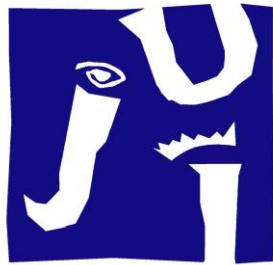


UNIVERSITAT JAUME I
DEPARTAMENT D'ENGINYERIA
MECÀNICA I CONSTRUCCIÓ
PROGRAMA DE DOCTORADO EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES Y MATERIALES

**Diseño de una metodología para la obtención de
soluciones a la recogida de FORM en entornos
Smart Cities**

Escola Superior de Tecnologia i Ciències
Experimentals



UNIVERSITAT
JAUME·I

Jerónimo Franco González.

Director de Tesis, Antonio Gallardo Izquierdo.

Resumen.

Resumen.

Esta tesis titulada “Diseño de una metodología para la obtención de soluciones a la recogida de la FORM en entornos Smart Cities” presenta una metodología sistemática, la cual permite aportar soluciones concretas y tecnológicas a la recogida de las fracciones orgánica de los residuos municipales (FORM) y de resto. El despliegue masivo de soluciones Smart en los servicios de aseo urbano, está convirtiendo las ciudades en verdaderos laboratorios urbanos. La presente tesis aporta una visión holística del conjunto de soluciones Smart aplicadas al caso concreto de recolección de la FORM. Por una parte se estudia la idoneidad de cada modelo de recolección de la FORM y resto, en función de varias variables que son las que van a definir el más indicado. Por otra, se analizan diversas tecnologías y procedimientos Smart, como el uso de redes de sensores en los contenedores, uso de sensores para la mejora energética de los recolectores de residuos y procedimientos de pago de los servicios de recolección en función de objetivos completados. Tras la recopilación de información, su análisis y realizadas diversas pruebas experimentales, se presenta una metodología, que pretende ser de gran utilidad para los técnicos que trabajan en los

servicios municipales de recogida de residuos, ya que puede convertirse en una herramienta de ayuda a la hora de establecer los pliegos de condiciones técnicas, así como para la mejora continua de la gestión de los servicios. Finalmente, dicha metodología se ha aplicado a una población de la Comunidad Valenciana.

Abstract.

This thesis entitled "Design of a methodology to obtain solutions for the collection of the urban waste organic fraction in Smart Cities environments" presents a systematic methodology to provide precise and technological solutions for the collection of the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) and the rest. The massive deployment of smart solutions in urban cleaning services is turning cities into real urban laboratories. The present thesis provides a holistic view of the set of smart solutions applied to the particular case of collection of the OFMSW. The suitability of each model of collection of the OFMSW and rest is studied, depending on several variables which define the most indicated model. On the other hand, various smart technologies and procedures are analyzed, such as the use of sensor networks in containers, the use of sensors for energy improvement of the waste collectors and payment procedures for collection services based on completed objectives. A methodology is presented after the collection of information, its analysis and from performed experimental tests. This methodology intends to be very useful for technicians working in municipal waste collection services, since it can be used as a tool to establish the specifications of technical conditions, as well as for the continuous improvement of the management of the services. Finally, this methodology has been applied to a population of the Valencian Community

Resum.

Esta tesi titulada "Disseny d'una metodologia per a l'obtenció de solucions a la recollida de la FORM en entorns Smart Cities" presenta una metodologia sistemàtica, la qual permet aportar solucions concretes i tecnològiques a la recollida de les fraccions orgànica dels residus municipals (FORM) i de la resta. El desplegament massiu de solucions Smart en els servicis de neteja urbana, està convertint les ciutats en veritables laboratoris urbans. La present tesi aporta una visió holística del conjunt de solucions Smart aplicades al cas concret de la recol·lecció de la FORM. D'una banda s'estudia la idoneïtat de cada model de recollida de la FORM i la resta, en funció de diverses variables que són les que definiran el més indicat. D'altra, s'analitzen diverses tecnologies i procediments Smart, com l'ús de xarxes de sensors als contenidors, ús de sensors per a la millora energètica dels recol·lectors de residus i procediments de pagament dels servicis de recollida en funció d'objectius completats. Després de la re-recopilació d'informació, la seua anàlisi i realitzades diverses proves experimentals , es presenta una metodologia, que pretén ser de gran utilitat per als tècnics que treballen als servicis municipals de recollida de residus, ja que pot esdevenir una ferramenta d'ajuda, a l'hora d'establir els plecs de condicions tècniques, així com per a la millora contínua de la gestió dels servicis. Finalment dir que esta metodologia s'ha aplicat a una població de la Comunitat Valenciana.

Índice

Resumen	1
Índice	5
Capítulo 1. Objetivos de la tesis doctoral.....	17
1.1. Justificación del estudio.....	12
1.2. Objetivos	22
1.3. Contenido y desarrollo de la tesis	24
1.3.1. Contenido.....	24
1.3.2. Desarrollo.....	26
1.4. Referencias	27
1.4.1. Bibliografía	27
1.4.2. Otra bibliografía.....	27
Capítulo 2. Aproximación al diseño de una red de recogida de la FORM.....	29

2.1. Consideraciones y objetivos.....	30
2.2. Introducción.....	32
2.3. Definición de la fracción orgánica de los residuos municipales	36
2.3.1. Fracción orgánica de los residuos municipales.....	36
2.3.2. Fracción resto de los residuos municipales	38
2.4. Modelos de recogida de la FORM.....	40
2.4.1. Sistema de recogida puerta a puerta o personalizado.	41
2.4.2. Recogida mediante áreas de aportación o en acera	43
2.4.2.1. <i>Recogida mediante carga trasera</i>	45
2.4.2.2. <i>Recogida mediante carga lateral</i>	46
2.4.2.3. <i>Recogida mediante carga lateral bicompartimentada</i>	47
2.4.2.4. <i>Recogida mediante contenedores soterrados</i>	48
2.4.2.5. <i>Recogida neumática</i>	49
2.4.2.6. <i>Recogida mediante el sistema bilateral Easy</i>	51
2.4.3. Comparativa de los sistemas de recolección	53
2.5. Modelos de gestión de la recogida de la FORM existentes.....	49
2.5.1. Modelo de residuo mínimo.....	56
2.5.2. Modelo multiproducto o húmedo seco	60
2.5.3. Modelo de cinco fracciones	61
2.5.4. Modelo de doble flujo	64
2.5.5. Comparativa de los modelos de gestión de la FORM	65
2.6. Fomento de la cantidad y calidad de la recogida de la FORM.....	67
2.7. Conclusiones	72

2.8. Referencias	72
2.8.1. Bibliografía	72
2.8.2. Otra bibliografía	74
Capítulo 3. Uso de sensores volumétricos en contenedores para la mejora de la de en la gestión de los residuos	76
3.1. Consideraciones y objetivos.....	77
3.2. Introducción.....	79
3.3. Internet of things, IoT	82
3.4. Arquitectura necesaria para monitorizar un contenedor de residuos	84
3.4.1. Sensores volumétricos para contenedores de residuos	86
3.4.2. Conectividades para redes de sensores	87
3.4.3. Tecnologías basadas en ZigBee	88
3.4.4. Tecnologías basadas en GPRS	89
3.4.5. Protocolo Lora (LoRa-WAN)	90
3.4.6. Redes de bajo consumo Sigfox	91
3.4.7. Plataforma WEB IoT	91
3.4.8. Protocolo de comunicación Mqtt.....	93
3.5. Parte experimental materiales y métodos.....	94
3.5.1. Equipos empleados.....	94
3.5.1.1. Medidor de distancias laser LD 320	94
3.5.1.2. Sensor volumétrico TsWaste.....	94
3.5.1.3. Contenedor de residuos.....	95
3.5.2. Metodología experimental	96
3.6. Resultados obtenidos parte experimental	101

3.6.1. Comportamiento predictivo del nivel de llenado de los contenedores.....	101
3.6.2. Evaluación de los sistemas de comunicaciones empleados	109
3.7. Conclusiones parte experimental.....	110
3.8. Referencias.....	111
3.8.1. Bibliografía	111
3.8.2. Otra bibliografía	112
4. Capítulo 4. Ahorro energético mediante el uso de sensores en los recolectores de residuos.....	113
4.1. Consideraciones y objetivos.....	114
4.2. Introducción.....	116
4.3. Contaminantes producidos en la recolección de los residuos urbanos .	118
4.4. Parámetros de funcionamiento en los recolectores con incidencia en las emisiones contaminantes.....	121
4.4.1. Potencia y par motor en los motores de combustión interna	121
4.4.2. El consumo específico.....	122
4.5. Aproximación a la conducción eficiente en el ámbito de la recolección de los residuos urbanos.....	124
4.5.1. Parámetros de funcionamiento en los recolectores que influyen en las emisiones de gases contaminantes	124
4.5.1.1. <i>Velocidad de desplazamiento</i>	124
4.5.1.2. <i>Régimen de giro del motor</i>	127
4.5.1.3. <i>Tiempo de uso del ralentí</i>	127
4.5.1.4. <i>Tiempo de uso de la toma de fuerza</i>	128
4.5.1.5. <i>Aceleración y frenado</i>	128

4.6. Parte experimental materiales y métodos.....	129
4.6.1. Equipos empleados.....	129
4.6.1.1. <i>Controler Area Network (CAN)</i>	129
4.6.1.2. <i>Lector de llaves USB y llaves de identificación.</i>	110
4.6.1.3. <i>Pantalla RIBAS@</i>	130
4.6.2. Metodología parte experimental	132
4.7. Resultados obtenidos en la parte experimental.....	134
4.7.1. Resultados obtenidos en recolectores de carga lateral.....	134
4.7.1.1. <i>Estudio de los parámetros en oculto</i>	134
4.7.1.2. <i>Primera aproximación al modelo de funcionamiento.</i>	135
4.7.1.3. <i>Resultados obtenidos</i>	140
4.7.2. Resultados obtenidos en recolectores bilaterales Easy.....	147
4.7.2.1. <i>El sistema de elevación Easy</i>	147
4.7.2.2. <i>Aproximación al modelo de funcionamiento.</i>	147
4.7.2.3. <i>Resultados obtenidos</i>	151
4.7.3. Resultados obtenidos en recolectores con sistema de elevación de doble gancho o grúa	152
4.7.3.1. <i>Aproximación al modelo de funcionamiento.</i>	134
4.7.3.2. <i>Resultados obtenidos</i>	155
4.7.4. Resultados obtenidos en recolectores de carga trasera.....	156
4.7.4.1. <i>Aproximación al modelo de funcionamiento.</i>	157
4.7.4.2. <i>Resultados obtenidos</i>	161
4.8. Conclusiones	163
4.9. Referencias	165

4.9.1. Bibliografía	165
4.9.2. Otra bibliografía	167
Capítulo 5. Revisión y propuesta de un modelo de retribución en función de los indicadores de calidad alcanzados en los servicios de recogida de la FORM	168
5.1. Consideraciones y objetivo.....	169
5.2. Introducción.....	172
5.3. Protocolos de control y seguimiento del servicio de recogida de residuos urbanos	175
5.3.1. Datos basados en los controles efectuados por la concesionaria..	175
5.3.2. Datos basados en mediciones de los servicios municipales.....	176
5.3.3. Datos basados en mediciones de una asistencia externa.....	176
5.4. Comparación de los protocolos de medición.....	177
5.5. Revisión de sistemas de control de la calidad que incorporan la mejora continua mediante indicadores y la facturación variable	178
5.5.1. Modelo Sant Cugat del Valles.....	178
5.5.1.1. <i>Indicadores planteados</i>	180
5.5.1.2. <i>Impacto de las mermas de calidad sobre la retribución</i>	184
5.5.2. Modelo de Pinto	184
5.5.2.1. <i>Indicadores planteados</i>	185
5.5.2.2. <i>Impacto de las mermas de calidad sobre la retribución</i>	188
5.5.3. Modelo de San Sebastián de los Reyes.....	189
5.5.3.1. <i>Indicadores planteados</i>	189
5.5.3.2. <i>Impacto de las mermas de calidad sobre la retribución</i>	192
5.5.4. Modelo de Tiana.....	193

5.5.4.1. Indicadores planteados	194
5.5.4.2. Impacto de las mermas de calidad sobre la retribución	196
5.5.5. Modelo de Madrid	198
5.5.5.1. Indicadores planteados	199
5.5.5.2. Impacto de las mermas de calidad sobre la retribución	202
5.5.6. Modelo de Ibiza	206
5.5.6.1. Indicadores planteados	206
5.5.6.2. Impacto de las mermas de calidad sobre la retribución	212
5.5.7. Modelo de Inca.....	213
5.5.7.1. Indicadores planteados	214
5.5.7.2. Impacto de las mermas de calidad sobre la retribución	226
5.6. Comparativa de los modelos presentados	228
5.7. Parámetros que definen un modelo de retribución basado en el uso de indicadores de calidad de la prestación del servicio de recogida de la FORM.....	230
5.7.1. El concepto de indicador.....	230
5.7.2. El concepto de evidencia objetiva	232
5.7.3. Indicadores objetivos y subjetivos.....	233
5.7.4. Ponderación de indicadores	234
5.7.4.1. El concepto de media aritmética ponderada.....	234
5.7.5. Frecuencia de inspección	234
5.7.6. Determinación de las áreas de inspección.....	235
5.7.7. Sistemáticas de evaluación de los indicadores	235
5.7.7.1. Control durante la prestación del servicio	236

5.7.7.2. Control sobre la prestación del servicio finalizado	236
5.7.8. Determinación del modelo de retribución por calidad del servicio prestado	237
5.8. Propuesta de un modelo de retribución basado en el uso de indicadores de calidad en la prestación del servicio de recogida de la FORM	238
5.8.1. Determinación de las operaciones o trabajos a efectuar en un servi- cio de recogida de la FORM.....	238
5.8.2. Construcción de los indicadores, Propuesta	239
5.8.2.1. Impacto IR de la recogida, carga y transporte de residuos.....	225
5.8.2.2. Indicador IL de la limpieza y mantenimiento de contenedores	246
5.8.2.3. Indicador Lc, índice de satisfacción ciudadana.....	249
5.8.3. Afección mermas de calidad a la retribución de la contrata.....	250
5.9. Conclusiones	251
5.10. Referencias.....	253
5.10.1. Bibliografía	253
5.10.2. Otra bibliografía	253
Capítulo 6. Metodología	256
6.1. Consideraciones y objetivos.....	257
6.2. Metodología propuesta	258
6.2.1. Parámetros básicos del diseño del sistema de recolección.....	258
6.2.1.1. Estructura viaria.....	258
6.2.1.2. Existencia y distancia de las plantas de tratamiento.....	259
6.2.1.3. Población.....	259
6.2.1.4. Generación de residuos	259

6.2.1.5. Estimación de la FORM recuperable.....	260
6.2.2. Elección del modelo de gestión de la FORM y resto	264
6.2.3. Elección del tipo de recolector	265
6.2.4. Frecuencia de vaciado	266
6.2.5. Cálculo del número de contenedores necesarios.....	266
6.2.6. Uso de sensores para la reducción del consumo en recolectores.....	268
6.2.7. Despliegue de una red de sensores en contenedores para la mejora de la recolección de los residuos.....	269
6.2.8. Puesta en marcha de un sistema de indicadores que garantice la buena ejecución de los trabajos.....	272
6.2.9. Despliegue de una campaña informativa o de concienciación ciudadana	274
6.3. Conclusiones	276
6.4. Referencias	277
6.4.1. Bibliografía.....	277
6.4.2. Otra bibliografía.....	277
Capítulo 7. Aplicación de la metodología a la localidad de Mislata	278
7.1. Consideraciones y objetivo	279
7.2. Factores condicionantes del servicio de recogida.....	280
7.2.1. Características de la localidad.....	280
7.2.2. Adecuación del tipo de vehículo a la estructura viaria.....	280
7.2.3. Sistema de contenerización actual	280
7.3. Modelo de gestión de la materia orgánica y fracción resto propuesto ..	281
7.4. Modelo de recolección de la FORM y resto propuesto	283

7.5. Compatibilidad de las soluciones adoptadas.....	285
7.6. Dimensionamiento del servicio	286
7.6.1. Población actual y futura.....	286
7.6.2. Generación de residuos	287
7.6.3. Contenerización propuesta fracción resto.....	261
7.6.3.1. Equipos necesarios y número de portes.....	291
7.6.3.2. Frecuencia de la recogida fracción resto.....	293
7.6.4. Contenerización propuesta fracción orgánica.....	294
7.6.4.1. Número de contenedores y equipos necesarios.....	294
7.6.4.2. Número de portes necesarios.....	294
7.6.4.3. Frecuencia de la recogida de la fracción orgánica.....	295
7.7. Modelo de retribución basado en el uso de indicadores de calidad del servicio.....	296
7.7.1. Identificación de los trabajos a efectuar.....	296
7.7.2. Indicadores propuestos	296
7.7.2.1. Indicador I_R de recogida carga y transporte de residuos de la FORM y resto.....	297
7.7.2.2. Indicador I_{CM} de la limpieza y mantenimiento de los contenedores.....	302
7.7.3. Afección de las mermas de calidad a la retribución mensual.....	305
7.8. Uso de sensores para el ahorro energético de los equipos de recolección empleados	306
7.8.1. Ahorro en el recolector de carga lateral.....	306
7.8.2. Gesto energético sin aplicar el sistema de sensores	309
7.8.3. Gesto energético aplicando el sistema de sensores.....	309
7.8.4. Ahorro estimado anual del recolector de carga lateral.....	310

7.8.5. Ahorro estimado anual del recolector de carga trasera	310
7.9. Mejora del servicio de recolección mediante la sensorización de los contenedores	312
7.9.1. Estudio de necesidades.	312
7.9.2. Tecnologías de comunicación a emplear	312
7.9.3. Número de sensores necesarios para calibración la contenerización del servicio.....	312
7.9.4. Coste de la solución adoptada	312
7.10. Propuesta de otras soluciones TIC para la mejora de la solución.....	314
7.10.1. Sistema de identificación automática de contenedores equipados con transponder (tag) para RFID	314
7.10.2. Uso de aplicaciones móviles para la mejora del sistema de indicadores	315
7.11. Conclusiones	318
8. Aportaciones, conclusiones y futuras líneas de investigación	320
8.1. Aportaciones	221
8.2. Conclusiones	323
8.3. Futuras líneas de investigación	326

Capítulo 1

Objetivos de la Tesis Doctoral

ABSTRACT.

The collection of solid waste in the cities is a problematic activity of high economic, social and environmental impact. In recent years, there has been a boom in the use of ICT technologies and quality control systems through performance indicators, with the purpose, on one side, of achieving a direct link between economic operational costs of services and the quality of the received services by the contractors and on the other hand, to improve the environmental sustainability of the cities. This way of development towards an efficient management of the municipal services receives the name of Smart City. In a Smart City environment, a collection system of solid urban waste entails both opportunities and risks. So logic suggests that the road to achieve the Smart City requires studies to indicate how and where it can be acted, in order to achieve a more efficient and rational management of services, being this the objective of the study.

Palabras clave.

Smart City, recolectores, bioresiduos, retribución, indicadores, sensores

Acrónimos.

FORM, Fracción orgánica residuos municipales. IoT, Internet of things. CPP, Colaboración público privada. RSU, Residuos sólidos urbanos. GEI, Gases de efecto invernadero. TIC, Tecnologías de la información y la comunicación.

1.1. Justificación del estudio.

La recogida de los residuos sólidos urbanos (RSU) es una competencia propia de los municipios, estos mediante pliegos de condiciones determinan los métodos o sistemas de recogida que se implantan en las localidades. En el actual marco económico estamos asistiendo a la reducción en la frecuencia de la recogida de residuos como medida o vía rápida para reducir el coste de explotación municipal de este servicio, lo que genera reacciones adversas por parte de la ciudadanía en caso de desbordamientos tal y como se constata en los medios diariamente, no parece por tanto la fórmula de los recortes, el camino más adecuado para una gestión eficiente del servicio.

Igualmente, para garantizar la viabilidad económica de los consistorios se están estableciendo mecanismos de control o seguimiento de las prestaciones de los servicios de recogida de residuos por parte de las contratadas, mediante el uso de indicadores de rendimiento de las prestaciones que conllevan una afección en las retribuciones mensuales pagadas. En la actualidad conviven diversas metodologías, que tienen como objetivo alcanzar una relación directa entre los costes operacionales económicos de los servicios y la calidad de las prestaciones recibidas por parte de las contratadas, son las llamadas retribuciones por estándares de calidad alcanzados.

En otro sentido en los últimos años se han diversificado enormemente las soluciones técnicas empleadas en la recogida de los RSU Fig. 1.1, en consecuencia, día a día aparecen nuevos y novedosos sistemas de recolección electromecánicos para el vaciado de los contenedores, como el sistema bilateral de elevación *Easy* de la empresa *Nord Engineering*.

Por otro lado, se están empezando a incluir en los vehículos recolectores, así como en los recipientes de recogida diversos sensores de medición que permiten

la localización GPS, la identificación de contenedores, la monitorización de los parámetros del motor, la medición de llenado y pesaje de los contenedores, el estado de degradación de la materia orgánica, entre otros, todo ello impulsado por un concepto denominado Smart City.

Se puede definir Smart City (en castellano Ciudad Inteligente) como aquella ciudad que usa las tecnologías de la información y las comunicaciones para hacer que tanto su infraestructura crítica, como sus componentes y servicios públicos ofrecidos sean más interactivos, eficientes y los ciudadanos puedan ser más conscientes de ellos. Una ciudad Smart City es una ciudad comprometida con su entorno, tanto desde el punto de vista medioambiental como en lo relativo a los elementos culturales e históricos [1]

El uso de Smart City aporta diversas soluciones concretas a las necesidades actuales del medioambiente urbano, así expertos en campos como los servicios urbanos y tecnología han concluido que 14 de los 17 problemas urbanos pueden resolverse con la tecnología Smart City [2]. La gestión de los residuos urbanos suscita interés especial en una Smart City ya que la imagen de la misma es la de una ciudad limpia, ordenada y bien planificada. Por ello, el servicio RSU es crítico en un proyecto de transformación de la ciudad convencional en Ciudad Inteligente [3].

Desde esta perspectiva Taewoo Nam y Theresa A. Pardo [4] consideran que la aplicación de Smart City a las ciudades conlleva aplicar múltiples novedades tecnológicas, pudiendo convertir las ciudades en verdaderos laboratorios de experimentación. Es evidente que el despliegue masivo de innovación de las Smart City conlleva oportunidades y riesgos a la vez, por lo que la lógica sugiere que el camino hacia la ciudad inteligente requiere de estudios que indiquen de qué forma y dónde se puede actuar, con el fin de lograr una gestión más eficaz y racional de los servicios.



Fig. 1.1 – Sistema de recogida con recolector bicompartimentado.

Por último, la comunicación de la comisión Europa 2020 “Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador (2010)”, establece que la economía actual europea, basada en el uso intensivo de los recursos, debe transformarse en un nuevo modelo de crecimiento basado en el uso eficiente de los mismos. El objetivo es convertir a Europa en una sociedad eficiente en el uso de los recursos, que produzca menos residuos y que utilice estos, siempre que sea posible, y siempre y cuando no pueden ser evitados [6].

Se trata de convertir la actual economía lineal basada en producir, consumir y tirar, por una economía circular Fig. 1.2 en la que se reincorporen al proceso productivo una y otra vez los materiales que contienen los residuos para la producción de nuevos productos o materias primas.

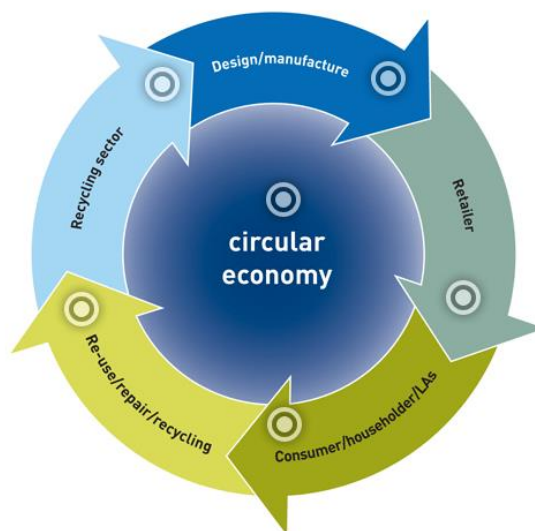


Fig. 1.2 – Principios de la economía circular.

Por tanto, existe un cambio de percepción de los residuos pasando de algo a eliminar, para pasar a verlos como recursos de fácil acceso o eco materias primas para su reincorporación al ciclo de vida de los materiales.

En el caso de los bioresiduos provenientes de la fracción orgánica de los residuos municipales (FORM), esta constituye del 36 % al 42 % en peso del total de residuos municipales generados a nivel nacional y presenta diversas oportunidades de reutilización una vez realizada la recogida separada, como el compostaje, la fabricación de bioplásticos o la producción de biogás. Además, el modelo de gestión actual mayoritario de recogida conjunta de la fracción resto y orgánica, continúa generando que una gran parte de la FORM acabe en los vertederos o depósitos controlados, lo que produce importantes impactos ambientales asociados, sobre todo, contaminación por lixiviados y emisiones de gases de efecto invernadero, fundamentalmente metano.

Ante este contexto sería muy interesante presentar en el marco de la recogida de la FORM y en el ámbito de las Smart Cities la idoneidad de cada una de las soluciones tecnológicas o modelos de gestión que conforman la ciudad inteli-

gente, ya que, si bien plantean múltiples expectativas, existe una ausencia de estudios científicos sobre la aplicación efectiva y la repercusión real sobre la mejora de las prestaciones en la recogida de los RSU.

1.2. Objetivos.

El propósito de la Tesis es desarrollar una metodología que permita identificar qué solución o soluciones en el ámbito del paradigma de las *Smart Cities* resultan más sostenibles económica y medioambientalmente para efectuar la recogida de la FORM y RESTO, dando a conocer el grado de adaptación de las distintas tecnologías y metodologías, con el fin de dar cumplimiento a las necesidades y expectativas del sector público, ya que en la actualidad no existe una teoría completamente desarrollada sobre el tema que permita dar respuesta a las siguientes cuestiones:

- ¿Qué modelo de recogida de la FORM y resto es el más adecuado, según las variables de entrada para la recogida que se tengan?
- ¿Cuál es la efectividad real en la mejora del servicio de recogida al usarse sensores volumétricos en los contenedores? ¿Hasta qué punto es predecible el comportamiento de llenado de un contenedor sin el uso continuo de sensores?
- ¿Cuál es la efectividad del uso de sensores en los motores de los recolectores para la reducción de los consumos energéticos y las emisiones contaminantes asociadas?
- ¿Qué sistemas de control mediante indicadores, pueden ser los más apropiados, para realizar una gestión ágil y eficiente de la recogida de residuos?

En general, ¿Cuál es el modelo más adecuado de recolección de los residuos orgánicos dentro de un entorno Smart, con un sistema de retribución por resultados teniendo en consideración todas las cuestiones anteriores?

Para dar respuesta a las preguntas anteriores y conseguir el objetivo general de la tesis han sido necesarios definir los siguientes objetivos específicos:

- Revisión y análisis de los modelos actuales de recogida de la FORM y resto.
- Revisión y análisis del uso de la tecnología de *Internet of things* (IoT) en la recogida de los residuos sólidos urbanos. Aplicación a los contenedores

de residuos. Estudio del comportamiento de llenado de los contenedores mediante el uso de los sensores.

- Revisión y análisis del uso de sensores en los recolectores de residuos urbanos para reducir el gasto energético y las emisiones contaminantes asociadas.
- Revisión y análisis de los modelos de retribución en las contratas de recogida de residuos en función de los resultados obtenidos tras la aplicación de un sistema de indicadores de calidad.
- Aplicación a un caso particular.

Dicha metodología puede ser una herramienta de gran utilidad para los técnicos que trabajan en los servicios municipales, a la hora de confeccionar los pliegos de condiciones de los contratos de recogida de la FORM y resto, mejorar la gestión de estas fracciones, así como para las empresas privadas que participan en el servicio mediante el contrato municipal de gestión indirecta.

1.3. Contenido y desarrollo de la tesis.

1.3.1. Contenido.

El contenido de la tesis se estructura de la siguiente manera:

- Capítulo 1. Presenta los objetivos principales del trabajo y su justificación, así como la descripción resumida de los contenidos de cada capítulo.
- Capítulo 2. En el segundo capítulo, se indica la importancia de recuperar la materia orgánica de los RSU, se realiza una revisión en profundidad de los distintos métodos y sistemas de recolección existentes para esta fracción y la fracción resto. Se presenta una comparativa de los distintos modelos y sistemas de recolección. También identifica los factores limitantes a la hora de plantear en un caso práctico el uso de cada método o sistema y por último se plantean medidas de fomento de la calidad y cantidad de la FORM recogida.
- Capítulo 3. El tercer capítulo aborda las posibilidades y el estado de arte del uso de las tecnologías de comunicación que son de aplicación o pueden serlo en la recolección de los residuos, como SigFOX o LoRA, concretamente en el seguimiento del volumen de ocupación de los residuos mediante sensores volumétricos. Se profundizará en el concepto de *Internet of things* o internet de las cosas. En una segunda parte de capítulo se describe la instalación experimental, el procedimiento de los ensayos y los resultados obtenidos en el uso de sensores volumétricos en los contenedores de residuos, incidiendo en el estudio de la posible predicción del volumen de llenado de los recipientes mediante simples expresiones matemáticas, lo que
- Capítulo 4. Sin salirse de la órbita de las tecnologías de información y comunicación (TIC), este capítulo describe cómo influyen los diversos factores de funcionamiento de los recolectores de residuos en el gasto energético y las emisiones de gases de efecto invernadero, durante el proceso de recogida de residuos urbanos y de qué manera mediante sensores instalados en el CAN-BUS es posible reducir consumo y emisiones asociadas. Al final del capítulo se describe la instalación experimental, el procedimiento de los ensayos y los resultados obtenidos durante 3 años de pruebas de uso de esta tecnología en diversos recolectores.

- Capítulo 5. A continuación en el quinto capítulo, se revisan los diferentes sistemas de retribución a las contratas de recogida de residuos, ligados al cumplimiento de estándares de calidad mediante indicadores. Para la búsqueda y revisión de los diferentes sistemas de control y seguimiento del servicio de recogida de RSU, se han utilizado las siguientes fuentes:

- Base de datos propia de pliegos de condiciones técnicos de servicios de limpieza y recogida de RSU desde el año 2005 al año 2017.
- Recopilación de información propia a partir de la experiencia y el conocimiento tras 7 años siendo el responsable de la contrata de limpieza y recogida de residuos de la ciudad de Valencia.
- Recopilación de documentación facilitada por técnicos municipales de diferentes localidades, así como en congresos del sector.
- Información recopilada en diferentes páginas de internet.

Una vez efectuada la revisión, se desarrolla una metodología de control y seguimiento del servicio de recogida de la FORM y resto en un entorno Smart City, que permita garantizar la correcta prestación de los servicios definidos en los pliegos de condiciones técnicas.

- Capítulo 6. En este capítulo, se presenta una metodología basada en los resultados obtenidos y los estudios de los capítulos anteriores para la recolección de la FORM y resto, dentro del paradigma de las Smart Cities. La propuesta metodológica se ha estructurado de la siguiente forma:

- Diseño de servicios de recogida de FORM y fracción resto.
- Diseño del entorno SMART mediante el uso de sensores.
- Diseño del sistema de control y seguimiento del servicio.

- Capítulo 7. Se presenta un caso práctico de aplicación en una población de 40.000 habitantes, con un modelo de recolección mediante 4 contenedores (papel cartón, envases ligeros, vidrio y resto RSU) en el cual se pretende implantar un sistema SMART de recogida segregada de la FORM y resto.

- Capítulo 8. Analiza las conclusiones y describe las líneas futuras de este trabajo.

1.3.2. Desarrollo.

El primer paso en la elaboración del estudio ha sido la revisión del estado del arte que se ha incluido en cada capítulo, esto ha permitido establecer un punto de partida basado en el estado del conocimiento actual. No obstante, reexaminando la literatura presente hasta el momento, se puede afirmar que en la actualidad se ha prestado escasa atención a varias de los temas objeto de la tesis, sobre todo desde una perspectiva de aplicación efectiva a la recogida de los residuos sólidos municipales.

La metodología que se ha empleado en este trabajo está dividida en dos partes. Por un lado, se ha realizado un trabajo de recopilación de información y análisis y por otra parte se han realizado experiencias de campo durante algo más de 3 años, lo que ha permitido contrastar con datos experimentales.

Las experiencias de campo que se ha realizado son las siguientes:

- Experimentación con dispositivos o sensores de capacidad de llenado (detectores volumétricos) en los recipientes de recogida de residuos, esto ha permitido analizar el comportamiento de llenado de los contenedores y establecer si obedecen o se rigen por un patrón.
- Disposición de sensores de monitorización de los parámetros del motor en diversos vehículos de recogida de residuos (110 unidades), en diferentes sistemas de carga y descarga del contenedor (carga lateral, bilateral etc.). La captura de los parámetros del recolector, rpm máximo, tiempo de uso de la toma de fuerza, frenado brusco, aceleración máxima y velocidad, ha permitido la creación de modelos con los parámetros óptimos de funcionamiento que minimizan el consumo de energético.

Finalmente indicar que gran parte del presente trabajo ha servido para la consecución de un proyecto europeo denominado *Plasticircle* dentro del programa horizonte 2020 de la UE que se desarrollará durante 4 años en varios países de la unión y que está dotado de un presupuesto de 8 M€.

1.4. Referencias.

1.4.1. Bibliografía.

[1] Fundación telefónica. Smart City, un primer paso hacia el internet de las cosas, 2012.<http://smartcity-telefonica.com/?p=373>

[2] J H Lee, R Phaal (2013), An integrated service-device-technology roadmap for smart city development, Technological forecasting @social Change 80 Elsevier 286-360.

[3] Carlos Bernad, La gestión de los residuos en el marco de la Smart City, II Congreso Ciudades Inteligentes 2016.

[3] Taewoo Nam and Theresa A.Pardo. Smart City as Urban innovation: Focusing on management policy, and context, Center for Technology in Government, University at Albany, State University of New York.

[4] Malcon Bates, Hybrid refuse collection vehicles: something for nothing?, WMW magazine.

[5] Fraser McLeod, Tom Cherrett, Quantifying the transport impacts of domestic waste collection strategies, Waste Management, Volume 28, Issue 11, November 2008, Pages 2271-2278, ISSN 0956-053X, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.041>.

[6] Plan estatal marco de gestión de residuos 2016-2020, Dirección general de calidad y evaluación ambiental y medio natural Ministerio De Agricultura, Alimentación Y Medio Ambiente, 2016.

1.4.2. Otra Bibliografía.

Vicentini, A. Giusti, A. Rovetta, X. Fan, Q. He, M. Zhu, B. Liu, Sensorized waste collection container for content estimation and collection optimization, Waste Management, Volume 29, Issue 5, May 2009, Pages 1467-1472, ISSN 0956-053X, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2008.10.017>.

A. Hannan, Maher Arebey, R.A. Begum, Hassan Basri, Radio Frequency Identification (RFID) and communication technologies for solid waste bin and truck

monitoring system, *Waste Management*, Volume 31, Issue 12, December 2011, Pages 2406-2413, ISSN 0956-053X,

Alberto Rovetta, Fan Xiumin, Federico Vicentini, Zhu Minghua, Alessandro Giusti, He Qichang, Early detection and evaluation of waste through sensorized containers for a collection monitoring application, *Waste Management*, Volume 29, Issue 12, December 2009, Pages 2939-2949, ISSN 0956-053X.

Yvan Duroc, Darine Kaddour, RFID Potential Impacts and Future Evolution for Green Projects, *Energy Procedia*, Volume 18, 2012, Pages 91-98, ISSN 1876-6102.

Maurizio Faccio, Alessandro Persona, Giorgia Zanin, Waste collection multi objective model with real time traceability data, *Waste Management*, Volume 31, Issue 12, December 2011, Pages 2391-2405, ISSN 0956-053X.

César Aliaga, Beatriz Ferreira, Mercedes Hortal, María Ángeles Pancorbo, José Manuel López, Francisco Javier Navas, Influence of RFID tags on recyclability of plastic packaging, *Waste Management*, Volume 31, Issue 6, June 2011, Pages 1133-1138, ISSN 0956-053X.

Maher Arebey, M.A. Hannan, R.A. Begum, Hassan Basri, Solid waste bin level detection using gray level co-occurrence matrix feature extraction approach, *Journal of Environmental Management*, Volume 104, 15 August 2012, Pages 9-18, ISSN 0301-4797,

Capítulo 2.

Aproximación al diseño de una red de recogida de la fracción orgánica de los RSU.

ABSTRACT.

When organic matter is buried, large amounts of greenhouse gases are produced, contributing to the climate change. If the organic fraction is collected separately and submitted to biological treatment, a very valuable organic product is obtained that can be used to improve soil fertility. At present, there are different systems to segregate organic matter in the waste collection processes. Choosing the right one will allow to optimize the amount of organic fraction in quantity and quality. This chapter will review the current techniques, analyzing pros and cons of each technique, with the aim of facilitating the choice of the most appropriate model.

Palabras clave

Residuos sólidos urbanos, recolector, FORM, fracción resto, compost, materia orgánica, Unión Europea, residuo mínimo, impropios.

Acrónimos

FORM, Fracción orgánica de los residuos municipales. FIRM, Fracción inorgánica de los residuos municipales. PaP, Puerta a puerta. RSU, Residuo sólido urbano. UE, Unión Europea.

2.1. Consideraciones y objetivos.

La gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) tal y como establece la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, corresponde a las Entidades Locales. Para los municipios, las dificultades y los desafíos en la gestión de los RSU están aumentando continuamente debido a la concentración de la población en las ciudades y el aumento de la ratio en la generación de residuos. Actualmente la producción mundial de los RSU alcanza los 1,3 millones de toneladas/ año, es decir, 1,2 kg/hab/día. [1]

En lo que respecta a la recogida de los residuos, en la UE cada persona generó 475 kg de Residuos municipales en 2014, de esta cantidad el 44% fue reciclado o compostado [2]. En cuanto al ámbito normativo de los RSU, la legislación de la UE sobre residuos, entre los años 1975 y 1990, estaba dominado por requisitos administrativos generales y sólo después de 1990, ha establecido obligaciones vinculantes y objetivos de reciclaje para las diferentes tipologías de residuos.

Así, la Unión Europea conscientes de la problemática de los residuos municipales ha ido estableciendo objetivos a través de directivas comunitarias para reducir al mínimo la cantidad de residuos biodegradables depositados en vertederos, como la Directiva 1999/31 / CE (Consejo Europeo, 1999) y la Directiva de Residuos 2006/12 / CE (Consejo Europeo, 2006) que pretende reducir el vertido de la fracción biodegradable de los RSU.

Más reciente es la Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo “Hacia una economía circular: un programa de cero residuos para Europa” del 2 de julio de 2014, que revisa las directivas de residuos, de vertido, de envases y aumenta los objetivos de 2020 para 2025 y 2030. La Comunicación prohíbe para el año la deposición en vertederos de los plásticos, metales, papel y cartón reciclables y los residuos biodegradables. Y es que el impacto medioambiental de la generación de residuos municipales se puede reducir significativamente mediante la recogida selectiva y el reciclado y uso posterior de los residuos orgánicos, siendo la correcta recogida selectiva de estos residuos una condición previa para la reutilización de la materia orgánica y nutrientes [3]. Entre los posibles beneficios medioambientales de una recuperación coherente de los biorresiduos en Europa serían la reducción de 50 millones de toneladas de CO_{2-Eq} a la atmosfera [4].

Desde el punto de vista económico, los residuos orgánicos municipales se configuran como una potencialidad a explotar, puesto que puede dar lugar a dos productos perfectamente comercializables: compost y biogás. Como resultado de la recogida selectiva de la materia orgánica y posterior tratamiento, por cada tonelada tratada se obtiene 300 kg de compost (mediante procesos aerobios) o 400 kg de compost de menor calidad (mediante procesos anaerobios) o en el caso de la producción del biogás se generan 390 kWh. [5]

Ante este contexto, en el capítulo de va a realizar una revisión en profundidad de los distintos métodos y sistemas de recolección existentes para la recogida segregada de la fracción orgánica de los residuos municipales y la fracción resto. Al mismo tiempo se indicarán los parámetros más importantes que definen una correcta segregación de estos residuos como cantidad de materia orgánica recuperada o nivel de impropios. Finalmente se identificarán los factores limitantes a la hora de plantear en un caso práctico el uso de cada método o sistema.

2.2. Introducción.

La materia orgánica es un componente esencial de los suelos y desempeña un papel fundamental en la conservación de los mismos (fertilidad). Los bajos niveles de C orgánico en el suelo superficial que se observan en suelos mediterráneos Fig. 2.1 y, sobre todo, en suelos semiáridos, los sitúa a menudo por debajo de los valores propuestos como umbrales de degradación [6]. Este coste de la degradación la UE se estima en aproximadamente 38 millones de euros/año [7].

El compostaje de los residuos biodegradables, así como el uso posterior del material obtenido, no sólo tiene la ventaja de recuperar los niveles de materia orgánica de los suelos agrícolas, sino también de retener en el suelo parte del carbono orgánico que se perdería mediante emisiones hacia la atmósfera [8].

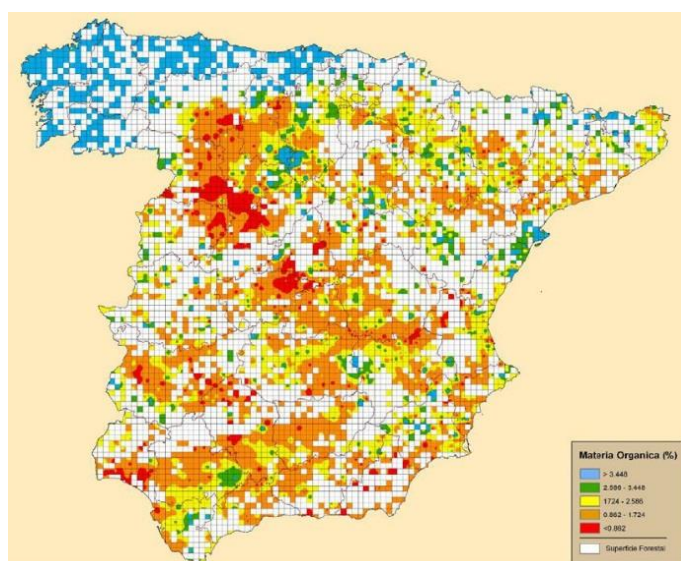


Fig. 2.1. - Contenido en materia orgánica de los suelos españoles. Ministerio de medio ambiente de España.

El compostaje de la fracción orgánica de residuos municipales (FORM) se realiza mezclando la materia orgánica con material estructurante (podas, serrín, etc.) y posteriormente se somete a un proceso de fermentación natural con presencia de oxígeno que permite obtener compost Fig. 2.2.

Una recogida selectiva en origen de calidad de la materia orgánica permite además de obtener un compuesto de muy buena calidad para utilizar como abono orgánico para la agricultura y la jardinería, obtener biogás aprovechable energéticamente.

Y es que cuando se está enterrando materia orgánica se producen grandes cantidades de gases de efecto invernadero, que contribuyen al cambio climático, pero la solución no pasa por la recuperación *in situ* del biogás emitido a vertederos, ya que las tecnologías actuales alcanzan un porcentaje de recuperación de biogás muy reducido en relación con el total generado [9]. La solución pasa por la valorización energética en las plantas de tratamiento, tras la realización de una recogida segregada de la FORM, esto evita muchos de los problemas producidos por la acumulación de impropios como las colmataciones de ciertas partes del circuito de digestión en los reactores.



Fig. 2.2 - Proceso de compostaje.

Otra de las opciones de que se emplean hoy en día para el tratamiento de los residuos consiste en destruir los residuos mediante incineración, pero este proceso conlleva igualmente destruir unos recursos o materiales, en este caso la materia orgánica, con un elevado contenido de nutrientes y con potencialidades de uso en nuestro país, en razón de los bajos niveles de carbono de nuestros suelos como se ha comentado. No obstante, en el caso de la incineración de los residuos

de la fracción resto, estos contienen menos ingredientes húmedos si se ha realizado una separación segregada de la FORM, lo que facilita el tratamiento en las plantas de incineración de residuos al disminuir el contenido en agua de los residuos y por tanto aumentar el poder calorífico [4].

Por tanto, la presencia de materia orgánica en los RSU que van a las plantas de tratamientos puede causar varios problemas, como la generación de malos olores, de lixiviados, de emisiones de gases de efecto invernadero, el ensuciamiento de los materiales reciclables, el aumento de los costes de los tratamientos etc.

Por el contrario, la separación en origen de la FORM:

- Permite obtener un compost de calidad.
- Facilita la producción de biogás.
- Se origina una reducción máxima de los biorresiduos en origen. Esto implica una menor cantidad de la fracción resto a tratar, con la consiguiente disminución de la capacidad de las instalaciones para su tratamiento y con una considerable reducción de su huella del carbono.
- Se necesita una menor superficie de vertedero Fig. 2.3.
- Se facilita la incineración de la fracción resto.
- Se disminuye la ratio de impropios en las otras fracciones de recogida selectiva.



Fig. 2.3 – Vertedero de RSU.

2.3. Definición de la fracción orgánica de los residuos municipales.

2.3.1. Fracción orgánica de los residuos municipales.

Según la Directiva 2008/98/CE, se define biorresiduo, al residuo biodegradable de jardines y parques, residuos alimenticios y de cocina procedentes de hogares, restaurantes, servicios de restauración y establecimientos de consumo al por menor así como los comparables procedentes de plantas de transformación de alimentos. El biorresiduo procedente de los RSU, al que se le llama fracción orgánica de los residuos municipales (FORM), se caracteriza por ser un material con las siguientes características:

- Muy húmedo (80 %)
- Alto contenido de materia orgánica (75 al 85 %).
- Muy denso (0,5-0,6 t/m³).
- Fermentable.

No obstante, según el origen del residuo tendremos unas características físicas y bioquímicas diferentes. Se considera que el 36 % del peso de los RSU generados son biorresiduos [10]. Se trata, por tanto, de un flujo prioritario de residuos cuya gestión determina la de la fracción resto y la eco- eficiencia del sistema completo de la recogida de residuos. Consecuentemente la FORM se convierte en la fracción más importante de estos residuos, ya que representa el mayor peso de estos y resulta la fracción más inestable, debido a su alto contenido en agua (alrededor del 80% en peso) y en materia orgánica (75-85%) [11].

Paulatinamente, diversas poblaciones españolas están introduciendo sistemas de recogida segregada de la FORM con diversa fortuna. Como muestra de ello, en la ciudad de Mallorca el contenido depositado en el contenedor de rechazo o resto de fracción orgánica ha pasado del 32 % (año 2013), al 20 % (año 2014) y a un 11 %, en el 2015 [12], lo que evidencia una mejora en la segregación. En otros casos como en la población Gerundense de Vic, de 40.000 habitantes en el año 2014, la cantidad de recogida de la materia orgánica recogida fue muy baja ya que tan solo se recogió el 48.91 % de toda la orgánica que se generó a la

población Fig. 2.4. Al mismo tiempo la fracción orgánica recogida Fig. 2.5, solo supuso un 16,63 %, del 36 % que debería representar esta fracción con un nivel de impropios del 9,30 %, consecuentemente el modelo de recolección de la FORM no está funcionando. Como último ejemplo, en la ciudad de Barcelona el nivel de impropios en los contenedores de FORM durante el 2016 fue del 22 % según datos de la Agencia Catalana de Residuos.

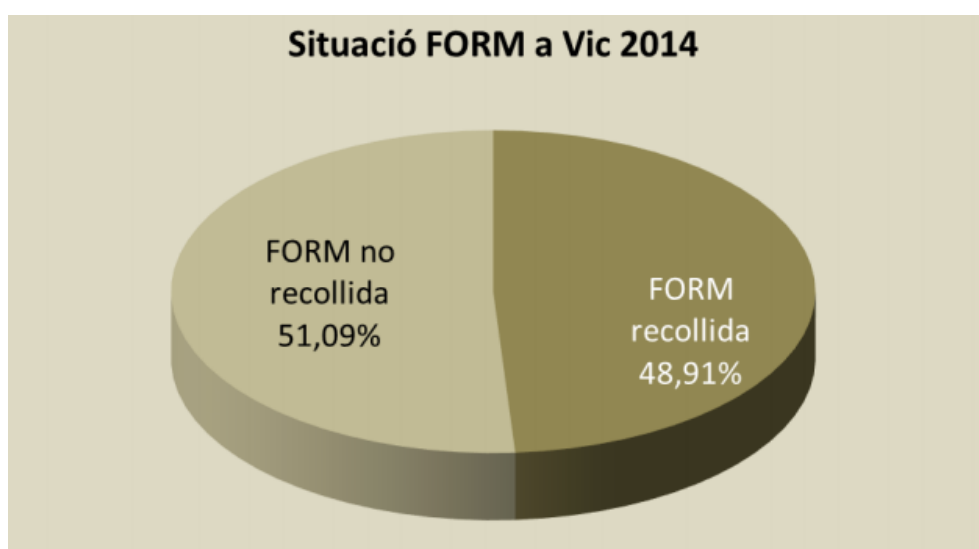


Fig. 2.4 - Composición de los residuos municipales en Cataluña 2015, agencia catalana de residuos.

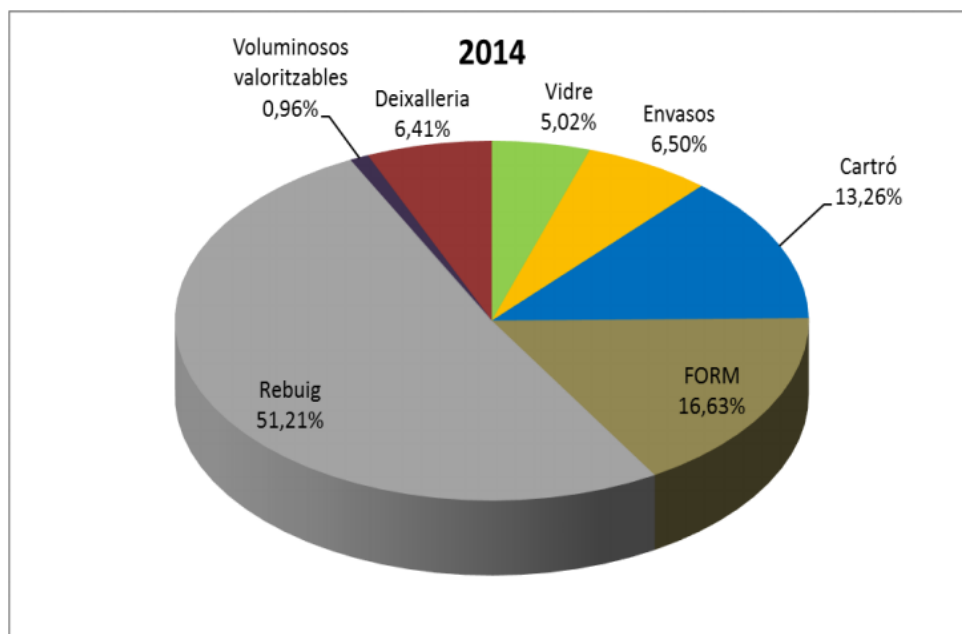


Figura 2.5. Fracciones recogidas en la población de VIC (Gerona).

2.3.2. Fracción resto de los residuos municipales.

El rechazo o resto es aquella parte de los residuos que no es reciclable, como los papeles y plásticos sucios, ceniza y colillas, restos de cerámica, peletería, lana y algodón, compresas, pañales, etc. En los sistemas de recogida selectiva en cinco fracciones Fig. 2.6, la fracción resto tiene entre un 30 y un 40 % de materia orgánica [13]. Si se realizara una separación óptima de todas las fracciones de los residuos, el total de restos supondría solo un 17 % de los mismos. Una recogida selectiva de calidad de esta fracción, permite tratarla posteriormente mediante procesos de selección, mecánicos y biológicos para reducirla, estabilizarla y obtener, cuando sea posible, el máximo aprovechamiento y valorización de las fracciones segregadas (por ejemplo la combustible), como paso previo a la disposición final de un resto más inertizado y/o estabilizado.

En las plantas de tratamiento se intenta recuperar el mayor porcentaje posible de residuos valorizables que hay en la fracción de resto, pero esta recuperación

es parcial y costosa, por lo que la separación en origen (separando en los contenedores adecuados) sigue siendo el sistema más eficiente y económico.



Fig. 2.6 – Contenedor de restos junto a contenedor (marrón) de FORM.

2.4. Modelos de recogida de la fracción orgánica de los residuos municipales.

En España y más concretamente en la comunidad Valenciana, el sistema de recogida más empleado es el modelo de cuatro fracciones (vidrio, papel/cartón, envases y RSU). La recogida se realiza mayoritariamente mediante contenedores situados en áreas de aportación, salvo en algunas excepciones locales [5].

Se trata de un sistema que no recoge la materia orgánica de forma selectiva. Por tanto, dicha fracción que supone entre el 36 y el 40 % en peso del contenido de la fracción de RSU no se recoge selectivamente y convive con la fracción resto más impropios. Por eso, aunque se hagamos el esfuerzo de separar el vidrio, el papel/cartón y los envases, la tasa de separación no supera el 30%, ni en el mejor de los casos. Es decir, se vierte al vertedero el 70% de los RSU.

La característica de la FORM hace necesario que esta fracción sea recogida con unas frecuencias determinadas y en unas condiciones que eviten lixiviados y malos olores. Para optimizar dicha recogida es esencial desarrollar un correcto sistema de recolección y cuantificación del número de recipientes necesarios, ya que en la separación de la fracción orgánica se pide al ciudadano un esfuerzo mayor en la separación, debido a que se trata de un residuo húmedo y putrescible. Este esfuerzo es mayor si se opta por sistemas de recogida donde intervienen recipientes ventilados, que deben permanecer en la cocina de las viviendas durante unos tres días antes de transportarlos a las áreas de aportación exteriores.

Entre los parámetros que se deben de tener en cuenta a la hora de poner en funcionamiento un servicio de segregación de la FORM y resto están:

- Proximidad al domicilio de los contenedores y capacidad adecuada.
- Lavado cuidadoso de los recipientes.
- Puesta en marcha de una campaña de información intensiva.

Pero además también se originarán algunos problemas que deberán tenerse en cuenta a la hora de escoger el mejor modelo:

- Mayor ocupación de espacio en la vivienda, ya que se necesita un cubo adicional.

- Mayor ocupación del espacio público, con más contenedores.
- Dificultades en el diseño del servicio en poblaciones con alta estacionalidad poblacional.
- Alto coste para campañas de concienciación.

A continuación, se hace una revisión de los modelos de recolección de la FORM existentes.

2.4.1. Sistema de recogida puerta a puerta o personalizada.

El modelo de recogida selectiva puerta a puerta (PaP) consiste en dejar los residuos delante de la puerta o comercio, en unos días y horas determinadas para cada fracción. Los cubos, una vez vaciados, son metidos en las viviendas y no permanecen en la vía pública. Este modelo comporta un beneficio indirecto en el espacio público: la desaparición de los contenedores en la vía pública (salvo alguna fracción) y la mejora sustancial de la movilidad y la estética urbana. Este sistema incide muy positivamente en la calidad del reciclaje, evitando que muchos residuos vayan al vertedero y apuesta por la sostenibilidad medioambiental.

La recogida PaP permite obtener un compost de calidad, con niveles de impuros en la FORM inferiores al 15 % [15]. Esto es posible debido que, sobre todo en pequeños municipios, permite que los residuos no entregados correctamente no sean recogidos por parte de la empresa gestora.

Actualmente en España, para las grandes urbes, se está implantando el PaP en zonas con difícil acceso para los camiones recolectores (centros históricos) o baja densidad de población, pero es un modelo usado por lo general para pequeñas poblaciones. El sistema consiste en el uso por parte de cada familia de un cubo marrón (ranurado o no), donde se depositan los residuos en bolsas compostables. En un horario establecido estos cubos se dejan en la calle hasta que pasa el servicio de recogida. Los sistemas PaP de orgánica también pueden contemplar áreas de aportación, en este caso llamadas “áreas de emergencias” para la recogida selectiva del resto de fracciones (papel/cartón, vidrio, envases, restos y orgánica para un uso excepcional).

Es en poblaciones de menos de 5000 habitantes donde la recogida PaP más sentido tiene, ya que este tipo de localidades suelen estar situadas en zonas rurales con una alta demanda de compost de calidad para enmienda de suelos. En localidades rurales con recogida PaP de la FORM y donde se aplican políticas de retorno del canon del tratamiento de los residuos, en función de la cantidad y calidad de la FORM separada, se llegan alcanzar tasas o niveles de recogida orgánica por encima del 80%.

Aunque el coste de esta recogida PaP de la FORM es alto, el elevado nivel de segregación de la materia orgánica, permite que la fracción resto se pueda recoger con una frecuencia inferior, abaratando el coste del proceso de recogida. Por otro lado, ese tipo de recogida da lugar a una FORM de alta calidad y con un muy bajo porcentaje de impurezas, siendo compatible con un tratamiento biológico de máxima simplicidad tecnológica y, por lo tanto, un menor coste de inversión.

La alta densidad del residuo orgánico de 0,6 a 0,7 kg/m³ permite el uso de recolectores sin sistema de compactación (vehículos a granel) en la recogida PaP, Fig. 2.7. Si además el sistema de recogida es mediante cubos pequeños Fig. 2.8, se puede obviar el sistema de elevación, lo que repercute en un bajo coste del vehículo recolector.

Desde el punto de vista del personal, el PaP hace necesario disponer de más personas y medios mecánicos, lo que incrementa el coste del servicio. Así, mientras que los costes de la recogida PaP se sitúan entre 120 y 180 €/t recogida y transportada, en los modelos de recogida mediante áreas de aportación oscila entre los 90 y 170 €/t [17]. Esta diferencia de coste se puede menguar si se tiene en cuenta el coste la limpieza de los contenedores, ya que en la recogida PaP suele ser el usuario quien gestiona su recipiente.

Entre las desventajas que supone un sistema PaP, destacan: un mayor esfuerzo para el ciudadano, la proliferación de bolsas o cubos en los centros históricos (que habitualmente suelen ser zonas turísticas) y mayor coste de la recogida.



Fig. 2.7 – Recolector sin sistema de compactación.



Fig. 2.8 -. Recogida PaP Mancomunitat del Penedes.

2.4.2. Recogida mediante áreas de aportación o en acera.

En este sistema los puntos de depósito ya no están ubicados puerta a puerta, sino cada 50-250 m, Fig. 2.9. Las distancias a recorrer por los ciudadanos no son

muy elevadas y la aceptación es buena. Se aplica en ciudades con alta densidad de población. En estos puntos se sitúan grandes contenedores de volumen entre 0,8 y 3,2 m³. Según la disposición de los contenedores, el sistema de recogida se denomina en acera o en área de aportación:

En la acera: Los contenedores para la recogida selectiva están ubicados en la calle, muy cerca del usuario, para facilitar al máximo la colaboración ciudadana. Un recorrido inferior a cincuenta metros es un buen indicador de este nivel de recogida.

En áreas de aportación (AA): Los contenedores se sitúan en un área de aportación relativamente alejada (entre 80 y 250 metros de radio), mientras que la fracción resto se sitúa a unos 50 m.

Tanto la recogida mediante AA o acera es más ágil y rápida que en la PaP y los costes se reducen considerablemente respecto a la PaP. El principal problema es la cantidad de contenedores diferentes que se han de ubicar en los puntos de recogida.

A su vez, estos sistemas se pueden clasificar por el procedimiento de recogida, mecánica o neumática, que se emplee. Así, en la actualidad los sistemas más utilizados son¹:

- Recogida mediante carga posterior.
- Recogida mediante carga lateral (figura 9).
- Recogida mediante carga bilateral.
- Recogida mediante contenedores soterrados (en cualquiera de las anteriores variantes).
- Recogida neumática.

¹ Se ha obviado el sistema de recolección mediante grúa o gancho por ser marginal su uso en la recogida de la FORM



Fig. 2.9 – Contenedor de carga lateral utilizado en las grandes urbes de España.

Entre los problemas que plantea este sistema de recogida, esta la ocupación del espacio público, la posible aparición de focos de suciedad y manchas en los alrededores de los contenedores así como tasas discretas de recuperación de la FORM y alta cantidad de impropios, debido a que la participación de los ciudadanos en el sistema es voluntaria.

En las ciudades con gran densidad de población predominan estos sistemas de recolección, conviviendo en algunos casos con recogidas personalizadas o PaP de la FORM, generalmente en hostelería y zonas de baja densidad como residenciales.

A continuación se explican cada uno de los procedimientos de recogida.

2.4.2.1 Recogida mediante carga trasera.

Tradicionalmente, la recogida mediante carga trasera ha sido el sistema más extendido en España y Europa. La población deposita los residuos separados en los contenedores ubicados en la calle, que tienen una capacidad de entre 90 y 1.100 litros y un recolector de carga trasera o posterior equipado con una caja

compactadora Fig. 2.10 recoge los residuos. Los peones acercan los contenedores a la parte trasera del recolector y automáticamente se vacían en el interior de la caja, mientras el compactador minimiza el volumen de los desechos.

Existe una variante de vehículo de recogida de carga trasera, con su cuerpo dividido en dos partes, lo más común 70/30 de volumen (resto/orgánica), lo que permite realizar un tipo de recogida llamada bicompartimentada.

Para calles estrechas o aquellas que presentan gran complicación para el acceso, se utilizan pequeños recolectores con volúmenes de 3 a 7 m³. Finalmente, la alta densidad de la FORM, de 0,6 a 0,7 kg/m³, permite el uso de recolectores sin sistema de compactación en zonas de baja densidad.



Fig. 2.10 -. La recogida de carga trasera en el municipio de Sant Agustí de Lluçanès

2.4.2.2 Recogida mediante carga lateral

Este método de recogida ha crecido en popularidad en los últimos 20 años. Para realizar el proceso de vaciado de los contenedores, un vehículo provisto solo de un conductor utiliza un brazo mecánico lateral derecho, que carga y descarga el contenedor desde su ubicación Fig. 2.11. Este vehículo sólo puede recoger por un lado, por lo que es necesario que en toda el área de contenedores no haya vehículos u otros obstáculos que impidan el trabajo de vaciado.

En casos de desbordamiento y/ o acceso difícil para el camión, es necesario contar con un vehículo llamado satélite, que recoge las bolsas que hay fuera del contenedor, o bien desplaza el contenedor a un lugar de mejor acceso para el camión, y una vez se ha vaciado lo devuelve a su sitio.

La capacidad de los contenedores utilizados habitualmente en carga lateral es de 1700, 2200 y 3200 litros.



Fig. 2.11 -. Recogida mediante carga lateral.

2.4.2.3 Recogida mediante carga lateral bicompartimentada.

Este sistema permite recolectar al mismo tiempo y de forma simultánea las fracciones de orgánica y resto. Por tanto, no hace falta duplicar los contenedores ni los recorridos de los vehículos de recogida. De este modo se reduce la disposición de contenedores en la vía pública y se obtiene ahorro energético.

Este sistema es una variante de la carga lateral siendo el proceso de vaciado de los contenedores idéntico. En las calles, tanto la fracción orgánica como la de resto se depositan en un solo contenedor, con una tapa de dos colores y dos

espacios separados Fig. 2.12: uno marrón de (1/3 del volumen) para la orgánica y el otro (2/3 del volumen) para el resto o fracción no recuperable. El volumen del contenedor usualmente es de 3200 litros.



Fig. 2.12 -. Modelo de contenedor de carga bicompartimentada.

Para que este sistema sea efectivo las dos fracciones deben tener un destino común. La mayor desventaja es que el índice de impropios es bastante elevado, tanto por mal uso de los usuarios como por rebuscadores de basura. Así en diversas poblaciones se han retirado estos sistemas (Barcelona, Badalona, etc.). Para mejorar este aspecto, una solución que se ha implantado ha sido utilizar bolsas de color gris, para restos, y bolsas de color naranja para la FORM, de esta forma se facilita que no existan confusiones a la hora del vertido en el contenedor.

2.4.2.4 Recogida mediante contenedores soterrados.

El sistema de recogida mediante contenedores soterrados consiste en el uso de unos buzones y unos contenedores enterrados Fig. 2.13. Para vaciar estos contenedores hay que elevar la plataforma solidaria con el buzón y mediante control remoto, elevar el contenedor para su correcto vaciado. Existe un buzón para cada una de las fracciones de recogida.



Fig. 2.13 -.Recogida mediante contenedores soterrados en Sant Pere Torello.

Este sistema permite realizar la recogida mediante camiones de carga trasera, lateral o grúa. El uso de este tipo de sistema es puramente estético y requiere de unos elevados costes de inversión inicial y de mantenimiento de los sistemas electromecánicos.

2.4.2.5 Recogida neumática.

El sistema de recogida neumática de residuos consiste en disponer una serie de buzones de vertido conectados, a través de conductos subterráneos, a un punto de aspiración. Los buzones se pueden encontrar en el interior de las viviendas, en áreas comunitarias dentro de los edificios o en áreas públicas exteriores Fig. 2.14. El ciclo de recogida se inicia cuando se depositan los residuos en los buzones. Éstos, por gravedad, caen hasta las válvulas instaladas en niveles inferiores y allí se acumulan temporalmente.



Fig. 2.14 - Buzones del sistema de recogida neumática de Barcelona.

Los sistemas neumáticos se dividen en función del proceso de aspiración en estáticos y móvil [16]:

Sistema estático. El sistema de recogida neumática utiliza aire para transportar los residuos a través de una red subterránea de tuberías a una central de recogida, donde son compactados en contenedores cerrados. Esta corriente de aire es generada por los turbos extractores, que crean una presión negativa en pared y al entrar el aire por los puntos de recogida a presión atmosférica, arrastra los residuos hasta la central de recogida.

Sistema móvil. Este sistema cuenta con bajantes verticales conectadas a unos contenedores, que a su vez están conectados mediante tuberías entre ellos por grupos y cada uno de estos tiene un punto de succión, donde se conecta un vehículo que aspira los residuos de forma periódica.

La principal ventaja de la recogida neumática es que se minimiza las molestias por la recogida de residuos, como el tráfico de vehículos, emisiones de CO₂ y ruido. Además, al ser las bocas de entrada de los residuos pequeñas, se evita que se introduzcan determinados tipos de residuos impropios. Por el contrario, el uso de estos sistemas conlleva el realizar una fuerte inversión, es complicada la implantación en áreas urbanas ya consolidadas y el gasto energético es muy elevado.

A su vez, cada sistema neumático se divide según la recogida se realice por nivel o por horario:

- **Nivel.** los buzones se recogen a cualquier hora, siempre que emitan la señal de que están llenos o en el nivel predeterminado. Este sistema tiene la ventaja que el consumo energético se reduce.
- **Horario.** Todos los buzones de residuos se vacían y transportan, secuencialmente, a horas concretas programadas por barrios o itinerarios, estando parada la instalación el resto del tiempo, esto requiere una campaña informativa ciudadana del uso Fig. 2.15. En este sistema es fácil encontrar bolsas de residuos fuera de los buzones, al limitarse los horarios de vertido.



Fig. 2.15 -. Campaña sistema de recogida neumática de Barcelona de la orgánica y resto.

2.4.2.6 Recogida mediante el sistema bilateral “Easy”.

El llamado sistema Easy tiene muchas similitudes con el de carga lateral, con la diferencia de que el vaciado de los contenedores se realiza mediante carga superior y siendo además indiferente que los contenedores estén a la derecha o a la izquierda del vehículo. Es un sistema totalmente automatizado, en el que el conductor del camión, sin la ayuda de ningún peón, controla todos los movimientos del vehículo durante la maniobra de carga y descarga. En este sistema la grúa

robotizada Fig. 2.16. deja el contenedor en el mismo lugar exacto donde ha sido recogido.

Si bien este sistema se ha ido implantando en algunas ciudades total o parcialmente (Barcelona, Lleida, Madrid, Sevilla, Palma de Mallorca), el inconveniente del sistema es el alto coste. Por un lado, el precio de los contenedores Fig. 2.17 (unos 1400 €/unidad) es el doble que un recipiente de carga lateral y cinco veces más que uno de carga trasera. Por otro, debido al uso de la toma de fuerza para la descarga, el coste energético en la etapa de recogida es más elevado que en otras opciones.



Fig. 2.16 -. Recolector Easy.



Fig. 2.17 -.Área de aportación voluntaria mediante contenedores Easy.

2.4.3. Comparativas de los sistemas de recolección.

En este apartado se recopilan las características más significativas de cada sistema:

En función de la distancia de recolección:

Recogida personalizada o puerta a puerta.

- Permite una recuperación de la FORM de hasta 290 g/hab/día (69 kg/hab/año) [20].
- Desaparecen los contenedores en la vía pública.
- Altos costes de recolección.
- Menor cantidad de impropios que los sistemas de recogida mediante áreas de aportación, valores cercanos al 5 %.
- Más propio de municipios con poca densidad.

Recogida mediante áreas de aportación y acera.

- Permite una recuperación de la FORM de 130 a 180 g/hab/día (33 kg/hab/año) [20].

- Alta cantidad de impropios en el contenedor de FORM, entre el 13 y el 20 %.
- Mayor ocupación del espacio público.
- Menor coste de recogida.
- Apto para poblaciones de media y alta densidad.

En función del procedimiento de recogida, las principales características de los sistemas existentes son:

Recogida mediante carga trasera.

- Elevado coste de recogida por unidad comparada respecto al sistema de recogida lateral.
- Los contenedores pueden quedar abiertos o desplazados.
- Versátil para cualquier trama urbana.

Recogida lateral.

- Es el sistema de recogida más eficiente en cuanto a coste de recogida por unidad compactada y gasto energético.
- Los obstáculos pueden impedir la recogida.
- Las dimensiones de los recolectores necesitan calzadas anchas.
- Solo se puede recoger por un lado de la calle, por tanto en calles o vías de un único sentido se acumulan los contenedores a un lado.
- Necesita un camión auxiliar para recoger las bolsas depositadas fuera del contenedor.
- Los contenedores se cargan y descargan en el mismo sitio, no se producen desplazamientos.

Recogida lateral bicompartimentada.

- Disminución de contenedores en la vía pública.
- Ahorro energético, al recogerse las dos fracciones conjuntamente.
- Debe existir un destino común para las dos fracciones.
- Alta cantidad de impropios en la FORM.

Recogida bilateral.

- Permite recoger a ambos lados.
- Los recolectores necesitan calzadas anchas.
- Los obstáculos frente a los contenedores no impiden la recogida.

- Mayor volumen de recogida frente a la carga lateral.
- Precio elevado de los equipos y contenedores.
- El contenedor se carga y descarga en el mismo sitio, no se producen desplazamientos.
- Elevado gasto energético.

Recogida mediante contenedores soterrados.

- Mayor espacio disponible en vía pública.
- Reducción de olores.
- Mayor coste de mantenimiento que los contenedores en superficie.
- El deterioro de los buzones, “afea” las zonas de recogida.
- Alta posibilidad de bolsas o cajas fuera de los buzones.
- Alta inversión en obras y mayor coste que los contenedores en superficie.
- Mayor tiempo de vaciado del contenedor.
- Se precisa de un alto grado de colaboración ciudadana.

Recogida mediante sistemas neumáticos.

- Menos tráfico provocado por los recolectores.
- Mejor aspecto visual de las calles.
- Servicio todos los días del año.
- Inversión elevada.
- Alto coste energético.
- Dificultad a la hora de implantarlo en ciudades consolidadas.
- Se precisa de un alto grado de colaboración ciudadana.

2.5. Modelos de gestión de la recogida de la FORM.

La recogida selectiva es una de las etapas más importante en la gestión de los RSU. En ella se procesan y recogen los residuos para una posterior aplicación de los métodos de valorización. En función de las condiciones económicas, técnicas, sociales y políticas del entorno se podrán aplicar diferentes alternativas de recogida selectiva. El objeto principal será recoger todos los RSU utilizando el método más adecuado, de forma que se minimice el impacto económico y ambiental y se cumplan los objetivos impuestos por la administración (reducción de material, grado de separación en origen, etc.).

No existe un mejor y único sistema de recogida para todas las poblaciones, este vendrá dado en función de las características de cada población, la naturaleza y cantidad de los residuos. La mejor manera de planificar el sistema de recogida en una población será utilizando un modelo de gestión que tenga en cuenta cualquier variante de recogida que exista en la actualidad y todos los factores que afecten a la implantación de la recogida selectiva, como las peculiaridades urbanísticas, las necesidades de los ciudadanos, uso posterior de las fracciones recuperadas etc.

En los próximos sub-apartados se realiza una revisión de los modelos de recogida selectiva que actualmente existen para la FORM y su complementaria fracción resto.

2.5.1. Modelo de residuo mínimo.

El modelo "residuo mínimo" se basa en la recogida de cuatro fracciones (en lugar de las 5 del modelo más generalizado, *quinto contenedor*): orgánica, papel-cartón, vidrio y fracción inorgánica llamada FIRM (envases ligeros más resto) Fig. 2.19. La fracción FIRM, específica de este modelo, se lleva a plantas de selección donde se recuperan los envases y demás fracciones aprovechables Fig. 2.20.

Por tanto, a diferencia de otros modelos de recogida, no hay contenedor amarillo ya que los envases ligeros y el resto van conjuntamente al mismo contenedor. El sistema, es también llamado "orgánico/inorgánico" y sitúa la responsabilidad de la recuperación de los envases en el terreno de la gestión de las empresas de tratamiento de RSU.

Este sistema resulta más barato para los municipios que otros sistemas como 5 contenedores, ya que Ecoembes, cumpliendo la ley de envases y residuos de envases debe pagar la parte de la recogida de la fracción inorgánica equivalente a envases. En cuanto a la disposición de los contenedores, este modelo propone la recogida en la acera de FIRM y a nivel de AA de la FORM, papel/cartón y vidrio. Las experiencias de implantación Fig. 2.18 de este sistema muestran que el porcentaje de separación de la materia orgánica y sobre todo envases ligeros es mayor que en otros sistemas de recolección.

Fracción	Media de residuos recogidos por el modelo de residuo mínimo en Cataluña.	Media en Cataluña
Papel	62,6 %	54,2 %
Vidrio	74,8%	60,1 %
FORM	38,9 %	12,7 %
Envases	49,1%	14,7 %

Fig 2.18. Comparativa datos de modelo de residuo mínimo con los resultados globales en Cataluña. Recuperación de residuos, comparativa 2007 Agencia Catalana de Residuos.

Finalmente, el mayor problema de este tipo de sistema radica en que se hace necesario disponer de plantas de recuperación para separar la FIRM, con una tecnología adecuada para recuperar la mayor cantidad de envases posible.



Fig. 2.19 -. Recogida mediante carga lateral, de un contenedor envases y resto

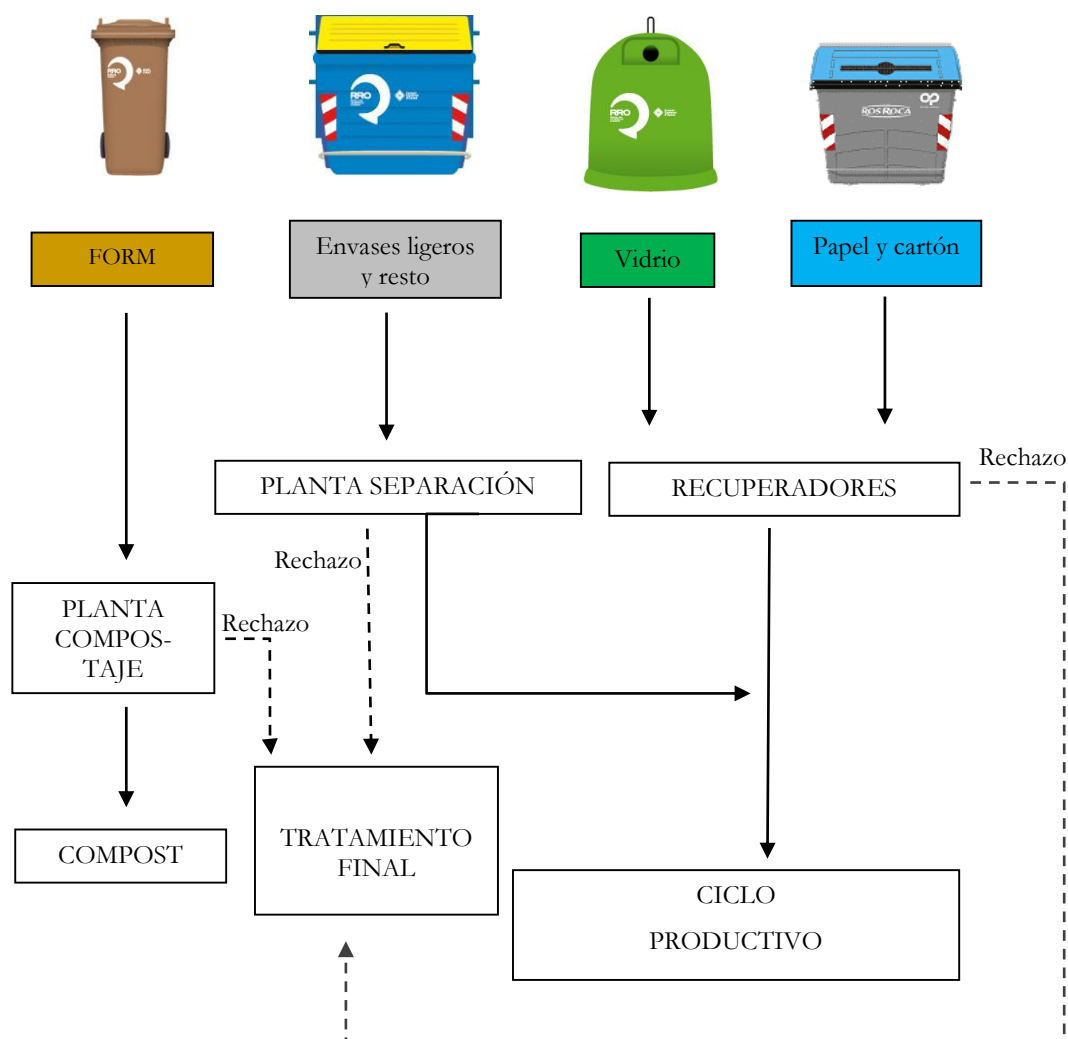


Fig. 2.20 -. Esquema del modelo de residuo mínimo

2.5.2. Modelo multiproducto.

El modelo multiproducto, o también llamado “húmedo-seco”, junta en un mismo recipiente la fracción envases ligeros y papel-cartón, por lo que los vecinos deben de realizar menos esfuerzos a la hora de separar en sus casas. El modelo es utilizado en las poblaciones donde la dispersión de la población es grande y limitada en número y donde por tanto el coste de transporte y recogida por t recogida es elevado, ya que en términos logísticos aporta una gran ventaja al recoger dos fracciones conjuntamente.

La recogida se efectúa con la siguiente disposición de contenedores Fig. 2.21:

- Vidrio
- Multiproducto, (papel y cartón y envases ligeros).
- Orgánica (FORM)
- Resto

La disposición más común es situar tres contenedores a nivel de acera (FORM, restos y multiproducto) y un área de aportación para contenedor del vidrio.



Fig. 2.21 -. Composición de la contenerización en el modelo multiproducto

El mayor inconveniente del modelo es que el papel en las plantas de selección de envases pasa a ser considerado como rechazo.

2.5.3. Modelo de cinco fracciones.

El modelo de cinco fracciones es el más adoptado mediante contenedores por los municipios. Las fracciones que se recogen en cada recipiente son las siguientes Fig. 2.22:

- Fracción orgánica (FORM).
- Papel y cartón.
- Vidrio.
- Envases ligeros.
- Fracción resto

Este modelo destina un contenedor exclusivo a la materia orgánica y es coloquialmente conocido como “quinto contenedor”.



Fig. 2.22 -. Composición de contenerización mediante el sistema llamado, quinto contenedor, en este caso son contenedores con sistemas de elevación Easy.

La recogida se realiza principalmente mediante contenedores en calle de carga lateral (3.200 l.) en zonas y barrios con elevada densidad de población y mediante contenedores de carga trasera (1.000 l) en zonas periféricas con menor densidad de población o de difícil acceso.

El destino de los residuos en este modelo suele ser el siguiente: la FORM se destina a planta de compostaje; el papel/cartón, envases y vidrio tienen como destino plantas de recuperación, y el rechazo se envía a vertedero Fig. 2.23 y Fig. 2.24.



Fig. 2.23 -. Disposición final de los residuos en el modelo de cinco contenedores, en la población de Granollers.

El modelo de quinto contenedor es aconsejable en poblaciones con viviendas en altura, mientras que la recogida personalizada puerta a puerta es preferible en ciudades horizontales.

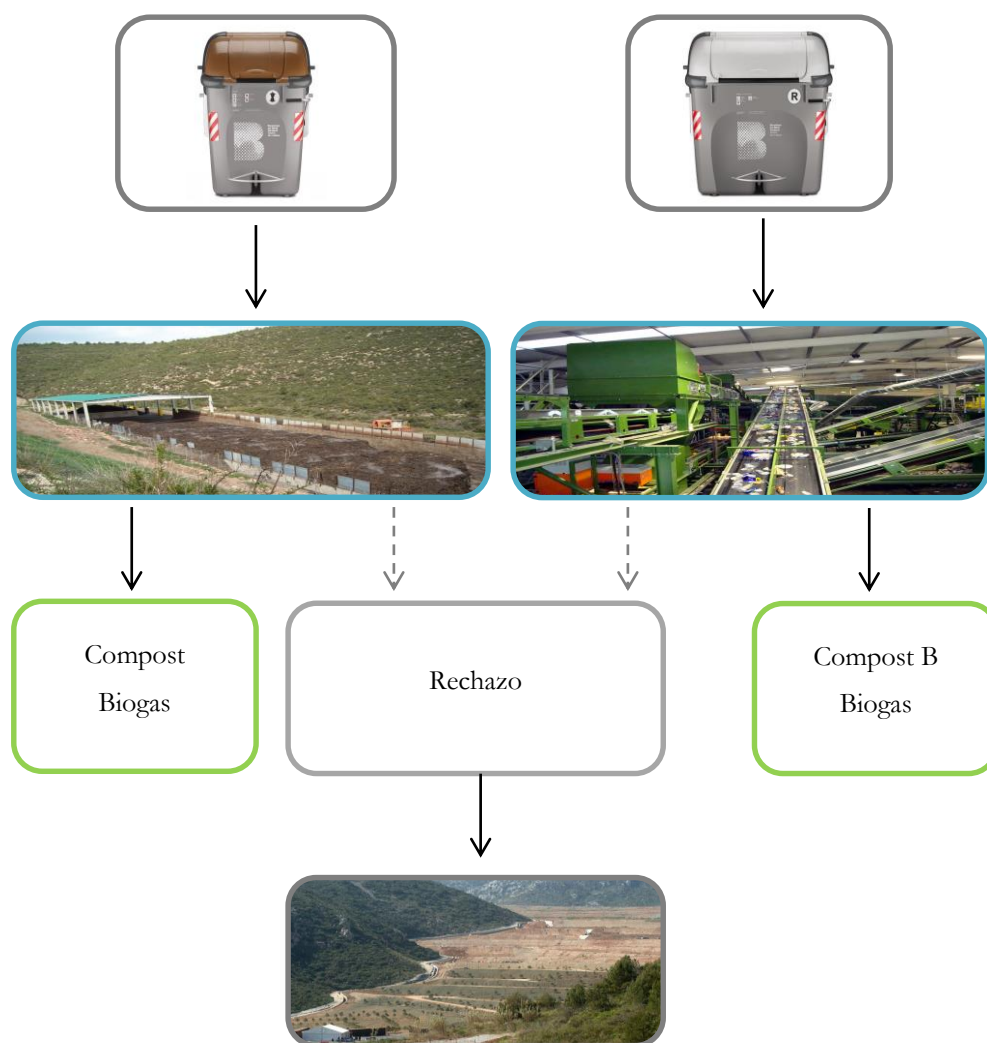


Fig. 2.24 -Diagrama de flujo de un modelo de quinto contenedor.

2.5.4. Modelo de doble flujo.

En este modelo se separan en origen los restos de comida y los restos de jardinería Fig. 2.25. Los ciudadanos en el modelo de doble flujo diferencian aún más los residuos orgánicos, que separando conjuntamente los restos comida y restos de poda\jardinería.

La razón de realizar este tipo de segregación de los biorresiduos del hogar es debido a que la materia orgánica se descompone en diferentes tiempos. Así, el tiempo de descomposición de la madera y restos de hojas es más largo que para los restos de comida, estos últimos en menos de tres meses pueden ser compostados, mientras los otros requieren más tiempo. El modelo de doble flujo de recogida está implantado actualmente en varias localidades Italianas, como Bolonia Fig. 2.26.



Fig. 2.25 -. Doble segregación de la FORM



Fig. 2.26 -. Esquema de contenerización global modelo doble flujo.

2.5.5. Comparativa de los modelos de gestión de la FORM y Resto

Tras la descripción de los diferentes modelos de recogida FORM-Resto, en este apartado se presenta el resumen de las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos:

Residuo mínimo.

- Adecuado si existe una planta de tratamiento para la separación envases-restos con la tecnología adecuada.
- Alta tasa de recuperación de envases ligeros.
- Alta tasa de recuperación de la FORM.
- Menor ocupación de la vía pública que el modelo de 5 contenedores.
- El compost generado es de calidad.
- Si no hay una elevada recogida selectiva de materia orgánica, tiene una contaminación cruzada muy elevada que dificulta la recuperación de materiales.
- La calidad neta de recuperación de los residuos plásticos es inferior respecto si se hubieran separado mediante contenedor mono material.

Modelo multiproducto.

- Ahorro de los costes de recogida al recoger papel y envases ligeros conjuntamente.
- Modelo recomendado para poblaciones dispersas.
- Menor ocupación de la vía pública que los modelos de 5 contenedores.
- El papel/cartón separado en la planta de recuperación suele ser considerado como rechazo.
- El compost es de calidad.

Modelo de cinco contenedores.

- Se realiza toda la separación en origen.
- Mayor coste de recogida.
- Mayor ocupación del espacio público.
- El compost es de calidad.

Modelo de doble flujo para la recogida orgánica, 6 contenedores.

- Mayor ocupación del espacio público.
- Compost de máxima calidad, al segregar materia orgánica de poda y doméstica.
- Mayor coste de la recogida, ya que hay que efectuar una doble segregación de la FORM.
- Apropiado para zonas rurales.

2.6. Fomento de la cantidad y calidad de la recogida de la FORM

Ya se ha comentado que una correcta segregación de la materia orgánica reduce los costes de los posteriores tratamientos en las plantas de separación. En la Fig.2.27 se muestra en 4 plantas de tratamiento de residuos, la variación que experimenta el coste del tratamiento de la FORM para su uso como compost en función del porcentaje de impropios (Ic). Por otro lado un compost de calidad que se puede destinar a enmienda de suelos genera un beneficio no solo medio ambiental sino económico (con precios base de aproximadamente 9 €/t [18]).

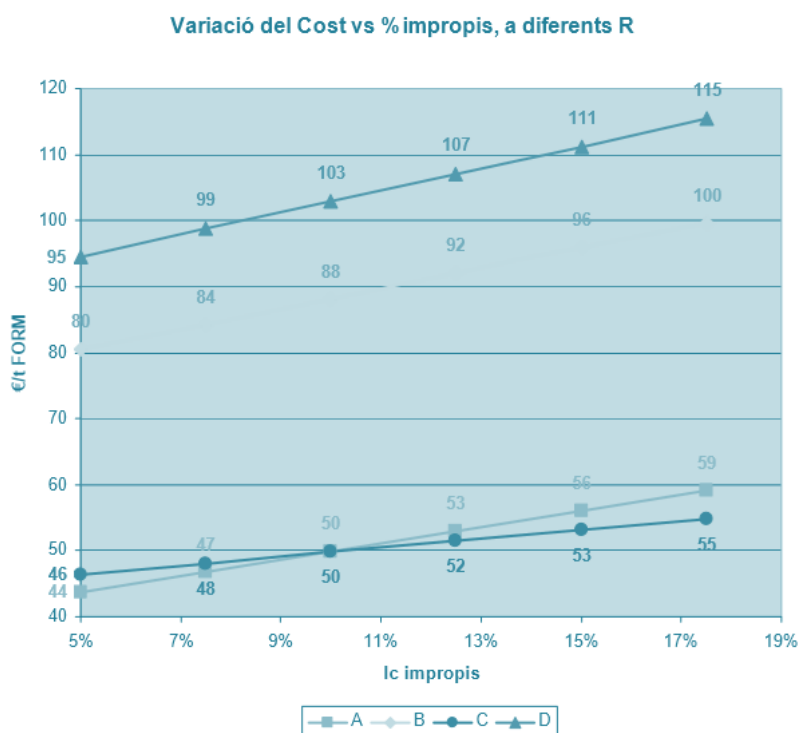


Fig. 2.27 - Coste de tratamiento de la FORM según el porcentaje de impropios en 4 plantas de tratamiento (A,B,C,D). Fuente Agencia Catalana de Residus.

Como se ha comentado al principio del capítulo la reutilización de materias primas que actualmente se eliminan como residuos, es uno de los principios clave de la economía circular. Consecuentemente la lógica sugiere que la administración debería articular y desplegar políticas de incentivos para la obtención de una mayor cantidad y calidad de compost para su uso como enmienda de suelos.

Un ejemplo de la aplicación de políticas activas en esta línea, son las que lleva realizando la Agencia Catalana de Residuos. El sistema implementado por la Agencia premia a los municipios con 9€/t de FORM recogida [19] de forma segregada, cantidad que puede aumentar o disminuir en función de la presencia de impropios contenidos. Esta variación se consigue aplicando la siguiente expresión :

$$Y = -0,1667x + 3 \quad \text{Ec 1}$$

donde x es el porcentaje de impropios. Si se observa la Fig 2.28 para valores de impropios del 5 % el factor multiplica por dos la tasa de retorno de 9€/t y para un valor del 20 % la reduce a la mitad.

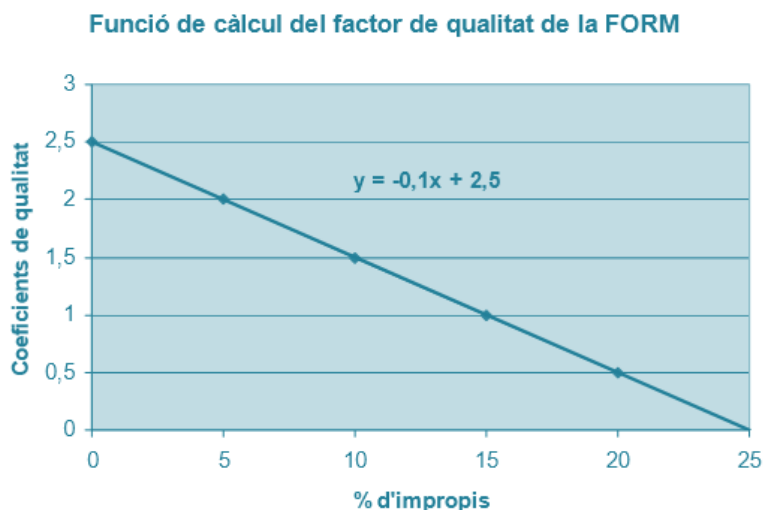


Fig.2.28 -Formula de correcció taxa de retorn de la FORM en funció del percentatge de impropis.

Por tanto, la introducción de políticas de fomento de la calidad y la cantidad de la FORM por parte de la administración deben formar intrínseca del diseño de un sistema de recogida de la FORM -Resto.

Por último, paralelamente a estas acciones es fundamental realizar campañas de información y sensibilización que transmitan los ciudadanos la importancia de separar la fracción orgánica y cuál debe ser la su participación: qué residuos pueden ir al contenedor del FORM, qué días se hace recogida de esta fracción en definitiva que actúe como herramienta dinamizadora de la participación ciudadana

2.7. Conclusiones.

El reciclaje de la materia orgánica permite, gracias a los procesos de compostaje y digestión anaerobia, la obtención final de un compuesto, compost que se utiliza como abono para la agricultura, lo que permite aportar materia orgánica en el suelo agrícola, mejorando su fertilidad.

A la hora de recuperar la materia orgánica no existen soluciones o modelos de la recogida FORM-resto ad hoc, adecuados sin el análisis previo de todos los parámetros con afección directa al proceso de recolección como:

- Características de la localidad (distribución y densidad de la población, orografía del terreno y trama urbana, existencia del tercer sector, dispersión de las zonas de recogida, entre otros.
- Sistema de recolección preexistente.
- Costes del servicio.
- Existencia y tipología de las plantas de tratamientos de residuos.
- Destino o uso de la FORM recuperada

Una vez, fijados estos parámetros ya se podrá realizar las combinaciones adecuadas de sistemas y modelos de recolección recogidos y analizados en el capítulo.

Por otra parte, las tasas de recuperación de la FORM suelen ser en el mejor de los casos discretas², esto junto con el hecho, que la materia orgánica tiene una densidad superior a la basura mezclada $1,5-2 \text{ t} / \text{m}^3$, hace que ocupe muy poco volumen en el contenedor, lo que origina que en las ciudades convivan junto a los contenedores de la fracción resto, contenedores para la FORM con muy baja tasa de llenado. Consecuentemente a la hora de desplegar un sistema de recogida de la FORM-resto, habrá que tener presente esta circunstancia, para optimizar el volumen recogido por recipiente.

Por último, tanto las políticas activas de fomento de cantidad y calidad de la recogida de la FORM como se ha visto en el punto 2.6, como las campañas de

² Considerando sistemas para localidades urbanas, mediante recogidas A/A o en acera.

concienciación ciudadana deben formar parte intrínseca de los sistemas de recogida FORM-resto.

2.8. Referencias

2.8.1. Bibliografía.

- [1] M.A. Hannan, Md. Abdulla Al Mamun, Aini Hussain, Hassan Basri, R.A. Begum, A review on technologies and their usage in solid waste monitoring and management systems: Issues and challenges, Waste Management, Volume 43, September 2015, Pages 509-523, ISSN 0956-053X
- [2] Municipal waste statistics, Eurostat, 2016 <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/7214320/8-22032016-AP-EN.pdf>.
- [3] E. Schüch, G. Morscheck, A. Lemke, M. Nelles, Bio-waste Recycling in Germany Further Challenges, Procedia Environmental Sciences, Volume 35, 2016, Pages 308-318, ISSN 1878-0296.
- [4] Green paper on the management of bio-waste in the European Union. Brussels, Commission Of The European Communities 2008
- [5] Optimitzar la recuperació de la matèria orgànica i del rebuig, fitxes de sostenibilitat Ajuntament de Barcelona Direcció de Serveis de Neteja Urban, 2000.
- [6] J. Romanyà, P. Rovira, R. Vallejo, Análisis del carbono en los suelos agrícolas de España. Aspectos relevantes en relación a la reconversión a la agricultura ecológica en el ámbito Mediterráneo. Revista ecosistemas, enero 2007.
- [7] Comunicación de la comisión al consejo, al parlamento europeo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones. Estrategia temática para la protección del suelo, 2006.
- [8] A Grima, M Masanas et Al. La gestión integral de los Biorresiduos de competencia municipal. Ministerio de Agricultura, alimentación y medio ambiente.

- [9] A.Kaushal Ranjan, M.Hussain, Terminal Authentication in M2M Implantació de la Recollida Selectiva de Matèria Orgànica. Xarxa de Ciutats i Pobles cap a la Sostenibilitat. 2013.
- [10] Materia orgànica FORM-FV, Generación, Agencia Catalana de Residuos, http://residus.gencat.cat/es/ambits_dactuacio/recollida_selectiva/residus_municipals/materia_organica_form_-_fv/generacio/
- [11] M.º Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Bioresiduos, 2016 <http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/fracciones/biorresiduos/Biorresiduos-Que-caracteristicas-tienen.aspx>
- [12] www.conselldemallorca.net/media/35186/caracteritzacionsentradesplanta-sonreus2013_2015r1.pdf
- [13] Consorci Ecoparque 4 Barcelona, Fracció resta. <http://www.consorci-ecop4rc.cat/la-installacio/que-entra/fraccio-resta.html>
- [14] A.Gallardo, María D. Bovea, F.J. Colomer, M.Prades, M. Carlos, Comparison of different collection systems for sorted household waste in Spain, Waste Management, Volume 30, Issue 12, December 2010, Pages 2430-2439, ISSN 0956-053X
- [15] Artola Casacuberta Adriana; Sánchez Ferrer Antoni, De residuo a recurso Mundi-prensa, ISBN: 9788484766995, 2014.
- [16] Calidad y evaluación medioambiental, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España. <http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-recogida/Neumatica.aspx>
- [17] Guía de recogida selectiva y gestión de la fracción orgánica de los residuos urbanos, Subdirección General de Residuos, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) y la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona (BCNecologia) 2013.

[18] El mercat del compost a Catalunya Antonio Giménez Lorang, Montserrat Soliva i Torrentó i Óscar Huerta Escola Superior d'Agricultura de Barcelona (ESAB) 2015

[19] J. Moreno, R. Moral, Residuos urbanos I.4, Red Española de Compostaje, Mundi-Prensa 2015.

[20] La gestió de la FORM a Catalunya informe sobre la quantitat i qualitat de la FORM, Departament de Gestió de la Matèria Orgànica, ARC 14 d'Octubre 2015.

2.8.2. Otra bibliografía.

Book of abstracts Organic Resources & Biological Treatment, 10th International Conference on "Circular Economy and Organic Waste", 2016.

Paul T. Williams, Waste Treatment and Disposal, John Wiley & Sons, 30 abr. 2013

Balanç De Les Dades Estadístiques De Residus Municipals De L'any 2015, Agència de Residus de Catalunya 2016.

Model de Residu Mínim, Gestió dels residus a Castellbisbal, <http://www.castellbisbal.cat/el-municipi-per-temes/medi-ambient/gestio-dels-residus-a-castellbisbal/>

La transició cap a la prevenció; models de gestió i recollida de residus domiciliaris a l'Àrea Metropolitana de Barcelona, Poster científic, 2007.

Condicionants de la gestió dels residus domèstics a l'Àrea Metropolitana de Barcelona, Estudi qualitatiu elaborat per l'Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona a demanda de l'Entitat Metropolitana de Servei Hidràulics i Tractament de Residus, IERMB, 2008.

Carles Conill i Vergés, tLa planta de Molins de Rei i la recuperació d'envasos a les plantes de RESTA, Entitat de medi ambient de Barcelona.

Gestión De Los Residuos Sólidos Urbanos, Los residuos municipales y su gestión, Fundación politécnica de Cataluña, 2011.

La recollida selectiva de la matèria orgànica als municipis de Catalunya mAvaluació del compliment dels objectius del Programa de Gestió de Residus Municipals. Ecologistes en Acció de Catalunya, 2013.

Residu Mínim An ecologist approach to waste management, Ecologistes de cataluña, Napoli, 19 th February 2009 .

Modelització mitjançant l'aplicació SIMUR dels sistemes de gestió de residus dels municipis de Catalunya, Agencia Catalana de Residus.

Tim Haug, The Practical Handbook of Compost Engineering, CRC Press, 23 jul. 1993.