrada de datos BookFeel para la fase de construcción de la instalación ZA Sur

Tabla 5. Emisiones GEI de la instalación ZA Sur durante las fases de construcción y uso de la instalación.

HC ZA Sur (tCO <sub>2</sub> eq)	Dióxido de carbono	Metano	Óxido nitroso	HC
<b>CONSTRUCCIÓN DE LA INSTALACIÓN</b>	<b>13.470,90</b>	<b>45,68</b>	<b>32,67</b>	<b>13.549,25</b>
<b>Productos comprados</b>	<b>1388,62</b>	<b>9,59</b>	<b>55,37</b>	<b>2844,25</b>
Fundición de acero	200,39	0,68	0,49	201,56
Acero al carbono	1188,23	8,91	6,37	2642,49
<b>Edificio</b>	<b>10.643,33</b>	<b>36,09</b>	<b>25,81</b>	<b>10.705,24</b>
<b>Construcción movilidad</b>	<b>24,20</b>	<b>0,07</b>	<b>0,05</b>	<b>24,33</b>
<b>Costes construcción</b>	<b>10.619,13</b>	<b>36,02</b>	<b>25,76</b>	<b>10.680,91</b>
Aluminio	762,78	2,59	1,85	767,22
Áridos y rocas	3,98	0,01	0,01	4,01
Cemento	10,15	0,03	0,02	10,21
Cobre	322,48	1,09	0,78	324,35
Focos y luminarias	2.476,29	8,40	6,01	2.490,70
Madera	5,79	0,02	0,01	5,82
Materiales bituminosos	4,86	0,02	0,01	4,89
Materiales cerámicos	2,57	0,01	0,01	2,59
Materiales electrónicos	6.201,49	21,04	15,05	6.237,57
Materiales siderúrgicos	348,83	1,18	0,85	350,86
Productos plásticos	423,35	1,44	1,03	425,82
Productos químicos	49,94	0,17	0,12	50,23
Vidrio	6,60	0,02	0,02	6,64
<b>USO DE LA INSTALACIÓN</b>	<b>387,11</b>			<b>387,11</b>
Consumo eléctrico	387,11			387,11
<b>TOTAL</b>	<b>13.858,01</b>	<b>45,68</b>	<b>32,67</b>	<b>13.936,36</b>



A continuación, se puede ver un ejemplo de los algoritmos utilizados por BookFeel para el cálculo de emisiones de GEI: el P906, Cálculo de la HC derivada de la combustión de carburantes:

$$CO2 \text{ Emisiones} = E000 * 0,001 * F006 * F008 * F015(i) * F019(i) / F003$$

CO2 Emisiones = Emisiones totales de CO2 en toneladas / kilogramos / gramos

E000 = Combustión de carburante en unidad monetaria

F003 = Precio de combustible en volumen

0,001 = Conversión de litros a metros cúbicos

F006 = Densidad del combustible

F008 = Intensidad energética

F015 = Factor de emisión gases por unidad energética

F019 = Potencial de calentamiento global gases Kioto, precursores y contaminantes

i = Gas de efecto invernadero

Ilustración 7. Ejemplo de algoritmo BookFeel. P906 Cálculo de la Huella de Carbono en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes provocada por emisiones GEI derivadas de la combustión de carburantes y cuyo dato de actividad son unidades monetarias.

Se aprecia la importante incidencia de la Construcción en la HC, en la cual el edificio contribuye con 10.705 tCO<sub>2</sub>eq. Los resultados obtenidos para ZA Sur se han extrapolado para las otras dos estaciones recolectoras, tomando como referencia el total de residuos que procesa cada una (datos 2014). Los Alcances 1 y 3 se producen durante la construcción y puesta en marcha, mientras que el 2 (energía consumida para explotación) es anual. Los resultados se resumen en la Tabla 6:

Tabla 5. Emisiones GEI de las instalaciones de Recogida Neumática de Leganés por alcance.

HC (tCO <sub>2</sub> eq)	ZA Sur	ZA Norte	LN	Totales neumática
Alcance 1	24	32	13	<b>69</b>
Alcance 2	387	513	213	<b>1.113</b>
Alcance 3	13.549	17.976	7.457	<b>38.982</b>
Total residuos (t)	2.338	5.727	4.584	<b>12.650</b>

## Carga lateral

Se utilizan para este servicio dos camiones y 410 contenedores de polietileno de alta densidad. Se considera una tasa de reposición para los vehículos de 10 años y de 4 años para los contenedores. Los datos completos de este cálculo se pueden ver en el PFG "Cálculo de la huella de carbono del sistema de recogida lateral de residuos de la ciudad de Leganés" (Muñoz, 2015).

Análogamente al caso anterior, dividimos la HC en los alcances:

- *Alcance 2.* Energía consumida por los vehículos (Gasóleo). Fase de explotación. El combustible consumido por los camiones es una *fuentes indirecta*. Conociendo el consumo de gasóleo y su densidad (0,8 kg/L) y su contenido de energía (42,7 MJ/kg), se obtiene el coste energético. De los datos proporcionados por el Ayuntamiento se obtiene un consumo anual de 37.000 litros para ambos camiones, para recoger un total de 41.544 t de "orgánica" y 1.774 t de Envases ligeros.



Los contenedores se lavan 6 veces al año, con consumo de unos 15 litros de agua (no potable) y 30 gramos de detergente industrial por litro de agua, además de gasóleo para su traslado al punto de lavado. Esto da un consumo de agua de 36.900 L/año y de detergentes de 1.107 kg/año. El consumo eléctrico de las bombas de lavado se considera despreciable.

- **Alcance 3.** Vehículos y contenedores comprados. Fase de puesta en marcha de la instalación. Se incluyen los dos camiones y los 410 contenedores.

Una vez introducidos los datos en BookFeel se obtienen los datos que se pueden ver en la tabla 7 y, resumidos en la Tabla 8. Se debe recordar que el Uso de la instalación (Alcance 2) tiene periodicidad anual, pero la reposición de vehículos y contenedores (Alcance 3) 10 y 4 años respectivamente.

Tabla 6. Emisiones GEI del sistema de Recogida por Carga Lateral de Leganés durante las fases de puesta en marcha y uso del sistema.

HC recogida lateral (tCO <sub>2</sub> eq)	Dióxido de carbono	Metano	Óxido nitroso	HC
<b>PUESTA EN MARCHA CARGA LATERAL</b>	<b>180,79</b>			<b>180,79</b>
<b>Productos comprados</b>	<b>180,79</b>			<b>180,79</b>
Camiones de recogida lateral	157,78			157,78
Polietileno de alta densidad (Contenedores)	23,01			23,01
<b>USO ANUAL DEL SISTEMA</b>	<b>162,95</b>	<b>0,48</b>	<b>0,34</b>	<b>163,77</b>
<b>Proceso de lavado</b>	<b>3,27</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>3,29</b>
Consumo de agua	3,27	0,01	0,01	3,29
Consumo de detergente	3,26	0,01	0,01	3,28
<b>Proceso de recogida</b>	<b>159,68</b>	<b>0,47</b>	<b>0,33</b>	<b>160,48</b>
Ciclo de vida	22,02	0,00	0,00	22,03
Combustión	137,65	0,47	0,33	138,45
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>343,73</b>	<b>0,48</b>	<b>0,34</b>	<b>344,56</b>

Tabla 7. Emisiones GEI de las instalaciones de Recogida por Carga Lateral de Leganés por alcance.

HC (tCO <sub>2</sub> eq)	Recogida lateral
Alcance 2	<b>164</b>
Alcance 3	<b>181</b>
Total residuos (t)	<b>43.318</b>



## Análisis de resultados y conclusiones

### Análisis de resultados

Se aprecia a primera vista en las tablas de resultados que la HC del sistema neumático es visiblemente superior comparada con la carga lateral. La cantidad de materiales utilizados para su construcción, sobre todo acero y hormigón, provoca que la HC sea elevada. Sin embargo, para que los resultados sean comparativos y significativos, se van a referir a la Unidad de Servicio, que en este caso es la *tonelada de residuos* recogida. Dada la dificultad para separar los consumos de combustibles y electricidad, se evaluarán conjuntamente.

En el caso de la recogida neumática, se tiene que hacer una hipótesis sobre la vida útil de la instalación. Como no se tienen datos experimentales sobre este aspecto, por las conversaciones mantenidas con los encargados de las instalaciones, se estima 50 años desde el comienzo de su construcción, omitiendo en este caso consumos y emisiones derivadas por mantenimiento de la instalación.

La huella calculada sobre la base de 50 años de vida de la instalación (construcción + uso), será:

$$HC_{50Neu} = (38982+69) + 50 \times 1113 = 94.723 \text{ tCO}_2\text{eq}$$

Para calcular la huella unitaria (por tonelada) se considera el total de residuos recogidos en 50 años (suponiendo que se mantenga la producción actual):

$$R_{50Neu} = 12.650 \times 50 = 632.500 \text{ t}$$

De igual manera procedemos con la carga lateral, tomando el horizonte de 50 años y omitiendo en este caso consumos y emisiones derivadas por mantenimiento y renovación de la flota, con reemplazo de los camiones cada 10 años y de los contenedores cada 4:

$$HC_{50CL} = 158 \times 5 + 23 \times 50/4 + 164 \times 50 = 925 + 287,5 + 825 = 9.252,5 \text{ tCO}_2\text{eq}$$

$$R_{50CL} = 43.318 \times 50 = 2.165.900 \text{ t}$$

Calculamos también la HC anual y por habitante para cada caso. Todos estos resultados se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 8. Comparativa HC a 50 años de explotación entre Recogida neumática y Carga Lateral

	HC <sub>50total</sub> (tCO <sub>2</sub> eq)	HC <sub>50/h</sub> (tCO <sub>2</sub> eq/t)	HC <sub>50hab·año</sub> (tCO <sub>2</sub> eq/hab·año)
Neumática	94.723,00	0,150	0,028
Carga lateral	9.252,50	0,004	0,002



## Conclusiones

Según este estudio, la HC del sistema de recogida neumática respecto del sistema de recogida neumática por tonelada de residuos en 50 años es unas 10 veces superior. Si comparamos la HC por tonelada (que consideramos la más significativa al estar referida a la unidad de servicio) es 37,5 veces superior a la de carga lateral. Si se considera la ratio por habitante-año a 50 años, resulta una diferencia menor: 14 veces.

La razón de estas diferencias debemos hallarla en la elevada huella inicial (principalmente el Alcance 3) en la recogida neumática es  $38.982/181= 215$  veces mayor, aunque si se considera la huella de Alcance 3 a lo largo de los 50 años, es bastante menor:  $158 \times 5 + 23 \times 50/4 = 1.077,5 \text{ tCO}_2\text{eq} \rightarrow 38.982/1.077,5 = 36$  veces mayor.

Sin embargo, parece interesante explorar una tercera aproximación: para una obra ya realizada, se podría asumir que la HC de la instalación ya está amortizada, por lo que la única HC futura es la correspondiente a la explotación. En cambio, la HC de carga lateral seguirá incrementándose en el futuro por la necesidad de recambio de los equipos. En ese caso, a 50 años las HC de cada caso serían:

$$HC_{50\text{Neu}} = 50 \times 1113 = 55.650 \text{ tCO}_2\text{eq}$$

$$HC_{50\text{CL}} = 158 \times 4 + 23 \times 49/4 + 164 \times 50 = 925 + 287,5 + 825 = 9.114 \text{ tCO}_2\text{eq}$$

En este caso la diferencia a favor de la recogida por carga lateral es sensiblemente menor: unas 6 veces.

A modo de conclusión, podemos decir que, si bien son indudables las ventajas de la recogida neumática de residuos desde el punto de vista de su explotación, este trabajo pone en evidencia que, en las condiciones actuales, la intensa contribución en la HC de los proyectos en los que se utilizan obras civiles con un alto contenido de hormigón y acero las hace negativas desde el punto de vista de su contribución a la HC global.

Este balance podría mejorar si se incrementara la contribución de las energías renovables al mix eléctrico nacional, que en España es de aproximadamente en un 30%. Un mayor apoyo al uso de energías renovables podría representar un aliado para la disminución de la HC de los sistemas de recogida neumática. No se debe olvidar que este supuesto implicaría, además, la sustitución de combustibles fósiles importados por energías renovables y limpias.

## Agradecimientos

Luis Cepa y Antonio Espín, técnicos de medio ambiente del Ayuntamiento de Leganés.  
Jaime Cagiga Mata y María Antonia Muñoz Navarro, alumnos de la Universidad Nebrija.



## Referencias

- Agencia Tributaria, 2016. Base de datos de Comercio de la Agencia Tributaria Española. Disponible en: <http://aduanas.camaras.org/>
- BOE, 1997, nº 99. Ley 11/1997 de Envases y Residuos de Envases. Disponible en: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-1997-8875](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-1997-8875)
- BOE, 2001, nº 25. Regulación de la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. Disponible en: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2002-1697](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2002-1697)
- BOE, 2003. Ley 5/2003 de Residuos de la Comunidad de Madrid. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2003/BOE-A-2003-10725-consolidado.pdf>
- BOE, 2011a, nº 181. Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2011-13046>
- BOE, 2011b. nº 258. Real Decreto 1359/2011, de 7 de octubre, sobre fórmulas-tipo generales de revisión de precios de los contratos de obras y de suministro. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2011/10/26/pdfs/BOE-A-2011-16749.pdf>
- BookFeel, 2016. CarbonFeel. Disponible en: [http://www.carbonfeel.org/Carbonfeel\\_2/BookFeel.html](http://www.carbonfeel.org/Carbonfeel_2/BookFeel.html)
- Cagiga, J. 2015. Cálculo de la huella de carbono del sistema de recogida neumática de residuos de la ciudad de Leganés. Trabajo Fin de Grado, Universidad Nebrija.
- CarbonFeel, 2012. Herramienta de cálculo de la Huella de Carbono MC3-V.12.2. Disponible en: [http://www.carbonfeel.org/Carbonfeel/Zarpando\\_files/Libro%20de%20ca%CC%81culo%20Carbonfeel%20MC3%20v%2012%202.pdf](http://www.carbonfeel.org/Carbonfeel/Zarpando_files/Libro%20de%20ca%CC%81culo%20Carbonfeel%20MC3%20v%2012%202.pdf)
- CarbonFeel, 2016. Base Conceptual. Disponible en: [http://www.carbonfeel.org/Carbonfeel\\_2/Q&A.html](http://www.carbonfeel.org/Carbonfeel_2/Q&A.html)
- CM, 2014. “Método de Determinación de los Costes de Referencia de Edificación” de la Dirección de Vivienda de la Comunidad de Madrid, pag. 6. Disponible en: <http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-disposition&blobheadername2=cadena&blobheadervalue1=filename%3DCostes+de+referencia+de+Edificaci%C3%B3n+2014.pdf&blobheadervalue2=language%3Des%26site%3DPortalVivienda&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1352850292070&ssbinary=true>
- COP, 2015a. Conferencia entre las Partes. París 2015. Disponible en: <http://www.cop21.gouv.fr/en>
- COP, 2015b. Acuerdo de París. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/l09r01s.pdf>
- COP, 2015c. Paris Agreement: Points that remain in suspense. Disponible en: <http://www.cop21.gouv.fr/en/parisagreement-points-that-remain-in-suspense/>
- DIRECTIVA 2008/98/CE, sobre Residuos. Parlamento europeo y consejo. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:32008L0098&from=ES>
- Eur-lex, 2008. Directiva 2008/98/CE sobre los residuos. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=ES>



- FCCCa, 2015. ONU. INDCs. Intended Nationally Determined Contributions. Disponible en: [http://unfccc.int/focus/indc\\_portal/items/8766.php](http://unfccc.int/focus/indc_portal/items/8766.php)
- FCCCb, 2015a. ONU. Synthesis report on the aggregate effect of the intended nationally determined contributions. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/07.pdf>
- FCCCc, 2015b. ONU. INDCs as communicated by Parties. Diponible en: <http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx>
- Greenpeace, 2015. Propuesta para una nueva política de residuos/recursos. España Octubre 2015. Disponible en: [http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/2015/Report/general/Doc%20eicciones%2020D%20CAST\\_16102015.pdf](http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/2015/Report/general/Doc%20eicciones%2020D%20CAST_16102015.pdf)
- Hernández, C., 2010. Recogida neumática de Residuos Sólidos Urbanos. CONAMA 2010. Disponible en: <http://www.conama10.conama.org/conama10/download/files/CT%202010/40864.pdf>
- IPCC, 2014. 5º Informe de Evaluación. Disponible en: [https://www.ipcc.ch/home\\_languages\\_main\\_spanish.shtml](https://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml)
- Leganés, 2016a. Servicios. Disponible en: <http://www.leganes.org/GestionDeResiduos/>
- Leganés, 2016b. Ayuntamiento, estadísticas. Disponible en: <http://www.leganes.org/portal/Estadisticas/Menu.html>
- Madrid, 2016. Evaluación Ambiental Estratégica de Planes y Programas. Estrategia de la Gestión Sostenible de los Residuos de la Comunidad de Madrid (2017 - 2024). Disponible en: [http://www.madrid.org/cs/Satellite?c=CM\\_InfPractica\\_FA&cid=1354421992234&idTema=1142598849971&language=es&pagename=ComunidadMadrid%2FEstructura&pid=1273078188154&pv=1354578242447](http://www.madrid.org/cs/Satellite?c=CM_InfPractica_FA&cid=1354421992234&idTema=1142598849971&language=es&pagename=ComunidadMadrid%2FEstructura&pid=1273078188154&pv=1354578242447)
- MAGRAMA, 2014. Pag. 6. Programa Estatal de Prevención de Residuos 2014-2020. Disponible en: [http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/planes-y-estrategias/Programa\\_de\\_preencion\\_aprobado\\_actualizado\\_ANFABRA\\_11\\_02\\_2014\\_tcm7-310254.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/planes-y-estrategias/Programa_de_preencion_aprobado_actualizado_ANFABRA_11_02_2014_tcm7-310254.pdf)
- MAGRAMA, 2016. Nota informativa sobre el Avance de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero correspondientes al año 2015. Disponible en: [http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-avancegei2015-julio2016-web\\_tcm7-432525.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-avancegei2015-julio2016-web_tcm7-432525.pdf)
- Moreno, L. 2005. La huella ecológica. Ciudades para un Futuro más Sostenible. Disponible en: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n32/armor.html>
- Muñoz, M.A. 2015. Cálculo de la huella de carbono del sistema de recogida lateral de residuos de la ciudad de Leganés. Trabajo Fin de Grado, Universidad Nebrija.
- SIMUR, 2012. Diagnóstico de la gestión de residuos de competencia municipal de Leganés. Aplicación del programa SIMUR. Delegación de medio ambiente y nuevas tecnologías Ayto. de Leganés. Disponible en: <https://www.linkedin.com/in/luiscepanunez>
- Sostenibilidad para todos, 2015. ¿Son suficientes los compromisos de los países para no sobrepasar la temperatura de 2°C? Disponible en: <http://www.sostenibilidad.com/compromisos-paises-cambio-climatico-indcs>



## Contenido

Introducción .....	1
Objetivos.....	3
Sistema de recogida de residuos urbanos de Leganés.....	3
Determinación de la Huella de Carbono.....	6
Análisis de resultados y conclusiones.....	13

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Composición de los residuos municipales en Leganés (Fuente:www.leganes.org) .....	2
Ilustración 2. Esquema de un sistema de recogida neumática de residuos domiciliarios: 1,2 buzones de recogida, 3 red de transporte, 4 ventiladores, 5 compactadores, 6 ciclones, 7 chimeneas de aire filtrado, 8 recogida de contenedores (Fuente: Ros Roca). .....	5
Ilustración 3. Recogida neumática: Izda. ZA, buzones callejeros. Dcha. LN, buzones domiciliarios. ....	5
Ilustración 4. Planta de recogida neumática: Izda. Conducciones y ciclones. Dcha. Contenedores compactadores. ....	5
Ilustración 5. Recogida lateral de residuos domiciliarios. Izda. Camión recolector (Fuente: leganes.org). Dcha. Contenedores para envases ligeros y restos. ....	6
Ilustración 6. Entrada de datos BookFeel para la fase de construcción de la instalación ZA Sur .....	10
Ilustración 7. Ejemplo de algoritmo BookFeel. P906 Cálculo de la Huella de Carbono en toneladas de CO2 equivalentes provocada por emisiones GEI derivadas de la combustión de carburantes y cuyo dato de actividad son las unidades monetarias.....	11

## Índice de tablas

Tabla 1. Cantidades de residuos recogidas por tipo de tecnología y tipología de residuo 2015 .....	6
Tabla 2. Datos de construcción instalación ZA Sur .....	8
Tabla 3. Contenidos de la construcción ZA Sur por componente .....	9
Tabla 4. Materiales empleados en tuberías y buzones .....	9
Tabla 5. Emisiones GEI de la instalación ZA Sur durante las fases de construcción y uso de la instalación. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 6. Emisiones GEI de las instalaciones de Recogida Neumática de Leganés por alcance.....	11
Tabla 7. Emisiones GEI del sistema de Recogida por Carga Lateral de Leganés durante las fases de puesta en marcha y uso del sistema.....	12
Tabla 8. Emisiones GEI de las instalaciones de Recogida por Carga Lateral de Leganés por alcance.....	12
Tabla 9. Comparativa HC a 50 años de explotación entre Recogida neumática y Carga Lateral .....	13