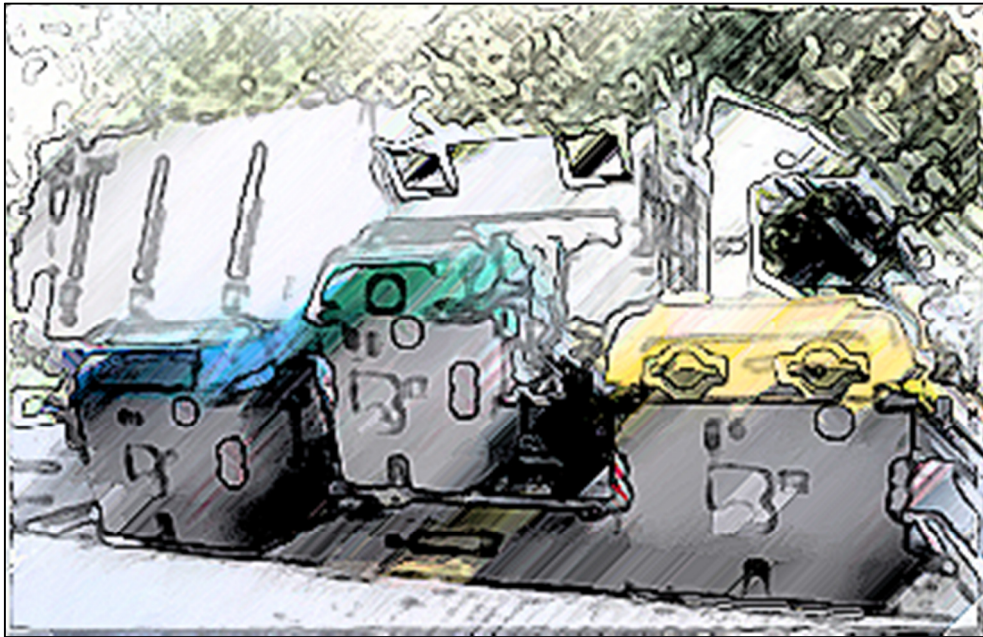


**OPTIMIZACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN Y  
RECOGIDA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS  
(RSU)**



**Autor:** Jordi Marí Pastor

**Tutor:** Dr. D. Javier Gutiérrez Puebla y Dra. D<sup>a</sup>. M<sup>a</sup> Luisa de Lázaro y Torres

Curso 2012/2013

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA HUMANA. FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA.

## Resumen

Hoy en día se generan grandes cantidades de residuos, por lo que ha llegado el momento en el que hay que empezar a prestar atención a este hecho. La solución puede encontrarse en lo que se conoce como la regla de las tres erres (3R), reducir, reutilizar y reciclar los residuos sólidos urbanos (RSU). Encontrar la forma de recoger estos residuos de una forma óptima es la clave para un mejor reciclado y/o reutilización.

Este trabajo pretende abordar directamente este tema, proponiendo una metodología para organizar la recogida de RSU empleando las herramientas que nos proporcionan los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se han desarrollado diferentes modelos para zonas de uso residencial, con el análisis de redes para localizar, ubicar y recoger con menos coste los RSU trabajando en dos líneas, la óptima localización de los contenedores de RSU, diferenciándolos en eficiencia y equidad, y la recogida de ellos, sabiendo la existencia de diferentes condicionantes que harán variar los diferentes modelos, y llegando a construirlos para que sean más óptimos.

**Palabras clave:** Sistemas de Información Geográfica (SIG), residuos sólidos urbanos (RSU), recogida de residuos, análisis de redes.

## Abstract

Nowadays big quantities of garbage are generated, so now is the time to start paying attention to this fact. The solution can be found in what is called the rule of the three R (3R), reduce, re-use and recycle the solid urban waste (SUW). Finding a way to collect these garbage optimally is the key for a better recycling and/or reutilization.

This thesis wants to approach this topic directly, proposing a methodology to organize the SUW collection using the tools that the Geographic Information Systems (GIS) provide us. Different models for residential areas, with network analyst to locate, cube and collect the SUW with less cost have been developed working on two lines, the optimal location of the SUW's containers, differentiating them in efficiency and equity, and the collection of them, knowing the existence of different conditions that they will vary the different models, and build some of them to be more optimal.

**Keywords:** Geographic Information System (GIS), solid urban waste (SUW), collect residues, network analyst.

## Contenido

1.- INTRODUCCIÓN.....	3
2.- OBJETIVOS.....	6
2.1.- Objetivo general.....	6
2.2.- Objetivos específicos.....	6
3.- ESTADO DEL ARTE .....	7
4.- METODOLOGÍA .....	9
5.- BÚSQUEDA Y OBTENCIÓN DE DATOS .....	12
6.- ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN RESIDENTE.....	13
7.- ESTIMACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS GENERADOS POR LA POBLACIÓN RESIDENTE .....	19
8.-CREACIÓN DE UNA RED .....	21
9.- HIPÓTESIS DE LAS UBICACIONES DE LOS CONTENEDORES.....	24
9.1.- Sistema de recogida puerta a puerta, para envases y resto.....	24
9.2.- Sistema de recogida en acera, para resto, modelo minimizar instalaciones.....	26
9.2.1.- Modelo de minimizar instalaciones, con puntos candidatos centroides de las calles .....	28
9.2.2.- Modelo de minimizar instalaciones, con puntos candidatos centroides de las calles, nodos y portales.....	30
9.3.- Sistema de recogida en área de aportación para envases, papel y vidrio, modelo maximizarla asistencia. ....	32
9.3.1.- Modelo maximizar asistencia centroides calles.....	35
9.3.2.- Modelo maximizar asistencia, puntos candidatos centroides, nodos y portales ....	36
10.- RUTAS DE RECOGIDA .....	39
10.1.- Ruta recogida puerta a puerta .....	42
10.1.1. Ruta recogida puerta a puerta resto.....	43
10.1.2.- Ruta recogida puerta a puerta envases .....	47
10.2.- Ruta recogida área de acera .....	48
10.3.- Ruta recogida área de aportación.....	53
10.3.1.- Área de aportación recogida de envases .....	53
10.3.2.- Área de aportación recogida de vidrio.....	64
10.3.3.- Área de aportación recogida de papel.....	67
11.- CONCLUSIONES.....	73
12.- BIBLIOGRAFÍA.....	75
13.- TABLAS Y FIGURAS .....	77

## 1.- INTRODUCCIÓN

La creciente importancia de los residuos generados por la sociedad actual ha hecho que las administraciones tengan que prestar a este hecho una gran atención. Las soluciones aportadas se denominan como las tres R: reciclado, reutilización y reducción. Todas ellas han sido objeto de legislación para regular su normativa. En este trabajo nos centraremos en la recogida de estos residuos con la idea de contribuir a un mejor reciclado de los mismos. Nos centraremos en analizar esta problemática en el distrito de Chamberí de la ciudad de Madrid, que en algunas de sus áreas es anterior al plan de Ensanche de José María Castro de 1848. En él existe una gran mezcla de clases sociales y una gran variedad funcional. Esto por un lado dificulta y por otro lado ofrece un gran interés al establecer un planteamiento de recogida de residuos sólidos urbanos. Nuestro estudio solo se basa en los residuos generados en las zonas residenciales que *comprenden los espacios y dependencias destinadas al alojamiento humano en forma permanente*, dentro del uso residencial podemos considerar diferentes categorías:

- Vivienda unifamiliar, que es la situada en una única parcela con acceso independiente desde la vía o espacio público.
- Vivienda bifamiliar, cuando sobre la única parcela se localizan dos viviendas agrupadas, que disponen de acceso común y compartido desde el espacio público.
- Vivienda multifamiliar, cuando sobre una única parcela se localizan varias viviendas agrupadas, que disponen de acceso común y compartido desde el espacio público.

Entendemos por reciclado según la definición contenida en la propuesta de la Directiva Marco de Residuos de la UE *la recuperación de los residuos en productos, materiales o sustancias, tanto si es con la finalidad original o con otra, pero sin incluir la recuperación de energía*. La Ley 10/98 de Residuos define el reciclado como *la transformación de los residuos, dentro de un proceso de producción, para su fin inicial*



Figura 1.- Localización del distrito de Chamberí en el municipio de Madrid. Fuente: Elaboración propia, datos CartoCiudad.

*o para otros fines, incluido el compostaje y la biometanización pero la incineración con recuperación de energía.*

Los residuos orgánicos hoy por hoy, no se aprovechan en la ciudad de Madrid, hecho que en otras ciudades no sucede. Estos residuos unidos al resto (resto y orgánica) en Madrid sirven para producir energía a partir de la incineración. En Alemania la tasa de basura se establece por el “resto” de la basura, es decir por aquella que no es posible clasificar como papel, vidrio, latas y envases, que es la clasificación habitual en muchas de las ciudades españolas. La basura orgánica en muchos países europeos se recoge también de forma separada con una clara utilidad. Por ejemplo, en Holanda es obligatoria la separación de la parte orgánica, que se emplea para la creación de humus. Podríamos establecer esta posibilidad para Madrid como una iniciativa de ecoinnovación y sostenibilidad. Esto no quita para la necesidad de concienciar a la población de lo importante que es reciclar, para el aprovechamiento de los diferentes materiales ya sea el orgánico para la transformación de este en compost, o como los materiales de papel y cartón y envases y embalajes, que son útiles para ser reutilizados, esto sería una buena gestión sostenible de los residuos sólidos urbanos.

En EE.UU y Canadá a principios de los noventa, muchas ciudades con zonas residenciales de viviendas unifamiliares empezaron a realizar la experiencia piloto de recogida selectiva con separación en origen de los residuos en dos, tres y cuatro partes.

En el ámbito español, los primeros intentos de recogida selectiva se realizaron en los años ochenta. Se empezó con la recogida selectiva de vidrio y papel-cartón en grandes contenedores. Primero fue en las ciudades de mayor tamaño, donde podía resultar más rentable su recogida.

Una experiencia piloto impulsada por el *Ayuntamiento de Madrid* que se inicia en 1990 con la recogida selectiva de envases de vidrio (contenedores), papel y cartón, voluminosos y pilas eléctricas y se completa con la separación domiciliaria de la fracción orgánica del resto de la basura para su recogida por separado. Afecta a una pequeña parte de la ciudad (23.000 habitantes) situada al norte del municipio: Barrio

de Mirasierra (unifamiliares), Ciudad de los Periodistas (edificación densa muy concentrada) y Barrio del Pilar, de carácter más popular.

Los residuos de vidrio y de papel y cartón son recogidos de la misma forma que en el resto de la ciudad y reciclados. La fracción orgánica se deposita en contenedores específicos, haciéndose cargo de ellos el servicio de recogida de residuos sólidos urbanos (*RSU*) de toda la ciudad (empresa privada concesionaria). Es tratada en la planta de separación y reciclaje (gestionada por una empresa privada) situada en el vertedero de Valdemingómez, donde se procede a su compostaje.

En la actualidad, todas las ciudades tienen este tipo de servicio.

La separación de materiales como papel, vidrio, plástico, metal, etc. para luego poder reciclarlo, reutilizarlo o realizar cualquier otro proceso, es la primera y principal acción para ello. Para ello crearemos una metodología para la gestión de un modelo adecuado para la ubicación y recogida de los residuos sólidos urbanos utilizando los Sistemas de Información Geográfica, puesto que con ellos podemos manejar gran cantidad de datos georreferenciados, también como datos alfanuméricos.

El Sistema de Información Geográfico empleado en la elaboración de dicho estudio, ha sido ArcGIS Desktop 10.1, y las diferentes extensiones de que dispone. En este trabajo hemos empleado las extensiones de Análisis Espacial (Spatial Analyst), Análisis de Redes (Network Analyst), y para crear la red.

## 2.- OBJETIVOS

### 2.1.- Objetivo general

El objetivo de este trabajo es proponer una metodología, mediante herramientas SIG, para poder obtener la mejor localización posible de los contenedores de residuos sólidos urbanos (RSU), y a partir de esta información y de las herramientas que tienen los Sistemas de Información Geográfica, organizar una red para la recogida de los mismos.

### 2.2.- Objetivos específicos

Como objetivos específicos vamos a considerar los siguientes:

- Buscar y valorar otros estudios realizados para la ubicación y recogida de residuos sólidos urbanos.
- Planificar la ubicación de los contenedores, utilizados para recogida de los RSU producidos por las viviendas (uso residencial), a partir de datos como la población y la red de calles, así como también la ubicación de cada contenedor a partir del coeficiente de asignación de basura por habitante.
- Establecer diferentes modelos de sistemas de recogida de basuras.
- Diseñar la red de recogida, donde a partir de los puntos anteriormente elaborados, se crearán las rutas óptimas de recogida de RSU.
- Evaluar los distintos modelos de recogida de residuos diseñados.

### 3.- ESTADO DEL ARTE

Entendemos por desarrollo sostenible aquel que permite satisfacer las necesidades de las generaciones sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades (Informe Brundtland, 1987).

Centrándonos en la recogida de RSU, existen varios estudios de notable interés que emplean herramientas SIG:

- Diseño de una herramienta SIG para la recogida selectiva de residuos urbanos. Aplicación a Castellón de la Plana, Antonio Gallardo Izquierdo, David Bernard Beltrán, María Dolores Bovea Edo, Francisco J. Colomer Mendoza y Mar Carlos Alberola (2010), en este trabajo, el primer paso de la metodología utilizada es la creación de una red partiendo desde cero, empleando capas en formato CAD, planos papel, conexiones WMS..., luego elaboran cartografía de generación y composición, a partir de una sectorización en la que se ha establecido previamente la densidad de la población, nivel de renta y actividad desarrollada, al intersectarse las tres capas, generan la estimación y composición de los residuos, con la tasa de generación media de RU, composición del residuo, y la densidad lineal de población por vía o calle. A partir de estos datos generan el modelo de recogida, y el modelo establecerá un dimensionamiento de los contenedores, y con esto generan la red de recogida.
- Sistema de Información Geográfica (SIG), para la gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) del municipio del Prat de Llobregat, Rubén Arévalo García y Jordi Martínez Hita. Este proyecto fin de carrera consiste en la digitalización de la red de su zona de estudio para realizar un análisis geográfico de la generación de RSU con el Network Analyst y la creación de una base de datos, que tiene como atributos el nombre de la calle y el sentido de circulación. Los cálculos se realizan a partir de factores de población, para cada una de las calles de la ciudad y luego proceden, con la implementación de scripts, a la búsqueda de la localización óptima y la ubicación de los contenedores. Finalizan con la optimización de la red de recogida con ayuda de la extensión Network Analyst.

La aportación de mi trabajo en relación a estos dos estudios consiste en:

- Localizar los contenedores con diferentes variables, en los que se aplican los dos modelos de eficiencia y equidad.
- Establecer diferentes ubicaciones en los contenedores, según la cantidad de residuos generados por la población residente.
- Optimizar la recogida de los RSU gracias a la variación de tiempo según el tamaño de cada contenedor.

## 4.- METODOLOGÍA

Para conseguir los objetivos anteriores será necesario establecer una serie de pasos que iremos desarrollando a lo largo del trabajo y que podemos resumir en el gráfico siguiente:

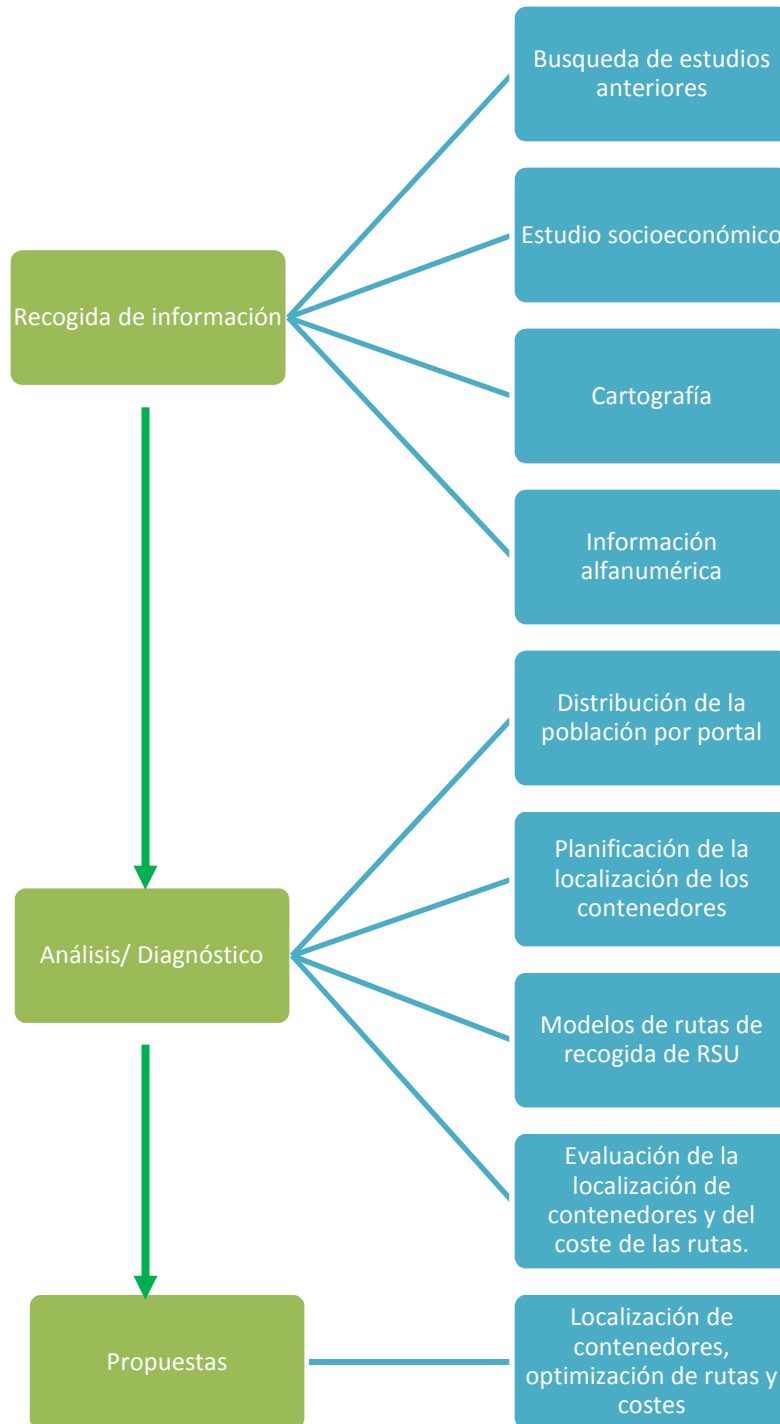


Figura 2.- Modelo de flujo de la metodología utilizada en el estudio.

Los pasos metodológicos fundamentales los podríamos resumir en tres partes, recogida de información, análisis y diagnóstico, y propuestas:

a) Recogida de información

El primer paso es la recogida de información, donde hemos hecho una búsqueda y valoración de estudios realizados para la ubicación y recogida de residuos sólidos urbanos. Una de las cosas a tener más en cuenta es la ubicación de la zona de estudio, organizar una capa que delimite la misma y sirva para ir seleccionando las capas necesarias tomadas de distintos organismos y fuentes, la zona de estudio, también la búsqueda de la información como cartografía, información alfanumérica, para proceder al estudio.

Esto se resume en las siguientes acciones:

- Búsqueda y valoración de otros estudios realizados para la ubicación y recogida de RSU.
- Disponer de la información cartográfica y estadística necesaria de nuestra zona de estudio, para la ubicación y recogida de los RSU.

b) Análisis y diagnóstico:

Seguiremos después con el análisis y diagnóstico donde estimaremos la población existente en cada edificio, que hemos identificado con sus respectivos portales por el número de calle, para estimar a partir de algunos de los datos facilitados por el ayuntamiento los residuos orgánicos generados, y con esto la ubicación en cada portal o localización de cada contenedor.

Para la localización óptima de cada contenedor, tendremos que utilizar la extensión de *Network Analyst*, usaremos una red comercial, la cartografía NavTeq 2010. Aplicaremos modelos de localización óptima de servicios (*Location- Allocation*), una buena herramienta que la podemos orientar a diferentes puntos de vista para la distribución de contenedores de resto y envases, adoptaremos un enfoque de equidad, con el modelo de minimizar las instalaciones: *las instalaciones se ubican de modo que se asigne el máximo número de puntos de demanda a las instalaciones de la solución dentro de la tolerancia de impedancia; además, se minimiza el número de*

*instalaciones necesarias para cubrir los puntos de demanda.* Para la distribución de los contenedores de envases, vidrio y papel-cartón, adoptaremos un enfoque de eficiencia, con el modelo de maximizar la asistencia, *las instalaciones se eligen de modo que se asigne el máximo peso de demanda posible a las instalaciones asumiendo que el peso de la demanda se reduce en relación con la distancia entre la instalación y el punto de demanda.*

Utilizaremos estos dos modelos, la equidad para obtener los contenedores repartidos todos de igual forma sin tener en cuenta el peso de la población como punto de partida y para la eficiencia, tendremos en cuenta el peso de la población y donde más población resida, más próximos estarán los contenedores.

Con las ubicaciones, y cubriciones de todos los contenedores, pasaremos a red de recogida, utilizando también una cartografía comercial, para la creación de la red. Lo que queremos lograr en este punto es el mínimo coste en la recogida de RSU.

Lo que podemos resumir en:

- Aplicar los modelos de *Location- Allocation*, para la localización de contenedores, sabiendo los puntos candidatos, gracias a los modelos de Mínimas Instalaciones y Máxima Asistencia.
- Estudiar las ubicaciones posibles de los contenedores a partir de los diferentes sistemas de recogida.
- Estudiar las cubriciones o demanda de cada localización de contenedores según el área que abarca el contenedor, gracias al coeficiente de generación de RSU por habitante.
- Realizar la red de recogida para cada modelo.
- Evaluar los diferentes modelos de recogida.

c) Propuestas

Y como último paso serían las propuestas ya sean las rutas de recogida así como la optimización de la localización de los contenedores.

## 5.- BÚSQUEDA Y OBTENCIÓN DE DATOS

Para la realización de este trabajo ha sido necesaria la obtención de diferente tipo de datos, ya sean datos ráster, datos vectoriales (puntos, polígonos y líneas) o datos alfanuméricos.

Para la referencia espacial de los datos se utiliza el sistema de referencia oficial en España desde 2007, según la normativa comunitaria, el Sistema de Referencia Terrestre Europeo 1989, (*ETRS89*), proyectado en UTM, en el huso 30 N. El hecho de que anteriormente en nuestro país se trabajara con el European Datum 1950 (*ED1950*) hace que muchas de las capas disponibles en los centros de descargas estén todavía en ese datum, lo que ha constituido en algunos casos una pequeña dificultad que se ha resuelto mediante la necesaria transformación de la capa.

A continuación se enumeran los datos necesarios, las fuentes u organismos de las que se han obtenido y entre paréntesis se especifica el datum en el que estaban:

- Datos ráster:
  - Ortofotografía, imagen del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), eligiendo la de máxima actualidad. Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN). (*ETRS89*).
- Datos vectoriales:
  - Distritos municipales de Madrid. Fuente: CARTOCIUDAD (*ETRS89*).
  - Portales de los edificios de Madrid. Fuente: CARTOCIUDAD (*ETRS89*).
  - Seccionado Censal de Madrid. Fuente: NOMECALLES (*ED50*).
  - Capa usos del suelo de Madrid. Fuente: Departamento de Geografía Humana (*ED50*).
  - Parcelas catastrales. Fuente: Sede electrónica de Catastro (*ED50*).
  - Cartografía comercial del área de estudio (Navteq 2010). Fuente: Departamento Tráfico y Seguridad Vial, PROINTEC (*ETRS89*).
- Datos alfanuméricos:
  - Población por secciones censales. Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

## 6.- ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN RESIDENTE

Para ello ha sido necesario elaborar una cartografía con la delimitación de la zona de estudio, la hemos obtenido mediante una selección por atributos desde la capa de distritos de *Cartociudad*, seleccionando el atributo *Chamberí* de Distritos, así quedaría definida como la capa de delimitación del estudio. Esta capa la usaremos en recortar las siguientes capas mediante la herramienta de geoprocésamiento *Clip*.

Una vez tenemos la zona de estudio delimitada en una capa, la emplearemos para recortar y obtener esta misma zona de estudio en otras capas, como la capa que contiene los usos del suelo, con esta capa seleccionamos los usos Residencial, Residencial Multifamiliar, y Residencial Unifamiliar, ya que este estudio solo se basa en los residuos generados por las viviendas. En nuestro caso se queda solo con Residencial Multifamiliar, ya que es el único uso residencial que existe.

Hacemos lo mismo con la capa que contiene los portales, para seleccionar todos los portales que pertenezcan al distrito de estudio con usos residenciales, ya que existen portales que no pertenecen a uso residencial. Esto lo hacemos mediante una selección por localización.

También recortamos la capa que contiene las secciones censales, con nuestro distrito, y la unimos con la tabla descargada del INE que contiene la población y el campo o atributo en común de Sección Censal.

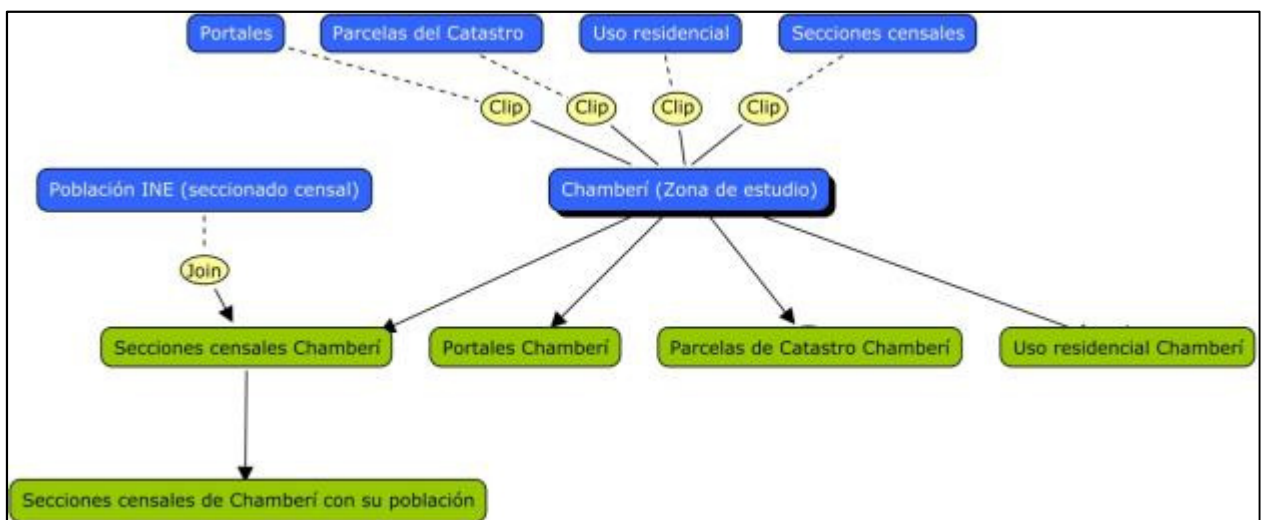


Figura 3.- Modelo de flujo para la zona de estudio con toda su información.

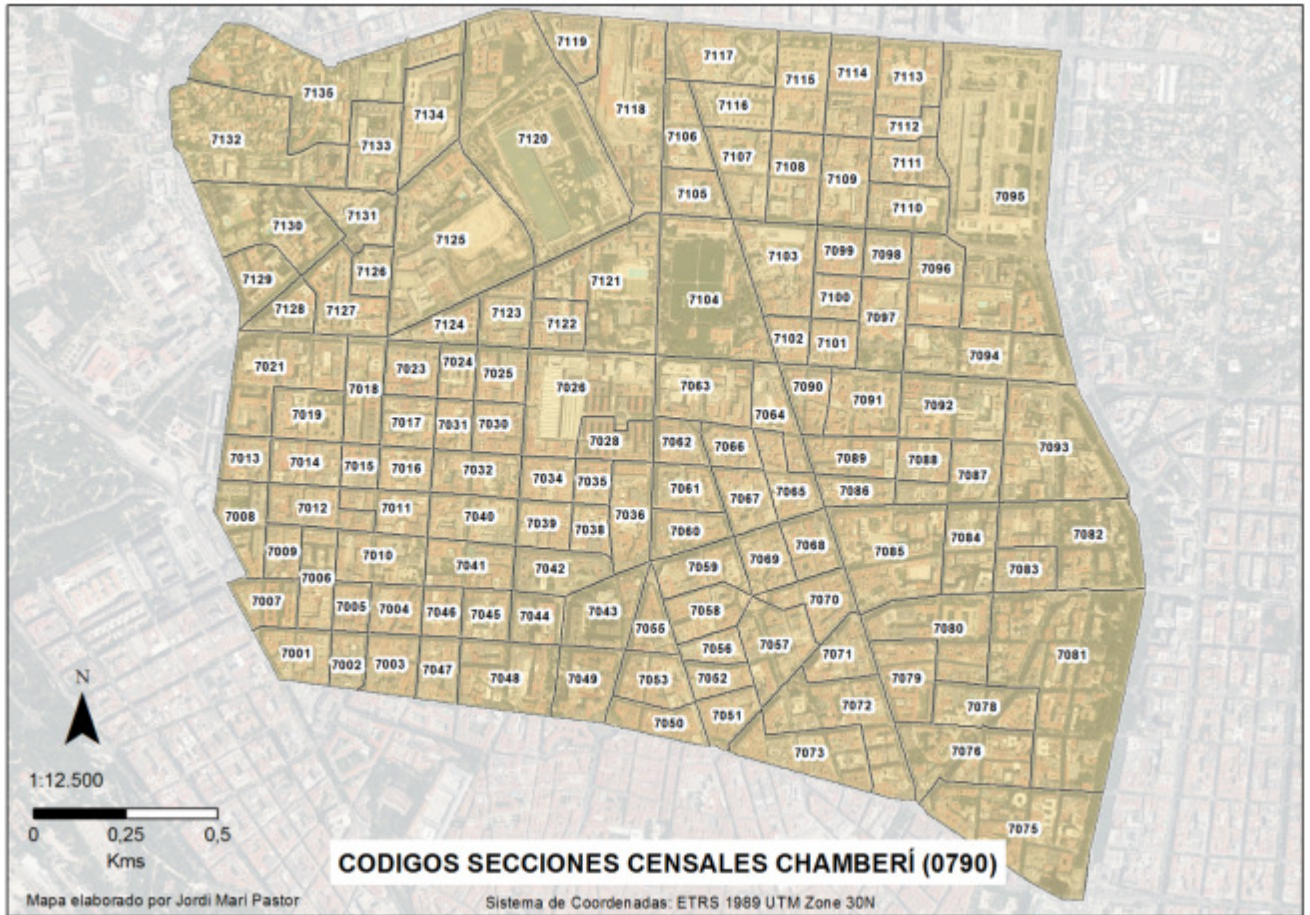


Figura 4.- Códigos de secciones censales del distrito de Chamberí. Fuente: Elaboración propia

Intersectamos la capa de usos residencial, con la capa de sección censal realizando un *Join* de la población. Al hacer esta capa nos quedan *slivers*, los *slivers*, pueden originarse durante la extracción cuando se crean accidentalmente polígonos delgados y pequeños a través de una superposición con entidades existentes. Eso ha hecho aconsejable que obtengamos la capa de uso residencial a partir de eliminar de la capa de usos del suelo los otros usos que no son residenciales con la herramienta de geoprocésamiento *Erase*. Así, lo que hacemos es seleccionar de la capa de usos, todos los usos menos el residencial y con esta nueva capa de usos no residenciales hacemos un *erase* a la capa de sección censal. Con esto logramos disminuir los *slivers*. A esta capa le tenemos que aplicar de nuevo una depuración cartográfica, ya que nos quedan menos de diez polígonos muy pequeños (entre 0,01 m<sup>2</sup> y 36 m<sup>2</sup> el máximo, es decir, casi insignificantes). Entre ellos hay polígonos que al cortar la sección censal en nuestro distrito la parte de mayor tamaño queda en otro distrito. Gracias a la superposición de la capa del PNOA, hemos podido observar que se trataba de una

parte de una calle y también lo hemos eliminado por no contener población residencial.

Una vez adjudicada la población a cada sección censal y delimitado el uso residencial de la misma, queda establecer la población concreta de cada portal. Como no disponemos del dato, será necesario estimarlo.

Para saber la superficie concreta de cada edificio que contiene un portal hemos empleado la capa de parcelas del Catastro, una vez seleccionada mediante un *Clip* la zona delimitada en nuestro estudio, hecho necesario ya que la capa es muy grande y muy pesada (figura nº 3). Esta capa ha sido creada a partir de seleccionar los atributos por localización, con la intersección de la capa uso residencial, ya que no todas las parcelas de catastro son residenciales, aparte también hacemos el mismo tipo de selección pero con la capa de portales residenciales, ya que tenemos parcelas sin portal, y estas no las hemos considerado.



Figura 5.- Edificios del distrito de Chamberí sobre la imagen del PNOA. Fuente: Elaboración propia

Ahora lo que nos queda es intersectar todas las capas, portales con sección censal residencial, con la población, y esta con la de las parcelas de catastro, a esta capa le hemos llamado *FIN*.

A esta última capa le añadimos un campo llamado COUNT y con el *fieldcalculator* le indicamos a todas las filas un 1, para saber cuántos portales tenemos en cada sección censal, con su población y su área o superficie de los edificios.

Tabla 1.- Cálculo estadístico realizado en la capa que contiene todos los datos que necesitamos del distrito por secciones censales (Capa FIN).

OID	Población (habitantes)	Sección Censal	Superficie ocupada por los edificios (m <sup>2</sup> )	Nº de portales
78	1.193	07907001	12.504	21
25	906	07907002	8.090	15
89	1.298	07907003	12.812	32
28	921	07907004	11.681	33
10	741	07907005	7.601	17
100	1.406	07907006	33.564	24
21	864	07907007	10.407	15
86	1.284	07907008	24.950	17
31	927	07907009	9.369	19
53	1.053	07907010	10.604	22
72	1.165	07907011	14.128	32
109	1.545	07907012	11.323	24
20	852	07907013	11.612	16
71	1.151	07907014	7.772	15
1	622	07907015	7.485	14
38	989	07907016	7.442	18
35	947	07907017	19.182	30
108	1.536	07907018	19.964	35
74	1.180	07907019	21.415	24
56	1.069	07907105	9.179	13
....	....	....	....	....
104	1.472	07907127	9.317	17
15	801	07907128	11.277	13
29	923	07907129	12.792	16
49	1.029	07907130	39.173	12
81	1.236	07907131	13.162	18
69	1.144	07907132	55.108	46
76	1.186	07907133	37.861	17
68	1.139	07907135	26.498	30
<b>Total</b>	<b>134.779</b>		<b>1.884.993</b>	<b>2632</b>

Esto nos servirá para ir comprobando la exactitud de los cálculos que realicemos en lo sucesivo. Así, vemos que la superficie total de la sección censal es mayor que la

superficie edificada, como es lógico. Lo podemos ver en la misma capa FIN: por ejemplo, en la sección 07907001, existen 12.504 m<sup>2</sup> construidos y la misma sección tiene un total de 26.039,1 m<sup>2</sup>, con este ejemplo y algunos otros, comprobamos que está correcto. Asumimos que el número de plantas por edificio es el mismo, lo que se aproxima a la realidad dadas las características del distrito.

Después haremos un *Join* de la tabla anterior y la última capa llamada *FIN*, exportamos la capa como *FIN1*, y le añadimos dos campos, uno será un coeficiente de superficie, que aplicaremos para obtener la población estimada de cada portal en función del tamaño del edificio residencial respecto al total de edificios residenciales que hemos denominado coeficiente de superficie:

$$\frac{\text{Superficie Edificada uso residencial} * 100}{\sum \text{Superficie edificada uso residencial en la seccion censal}}$$

Y el otro campo será la población por portal, que resultará de estimar qué población tiene cada edificio en función de la superficie hallada anteriormente:

$$\frac{\text{Población} * \text{Coeficiente de superficie}}{100}$$

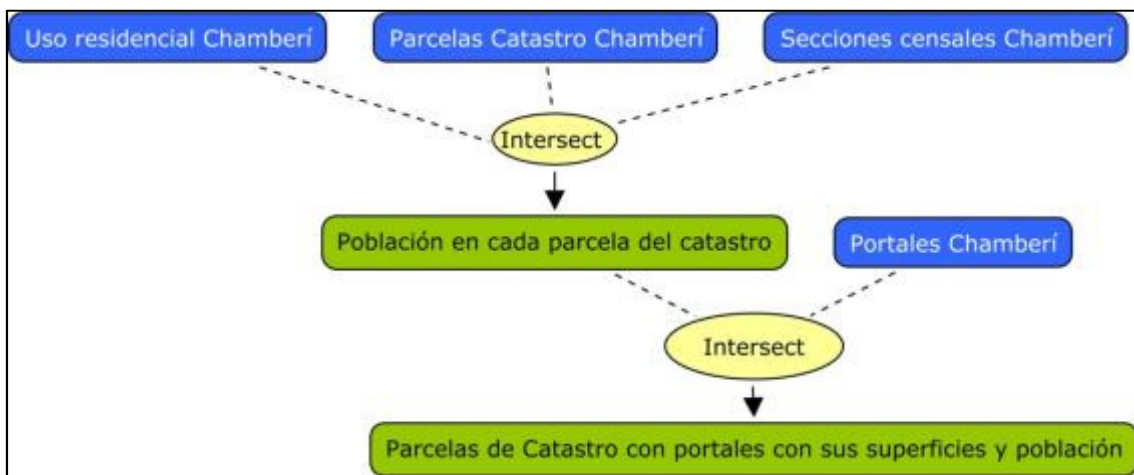


Figura 6.- Modelo de flujo para repartir a la población por portales y/o superficies de uso residencial.

Con esto llegamos a tener la población repartida en su portal correspondiente.



Figura 7.- Población estimada por edificios en función de la superficie del mismo. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del INE, catastro.

## 7.- ESTIMACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS GENERADOS POR LA POBLACIÓN RESIDENTE

En la página Web del ayuntamiento de Madrid, en el apartado de Medio Ambiente, podemos encontrar la *MEMORIA DE ACTIVIDADES AÑO 2011* en cuya página 34 aparece la cantidad de envases y resto de basura por distritos, aparte el total de RSU divididos en diarios y anuales. Lo que hemos calculado nosotros ha sido la cantidad de cada uno de ellos por día, a partir de la población de cada portal y el coeficiente de basura que produce cada residente al día.

ENVASES	RESTO	TOTAL	HABITANTES 2011	KG/HAB/AÑO	KG/HAB/DIA
3.922,16	44.123,60	48.045,76	143.773	334,00	0,916

KG/Hab/Año/Envases	KG/Hab/Año/Resto	KG/Hab/Día/Envases	KG/Hab/Día/Resto
27,28	306,90	0,074740346	0,840815559

Los datos de vidrio y de papel cartón están sacados de otra fuente: (Limpieza urbana y gestión de residuos en la ciudad de Madrid)

- Vidrio: 38.000 T/año

Con esto obtenemos 11,61 Kg anuales/hab y 0,0318 kg diario/hab

- Papel/cartón: 120.000 T/año

Con esto obtenemos 36,6636 Kg anuales/hab y 0,10044 kg diarios/hab

Tabla 2.- Tabla con cantidades de envase, resto, vidrio y papel-cartón por habitantes en años y días. Estos materiales serán los materiales de estudio para la localización y recogida de RSU. Fuente: Ayuntamiento de Madrid.

Tipo de residuo	KG habitante anual	KG habitante diario
Resto	306,90	0,841
Envases	27,28	0,075
Vidrio	11,61	0,032
Papel-Cartón	36,66	0,100

Cuando obtengamos las localizaciones de los contenedores con los kilos de basura que aporta la población que deposita los RSU en ellos, tendremos que ubicar cada

contenedor, esto significa que hay que mirar las estadísticas de los kilos de los contenedores, ver los kilos máximos y mínimos así como la media de cada contenedor.

Así que tendremos que calcular el volumen de los diferentes materiales, resto, envases, vidrio y papel- cartón. Sabiendo que, la densidad de los envases comprende un abanico que va desde  $1.700 \text{ kg/ m}^3$  hasta  $910 \text{ kg/ m}^3$ , el vidrio tiene una densidad de  $950 \text{ kg/ m}^3$  hasta  $2.000 \text{ kg/ m}^3$  según el material que le pongan en el vidrio, en el papel  $770 \text{ kg/ m}^3$ , y esto según el gramaje del papel. Para simplificarlo y que resulte más claro unificaremos todas las densidades de los materiales como 1, ya que como hemos visto, las densidades aun tratándose de un mismo material, son bastantes diferentes. Así que podemos tomar que la densidad del papel, la del plástico y vidrio, y para el resto u orgánico, tomaremos una densidad de  $1000 \text{ kg/ m}^3$ .

## 8.-CREACIÓN DE UNA RED

Para poder localizar los contenedores utilizaremos una herramienta llamada *Location-Allocation* de dentro de la extensión de *Network Analyst*, para ello necesitamos una red, al igual que para crear la rutas de recogida. Crearemos la red, como hemos dicho utilizaremos una red comercial, pero explicaremos como se haría si no se tuviera la red comercial. Para crear y utilizar las herramientas de red, tendremos que tener la extensión de *Network Analyst* en *ArcGIS Desktop*.

Existen dos tipos de redes, la red unimodal, que sería la que contiene una sola fuente en su interior y es utilizada para evaluar redes de transporte donde sólo existe un tipo de circulación, ya sea peatonal, ferroviaria o de vehículos, y la red multimodal, que contiene múltiples ejes y nodos en su interior y es utilizada para evaluar redes de transporte en donde participan múltiples tipologías de circulación, como por ejemplo una red peatonal y de vehículos en el interior de una red de circulación mayor.

Los aspectos básicos para la elaboración de un conjunto de redes o *Network Dataset* es el conjunto de datos configurados y estructurados previamente para la realización de sus opciones. Solo basta con tener un *shapefile*, *featureclass*, *ráster* o *featurelayer* para realizar operaciones de análisis, sin embargo para el *Network Analyst* se tiene que elaborar un *Network Dataset*, ya que sin este componente no es posible realizar operaciones. Los elementos de la red, son todos los componentes geográficos que constituyen las fuentes de la información al interior de ella, como por ejemplo calles, estaciones de metro... Suelen representarse como puntos (*nodos*) y líneas (*ejes*). De manera adicional se incorporan los giros (*TurnFeatureClass*) que representan condiciones particulares de desplazamiento en el interior de la red. Tanto los puntos, como las líneas y giros representan las entidades de red que constituyen la base del *Network Dataset*. Se recomienda crear el *Network Dataset* dentro de una *geodatabase*, ya que así aumenta considerablemente la funcionalidad y permite incorporar más fuentes al modelo posibilitando la elaboración de conectividades precisas en su interior para cada fuente de información.

Es importante organizar la *geodatabase* de forma adecuada, así se agrupará la información o *featureclass* en *diferentes dataset*, por ejemplo los ejes viales. También se pueden añadir estaciones de servicio, en otro *dataset*, así como todo lo que sea

necesario aportar en nuestro modelo, que en nuestro caso serían las localizaciones de contenedores, garaje de camiones e instalaciones de tratamientos de residuos sólidos urbanos. Buscamos en *ArcCatalog* el directorio donde hemos creado el *featureclass*, lo seleccionamos con el botón derecho “*New/Network Dataset*”. Aquí se añaden todas las características de nuestra red, desde la conectividad, elevaciones, modelos de giros y la definición de los atributos y sus valores. Los atributos más importantes son:

- Distancia (*Meters*), este atributo se crea por defecto sobre cualquier red, tenga o no atributos de jerarquía.
- Tiempo o factor de coste en su interior. Se obtiene la distancia desde la geometría del *Featureclass*. El atributo de tiempo (*Minutes*), se obtiene desde dos columnas de la tabla, la columna desde-hacia (*from-to*) y hacia-desde (*to-from*). Sus valores siempre hacen referencia a la unidad de tiempo, por ejemplo minutos.
- Sentido de las calles (*oneway*), se obtiene desde una columna en la tabla denominada *Oneway*, contiene valores que indican el sentido de circulación sobre el segmento respectivo.
- Jerarquía, este atributo es para darle peso al tipo de vías, y permitir decidir en función de los pesos, las vías que más se acomodan a una determinada tipología de circulación.

Para determinar las localizaciones de cada contenedor utilizaremos la extensión del *Network Analyst* con la herramienta *Location-Allocation*, esta herramienta está definida en la ayuda de ArcGIS Desktop: Dadas instalaciones que proporcionen bienes y servicios, y un conjunto de puntos de demanda que los consumen, el objetivo de la ubicación-asignación es buscar instalaciones de modo que suministren a los puntos de demanda de la manera más eficiente. Como el nombre sugiere, la ubicación-asignación es un problema doble que, simultáneamente, busca instalaciones y asigna puntos de demanda a las instalaciones.

Luego tendremos que decidir aplicar si optamos por equidad o eficiencia. Para la demanda de contenedores de resto aplicaremos equidad con *Minimize Facilities* y para envases, vidrio y papel-cartón aplicaremos eficiencia, con *Maximize Attendance*.

Las razones para utilizar el principio de la eficiencia es que la distancia es un factor que influye en la participación de la población en el reciclaje. Podríamos decir que cuanto más cerca estén los contenedores de la población más gente reciclará. La equidad se emplea para igualar las localizaciones de los contenedores y que toda la población acceda a ellos por igual.

Una vez que tengamos las ubicaciones de los contenedores, tendremos que crear las rutas que permitan la recogida de los RSU. Esto se puede realizar con la misma extensión *Network Analyst*, pero con la herramienta *VehicleRoutingProblem*, que permite una optimización de las rutas con los vehículos, para que el coste sea el menor posible. Aunque tenemos atributos fijos, como las localizaciones, existen otros atributos, como el de los vehículos y operarios, en los que podemos reducir los costes.

## 9.- HIPÓTESIS DE LAS UBICACIONES DE LOS CONTENEDORES

En este apartado estudiaremos los diferentes modelos para la localización de contenedores, valoraremos tres sistemas de recogida:

- Sistema Puerta a Puerta: los cubos o contenedores están situados en cada puerta, patio interior o zona accesible de la vivienda o edificio. El ciudadano deposita allí los residuos a una determinada hora del día. La distancia que hay que recorrer hasta depositar los residuos es mínima. Es el existente en Madrid, para residuos de resto y envases.
- Sistema en Acera, los puntos de depósito ya no están ubicados puerta a puerta, sino cada 50 metros. Las distancias a recorrer por los ciudadanos no son muy elevadas y la aceptación es buena. La recogida es más ágil y rápida. El principal problema es la cantidad de contenedores diferentes que se han de poner en los puntos de recogida. Este modelo es el más empleado en España.
- Sistema de Áreas de Aportación, con el fin de abaratar la gestión, los puntos de recogida se sitúan a distancias mayores. Las áreas pueden tener un radio de acción entre 100 y 400 metros. El sistema se apoya en la disposición del ciudadano a recorrer mayores distancias a pie. Se utiliza para la recogida selectiva de materiales de alto valor económico y que generan pequeñas cantidades. El ciudadano no se desplaza diariamente a esos puntos. Es el existente en Madrid, para vidrio y papel-cartón.

### 9.1.- Sistema de recogida puerta a puerta, para envases y resto

Para la primera hipótesis, al tener los portales con la población del apartado anterior, vamos a utilizar la misma capa, llamada *FIN*, pero haciendo una copia de la misma. Primero editamos las propiedades de la capa, ya que contiene muchos atributos que en esta parte no son necesarios, y tomamos los que más nos interesan, entre ellos, la población por portal. Creamos varios campos nuevos en la tabla para obtenerla cantidad de envases diarios, restos diarios, cantidad de contenedores de

envases diarios y cantidad de contenedores de restos diarios. Para hacer el cálculo de estos campos hemos de multiplicar la cantidad de población por el coeficiente de kg/hab/día/envases, en nuestro caso 0,074740346, para la cantidad de envases diaria, y esto entre 120, ya que al contenedor que se utiliza para este caso le caben 120 litros. Haremos lo mismo para los residuos de restos, pero con el coeficiente 0,840815559.

Para que no nos aparezcan números decimales, ya que los contenedores no se pueden dividir, iremos haciendo una selección por atributos ( $x \geq 0$  and  $x \leq 1$ , para un contenedor), así hasta tenerlos todos. En el caso del resto nos salen 3.170 contenedores, de los 2.630 portales y en el de envases 2.638 contenedores de los mismos 2.630 portales. La diferencia del resto y de los envases, es que de los envases al ser recogidos cada dos días, debemos multiplicar los kilos diarios por dos.



Figura 8.- Contenedores de resto estimados por edificios en función del coeficiente de kilos de residuos urbanos por habitantes. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Ayuntamiento de Madrid.



Figura 9.- Contenedores de envase estimados por edificios en función del coeficiente de kilos de residuos urbanos por habitantes. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Ayuntamiento de Madrid.

## 9.2.- Sistema de recogida en acera, para resto, modelo minimizar instalaciones.

En esta parte del trabajo utilizaremos los modelos de *Location-Allocation*, para crearlos tendremos que ir a la herramienta *Network Analyst/ New Location-Allocation*, al crear la capa, nos aparecen seis clases de análisis de red, instalaciones, puntos de demanda, líneas, barreras de punto, barreras de línea y barreras de polígono. Dentro de las propiedades de esta capa es donde tenemos que modificar el tipo de modelo, nosotros usaremos el *Minimize Facilities* o minimizar instalaciones y el *Maximize Attendance* o maximizar la asistencia al consumidor.

En el atributo de instalaciones, hemos de poner los puntos en que es posible ubicar los contenedores, y nos vendrán unos campos de entrada:

**Tabla 3.- Esta sería la información a introducir para la capa de entrada de instalaciones para emplear la herramienta *location-allocation*.**

Campo de entrada	Descripción
ID de objeto	Campo ID administrado por el sistema
Shape	Campo de geometría que indica la ubicación geográfica del objeto de análisis de red
Nombre	Nombre del objeto de análisis
FacilityType	Esta propiedad o atributo especifica si la instalación es candidata, requerida, competidora o elegida, en nuestro caso todas serán candidatas
CurbApproach	Especifica la dirección de viaje, para llegar a las instalaciones, lo dejamos en predeterminado en cualquier lado.

La capa de salida nos dice cuántos puntos de demanda hay en cada instalación, cuanta población o peso tenemos en cada contenedor, la impedancia total entre los puntos de demanda y los contenedores.

En el atributo de puntos de demanda, hemos de poner los portales, y nos vendrán los siguientes campos de entrada:

**Tabla 4.- Esta sería la información a introducir para la capa de demanda para emplear la herramienta *location-allocation*.**

Campo de entrada	Descripción
ID de objeto	Campo ID administrado por el sistema
Shape	Campo de geometría que indica la ubicación geográfica del objeto de análisis de red
Nombre	Nombre del objeto de análisis
Peso	Es la ponderación relativa al punto de demanda, aquí pondremos la población por portal.
CurbApproach	Especifica la dirección de viaje, para llegar a las instalaciones, lo dejamos en predeterminado en cualquier lado.

La salida de esta capa nos dice si está aceptado o no para la recogida.

En las propiedades del análisis, tendremos que indicar el modo de desplazamiento en la red, en este caso utilizaremos el de a pie, el tipo de impedancia, ya que es el coste de la red, nosotros usaremos metros, ya que los modelos que utilizaremos están a 50 y 250 metros, si los viajes son del punto de demanda a la instalación o a la inversa, si permitimos o no los giros, y si vamos a utilizar jerarquía de vías.

En las opciones avanzadas es donde ponemos el tipo de modelo a utilizar de los dos que hemos hablado anteriormente, también podemos indicar el número de instalaciones, esto solo lo pondremos en el modelo de maximizar la asistencia, ya que en el otro el modelo nos busca las mínimas instalaciones para que toda la población

llegue con la impedancia dada a los contenedores, para lo que utilizaremos como valor de impedancia, como hemos dicho antes 50 y 250 m.

Utilizaremos un modelo de equidad, para que toda la población pueda tirar la basura. Usaremos el de minimizar las instalaciones, *las instalaciones se ubican de modo que se asigne el máximo número de puntos de demanda a las instalaciones de la solución dentro de la tolerancia de impedancia; además, se minimiza el número de instalaciones necesarias para cubrir los puntos de demanda.*

Vamos a crear dos modelos, uno donde los puntos candidatos sean los centroides de las calles, y otro en el que los puntos candidatos para ser ubicación de contenedor sean los centroides, los portales y los nodos de la red, así hacemos que tenga más flexibilidad.

#### **9.2.1.- Modelo de minimizar instalaciones, con puntos candidatos centroides de las calles**

En las *facilities o punto candidato* ponemos la capa que hemos creado a partir de los centroides de las calles, y en *demandpoint o punto de demanda* ponemos los portales, con el peso de la población por portal. En la red debe ir una impedancia a 50 metros de los portales, ya que dado el tamaño de las manzanas del distrito, no cruzamos la calle. Y como restricción de la red, que el método de desplazamiento, sea a pie y que los viajes se hagan desde el punto de demanda hasta la instalación:



Figura 10.- Localización de los contenedores de resto, en sistema de recogida en acera, como puntos candidatos los centroides de las calles. Fuente: elaboración propia.

Con estas premisas obtenemos 633 contenedores, lo que no cubre al total de la población, ya que se llega a 132.717 habitantes de los 134.779 que existen en este distrito. Esto se debe a que hay puntos de centroides de calles que no son transitables, lo cual no nos obliga a descartar esta opción ya que queremos tener la opción que abarque a más población, vamos a dividirlos en diferentes franjas, a 15, 30 y 50 metros.

Tabla 5.- Cantidad de personas que acceden a los contenedores a diferentes franjas de distancia.

Franja	Población (habitantes)	Porcentaje
0 a 15 metros	58.617	43,49%
15 a 30 metros	44.424	32,96%
30 a 50 metros	29.676	22,02%
Población que no cubre	2.062	1,53%

### 9.2.2.- Modelo de minimizar instalaciones, con puntos candidatos centroides de las calles, nodos y portales.

En este caso, las *facilities* o *punto candidato* incluyen la capa que hemos creado a partir de los centroides de las calles, los nodos de la red y los portales, así la optimización de la ubicación de los contenedores tiene más flexibilidad y en *demandpoint* o *punto de demanda* incluimos los portales, con el peso de la población por portal, y en la parte de la red, las siguientes características, con la impedancia de que estén a 50 metros de los portales, para que no sea necesario cruzar la calle. También como restricción de la red consideramos que el método de desplazamiento sea a pie y que los viajes se hagan desde el punto de demanda hasta la instalación:



Figura 11.- Localización de los contenedores de resto, en sistema de recogida en acera, como puntos candidatos los centroides de las calles, portales y los nodos de la red. Fuente: elaboración propia.

Con esto obtenemos 800 contenedores, 167 más que escogiendo como candidatos solo los centroides de las calles, esto nos lleva a considerar que este modelo tiene mayor flexibilidad, ya que al tener más puntos candidatos tiene mayor facilidad de escoger más localizaciones, y cubre al total de la población 134.779 habitantes, los cuales vamos a dividirlos en diferentes franjas, a 15, 30 y 50 metros.

Tabla 6.- Cantidad de personas que acceden a los contenedores a diferentes franjas de distancia.

Franja (metros)	Población (habitantes)	Porcentaje
0 a 15	73.056	54,20%
15 a 30	34.504	25,60%
30 a 50	27.219	20,20%
Total	134.779	100%

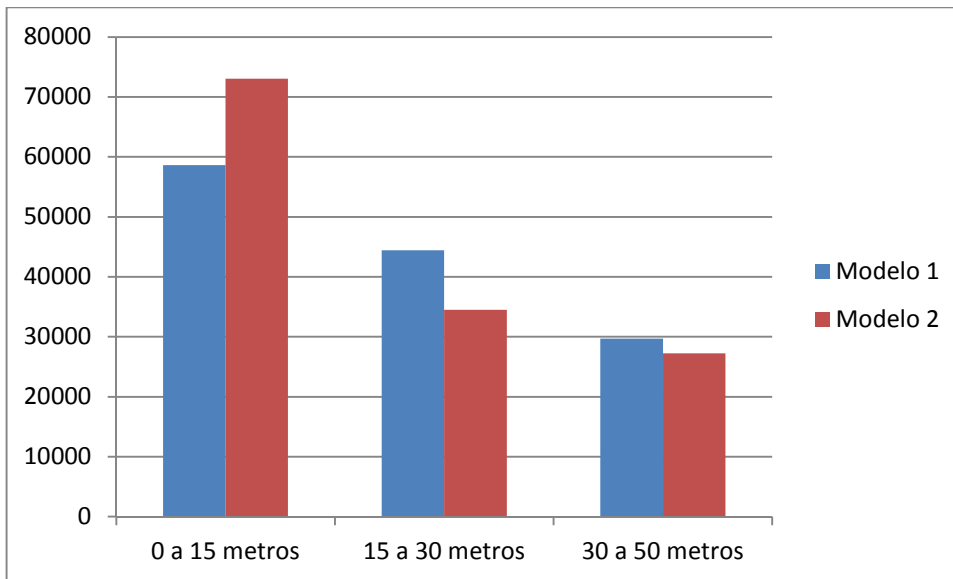


Figura 12.- Gráfico que nos ayuda a entender la población que abarca cada modelo y a cuanta distancia.

Podemos concluir que es mejor modelo aquél que tiene más flexibilidad, ya que el problema que hemos tenido ha sido que hay calles que no son transitables. Esas localizaciones nos quitan portales que contienen población. Además, nos sale que la mitad de la población está a menos de 15 metros de las ubicaciones de los cubos, hechos que en el modelo anterior nos salía un poco menor, así que nos quedaríamos con el modelo de minimizar instalaciones e indicando como puntos candidatos los portales, los centroides de las calles y los nodos de la red.

Las estadísticas de estos contenedores nos aparece como kilos mínimos 8,41 y máximo 1.240,20, y una media de 141,74. Así estudiando estos valores se ha decidido poner contenedores de 500 litros.

### 9.3.- Sistema de recogida en área de aportación para envases, papel y vidrio, modelo maximizarla asistencia.

En esta parte hemos construido un modelo de eficiencia, con el modelo de maximizar la asistencia, con una impedancia de 250 metros. En este caso haremos lo mismo que en el caso de sistema en acera, y ver si con más puntos candidatos también se aproxima a más población como en el caso anterior.

Para esta hipótesis vamos a guiarnos por un artículo (Luz Dayanna Rojas Castillo, Antonio Gallardo Izquierdo, Alberto Piñero Guilamany 2011) en el cual se estudia la distancia del domicilio al contenedor como un factor influyente en la separación de residuos urbanos entre ellos envases de vidrio, papel, cartón, plástico, bricks, bandejas de corcho y latas, su estudio pertenece a la ciudad de Valencia, con un muestreo a 797 individuos, con una escala de cuatro categorías: *nunca*, *algunas veces*, *casi siempre* y *siempre*. Los resultados muestran para todos los materiales una correlación lineal con coeficientes de correlación muy altos ( $R > 0,90$ ) en un aumento de la frecuencia de separación a medida que disminuye la distancia del contenedor al domicilio.

En el caso de la ciudad de Valencia, los contenedores están separados entre 100 y 200 metros, el sistema lleva el nombre “recogida selectiva de residuos urbanos” y su funcionamiento se basa en la colaboración de los ciudadanos, quienes separan los residuos generados en sus hogares principalmente en cuatro fracciones: envases vidrio (*contenedor verde*), envases de papel-cartón (*contenedor azul*), envases plástico, metal y brick y corcho (*contenedor amarillo*) y el resto de la basura sería la cuarta fracción. No se recicla la materia orgánica de forma independiente, como sí se hace desde hace unos meses en algunas localidades, por ejemplo en la playa de Gandía.

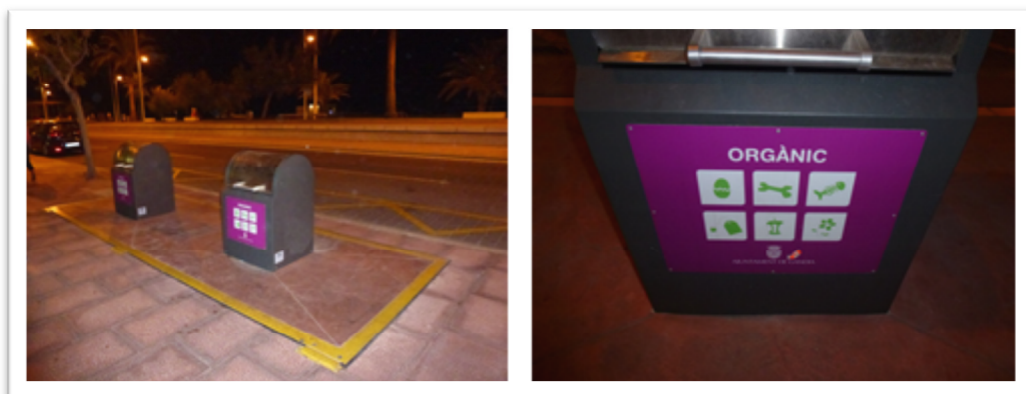


Figura 13.- Este es el ejemplo de la playa de Gandía, con la materia orgánica.



Figura 14.- Ejemplo de sistema de área de aportación.

Los resultados para el vidrio han sido los siguientes:

Tabla 7.- Distancia del domicilio al contenedor como un factor influyente en la separación de residuos urbanos.  
Fuente: Artículo anterior, Luz Dayanna Rojas Castillo, Antonio Gallardo Izquierdo, Alberto Piñero Guilmany, (2011).

		Frecuencia de separación para la fracción recuperable: envases de vidrio					Total	
		Nunca	Algunas veces	Casi siempre	Siempre	Ns/Nc	1	
Distancia en metros	<50 m	N %	37 9,4%	46 11,7%	59 15,0%	250 63%	2 0,5%	394 100,0%
	Entre 50 y 100 m	N %	22 12,3%	29 16,2%	37 20,7%	91 50,8%	0 0,0%	179 100,0%
	Entre 100 y 200 m	N %	23 21,5%	25 23,4%	22 20,6%	37 34,6%	0 0,0%	107 100,0%
	>200 m	N %	26 31,7%	12 14,6%	16 19,5%	26 31,7%	2 2,4%	82 100,0%
	Ns/Nc	N %	8 29,6%	7 25,9%	5 18,5%	6 22,2%	1 3,7%	27 100,0%
Total		N %	116 14,7%	119 15,1%	139 17,6%	410 52,0%	5 0,6%	789 100,0%

Donde podemos ver que la proximidad de los contenedores, es un factor que influye en la participación en el reciclaje.



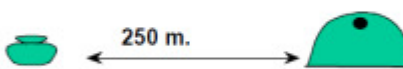


<p><b>Nivel puerta a puerta</b> mínima distancia al punto de depósito</p>	
<p><b>Nivel acera</b> distancia menor de 50 metros al punto de depósito</p>	
<p><b>Nivel área aportación</b> distancia menor de 250 metros al punto de depósito</p>	
<p><b>Nivel establecimiento</b> punto depósito en establecimientos comerciales</p>	
<p><b>Nivel instalación</b> punto de depósito alejado</p>	

Figura 15.- Distancia de los contenedores a los portales con los diferentes modos de recogida. Fuente: Gallardo, A., Bovea, M.D., Colomer, F.J, Carlos, M, Prades, M. (2009).

En la Ciudad de Madrid, se recogen anualmente 38.000 toneladas de vidrio y 120.000 toneladas de papel/cartón, gracias a estos datos sabemos que los kilos por habitante y día o año de vidrio y papel cartón son:

- ✓ Vidrio:
  - 11,61 Kg anuales/ habitante
  - 0,0318 kg diarios/ habitante
- ✓ Papel/ Cartón:
  - 36,6636 kg anuales/ habitante
  - 0,10044 kg diarios/ habitante

Madrid tiene 8.000 puntos de recogida de estos residuos, llegando a una localización por cada 409 habitantes, en nuestro distrito tendremos 329 ubicaciones de estos contenedores.

Con estos datos aplicamos la herramienta *Maximize Attendance*, así las instalaciones se eligen de modo que se asigne el máximo peso de demanda posible a las instalaciones asumiendo que el peso de la demanda se reduce en relación con la distancia entre la instalación y el punto de demanda, en nuestro caso el peso de la demanda sería la población por portal.

### 9.3.1.- Modelo maximizar asistencia centroides calles

En las *facilities* o *punto candidato* ponemos la capa que hemos creado a partir de los centroides de las calles, y en *demandpoint* o *punto de demanda* ponemos los portales, con el peso de la población por portal, y en la parte de la red, las siguientes características, con la impedancia de que estén a 250 metros de los portales, ya que no debe ser una distancia muy pequeña ni muy grande, esta distancia esta cogida del artículo anterior Gallardo, A., Bovea, M.D., Colomer, F.J., Carlos, M., Prades, M. (2009), también ponemos como la restricción de la red que el método de desplazamiento sea a pie y que los viajes se hacen desde el punto de demanda hasta la instalación. Obtenemos los siguientes resultados:

Los habitantes que abarca esta hipótesis: 105.738 de los 134.779, un 78,45%, para 329 contenedores.

Total de líneas o itinerarios de los usuarios para depositar la basura: 2.613

- ✓ Líneas donde la distancia es menor de 20m: 502, un 19,2%, población que abarca 33.240, que representa 33,5% de la del estudio.
- ✓ Líneas donde la distancia entre 20 y 50 m: 531 líneas, población que abarca 26.736, que representa 26,9% de la del estudio.
- ✓ Líneas donde la distancia entre 50 y 100 m: 965 líneas, población que abarca 29.896, que representa 28,44% de la población de estudio.
- ✓ Líneas donde la distancia es mayor de 100 m: 615 líneas, población que abarca 13.126, que representa 11,16% de la población del estudio.



Figura 16.- Mapa de las localizaciones de los contenedores en área de aportación, utilizando como puntos candidatos los centroides de las calles. Fuente: Elaboración propia.

### 9.3.2.- Modelo maximizar asistencia, puntos candidatos centroides, nodos y portales

En las *facilities o punto candidato* ponemos la capa que hemos creado a partir de los centroides de las calles, los nodos de la red y los portales y en *demandpoint o punto de demanda* ponemos los portales, con el peso de la población por portal, y en la parte de la red, las siguientes características, con la impedancia que estén a 250 metros de los portales, ya que no debe ser una distancia muy pequeña ni muy grande, esta distancia esta cogida del artículo anterior Gallardo, A. *et al* (2009), también como la restricción de la red que método de desplazamiento sea a pie y que los viajes se hacen desde el punto de demanda hasta la instalación. Obtenemos los siguientes resultados:

Los habitantes que abarca esta hipótesis: 112.620 de las 134.779, un 83,56%, con un total de 329 contenedores.

Total de líneas: 2.608

- ✓ Líneas donde la distancia es menor de 20 m: 679 de 2608-> 26%

Podemos ver que existen 290 líneas donde hay 0 metros de distancia, esto significa que está en el portal de su casa, con un peso de 28.359 habitantes, representa un 25% de la población del estudio. Hasta los 20 m hay un total de población de 50.606 habitantes, un 44% de los habitantes que abarca el estudio.

- ✓ Líneas donde la distancia comprende entre 20 y 50m: 700 de 2.608-> 27%

En esta parte abarca a 31.461 habitantes, 27% de la población que abarca el estudio. Podemos ver que entre 0-50 metros hay un 67% de la población que abarca el estudio.

- ✓ Líneas con distancias entre 50 y 100 m: 839 de 2.608-> 32%, total de población 24.488, un 22,74% de la población de estudio.
- ✓ Líneas con distancias mayores de 100 m: 391 de 2.608-> 14,99%, total población 6.064, un 6,26% de la población de estudio.

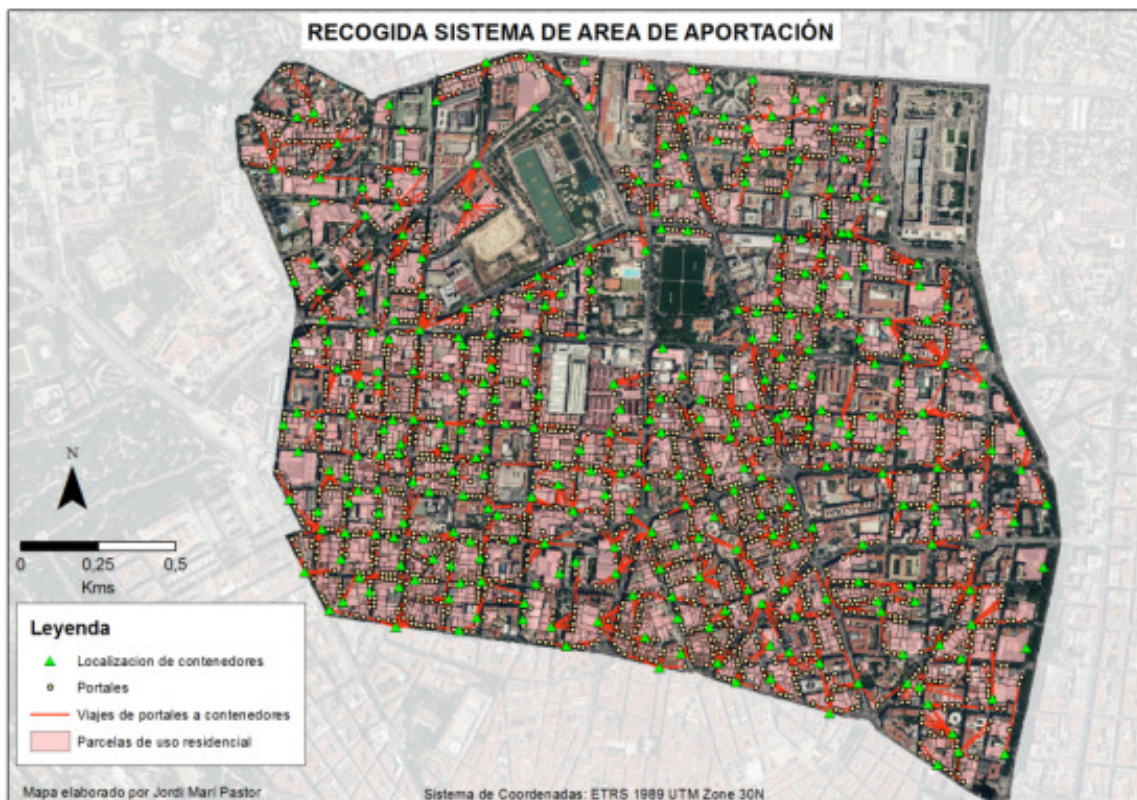


Figura 17.- Mapa de las localizaciones de los contenedores en área de aportación, utilizando como puntos candidatos los centroides de las calles. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8.- Resultados del acceso a los contenedores en el área de aportación. Fuente: Elaboración propia.

	Modelo 1	Modelo 2
0-20m	33.5%	44%
20-50m	26,9%	27%
50-100m	28,44%	22,74%
100-250m	11,16%	6,26%
Total	100%	100%

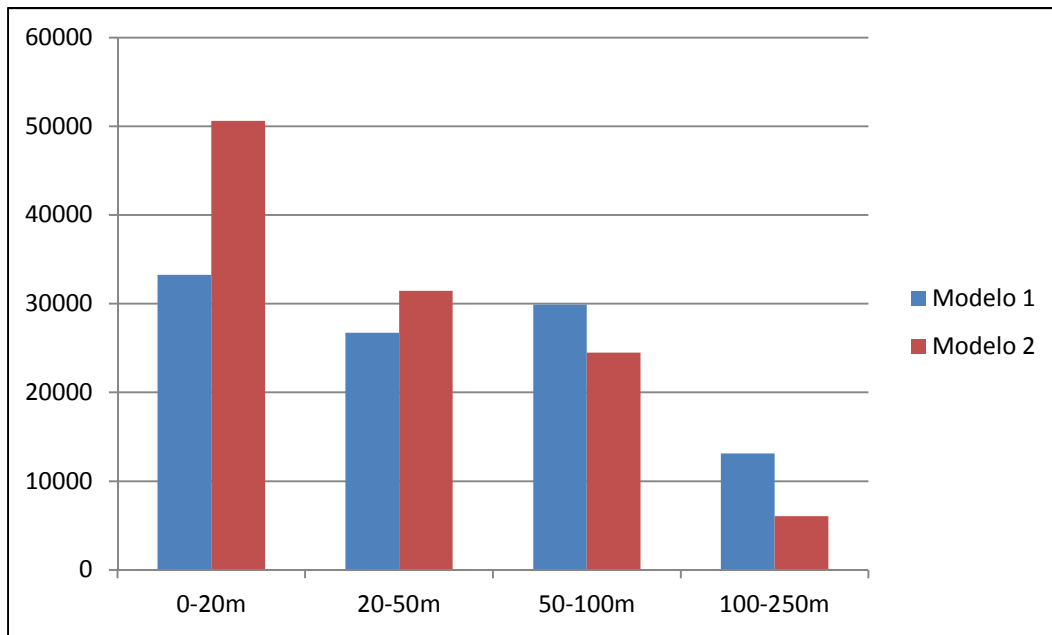


Figura 18.- Gráfico que nos ayuda a visualizar las dos hipótesis con la distancia y el porcentaje que abarca.

Podemos ver que la hipótesis 2, que tiene como puntos candidatos los centroides de las calles, los portales y los nodos de la red, es más flexible, y al haber más puntos candidatos llega a más población que la hipótesis 1, llegando a 105.738 habitantes y la hipótesis 2 a 112.620 habitantes y con menos distancia. Con esto podemos decir que abarca a más población con menos distancia, lo que define la eficiencia.

## 10.- RUTAS DE RECOGIDA

Para esta parte utilizaremos la herramienta de New Vehicle Routing Problem o Generación de rutas para vehículos. Para crear la capa, desde la barra de Network Analyst haciendo clic en Network Analyst/ New Vehicle Routing Problem.

Ejemplo de capa de ruta:

Tabla 9.- Atributos y descripción que lleva la capa de ruta del *New VehicleRoutingProblem*.

Parámetro	Descripción
In_network_dataset	Es el dataset que hemos creado para hacer las rutas, en este caso Madrid_NT
Out_network_analysis_layer	El nombre de la capa de análisis que se creará
Time_impedance	Atributo del coste de tiempo, en este caso minutos
Distance_impedance (opcional)	Atributo de coste de distancia, en este caso metros
Time_units (opcional)	Unidades de tiempo utilizadas en el análisis, (segundo, minutos, hora, días)
Distance_units (opcional)	Unidades de distancia utilizadas en el análisis (millas, kilómetros, pies, yardas, metros, pulgadas, centímetros, milímetros, decímetros, millas náuticas)
Default_date	Fecha para el análisis
Capacity_count	Número de instalaciones de restricciones de capacidad para el análisis
Time_window_factor	Este parámetro permite considerar la importancia de respetar las ventanas de tiempo (alto, medio, bajo)
Exces_transit_factor	Este parámetro permite reducir el exceso de tiempo de tráfico (alto, medio, bajo)
UTurn_policy	Es la política de giros en U en los cruces (Allow_uturns, no_uturns, allow_desde_ends_only, allow_dead_ends_and_intersections_only)
Restriction_attribute_name	Lista de atributos de restricción que se aplicará en el análisis
Hierarchy	Permite utilizar o no utilizar jerarquía en las vías (use_hierarchy, no_hierarchy)
Output_path_shape	Este atributo permite que las rutas tengan la misma forma que las fuentes de la red (true_lines_with_measures, true_lines_without_measures, straight_lines, no_lines)

Al crearse la capa de *New Vehicle Routing Problem*, aparecen trece clases de análisis, *Orders, Depots, Routes, Depot Visits, Breaks, Routes Zones, Route Seed Point, Route Renewals, Specialities, Order Pairs, Point Barriers, Line Barriers, Polygon Barriers*. De las trece solo vamos a utilizar tres, *Orders, Depots y Routes*.

La capa de Orders, almacena las órdenes que forman parte del análisis, en nuestro caso será la localización de contenedores.

Tabla 10.- Atributos que contiene la capa de Orders y su descripción.

Campo de entrada	Descripción
ID de objeto	Campo ID administrado por el sistema.
Shape	Campo de geometría de nuestra red.
Nombre	Nombre del objeto del análisis.
Descripción	Información de la orden.
ServiceTime	Indica el tiempo que se empleará en cada localización de red cuando la ruta la visite.
TimeWindowStart1	Tiempo inicial de la primera ventana de tiempo para la ubicación de red.
TimeWindowEnd1	Tiempo final de la primera ventana de tiempo para la ubicación de red.
TimeWindowStart2	Tiempo inicial de la segunda ventana de tiempo para la ubicación de red.
TimeWindowEnd2	Tiempo final de la segunda ventana de tiempo para la ubicación de red.
MaxViolationTime1	El tiempo máximo que se puede infringir en una ventana de tiempo, si el tiempo de llegada es después de cierre de dicha ventana.
MaxViolationTime2	Tiempo máximo de infracción permitido para la segunda ventana.
DeliveryQuantities	Este es el tamaño de entrega, se puede especificar en cualquier dimensión peso, volumen o cantidad.
PickupQuantities	Es el tamaño de recogida, en nuestro caso serán los litros de cada contenedor.
CurbApproach	Especifica la dirección en la que un vehículo puede llegar a la ubicación (cualquier lado, lado derecho, lado izquierdo, sin giro en U).

La capa de salida aporta muchísima información, si se recogen o no los contenedores, la infracción que hace que no se recoja, desde qué portal hasta qué ubicación se dirige en distancia y en tiempo, la acumulación de tiempo y distancia del viaje, el lado del contenedor que está más cerca del bordillo, la hora de salida y llegada al final de la ruta, entre otras.

La capa de Depots, ubica desde dónde sale y hasta dónde llega el vehículo, en nuestro caso será una ubicación llamada garaje (lugar en donde se guardan los camiones y desde el que inician la línea de su trayectoria), y otra llamada Valdemingómez (destino de los camiones con los RSU), los atributos de esta capa serían los siguientes:

**Tabla 11.- Atributos que contiene la capa de Depots y su descripción.**

Campo de entrada	Descripción
ID de objeto	Campo ID administrado por el sistema.
Shape	Campo de geometría de nuestra red.
Nombre	Nombre del objeto del análisis.
Descripción	Información de la orden.
TimeWindowStart1	Tiempo inicial de la primera ventana de tiempo.
TimeWindowEnd1	Tiempo final de la primera ventana de tiempo.
TimeWindowStart2	Tiempo inicial de la segunda ventana de tiempo.
TimeWindowEnd2	Tiempo final de la segunda ventana de tiempo.
CurbApproach	Especifica la dirección en la que un vehículo puede llegar a la ubicación (cualquier lado, lado derecho, lado izquierdo, sin giro en U).

La capa de salida nos aporta el estado de la evaluación de la red, si es apta, si no se puede pasar por el punto, valores de campo no válidos, y por último, si no ha llegado.

En clases de ruta será donde añadiremos los camiones, esta capa es la que almacena las rutas que forman parte del análisis, especifica las características del vehículo y representa la ruta entre los depósitos y las órdenes (localización de los contenedores). Los campos de entrada usados son los siguientes:

**Tabla 12.- Atributos que contiene los ítems dentro de la capa de Rutas y su descripción.**

Campo de entrada	Descripción
ID de objeto	Campo ID administrado por el sistema.
Nombre	Nombre del objeto del análisis.
Descripción	Información de la orden.
StartDepotTName	El nombre del depósito de donde se inicia la ruta.
EndDepotName	El nombre del depósito de donde se finaliza la ruta
StartDepotServiceTime	El tiempo de servicio en el depósito inicial, o también la hora de inicio de la ruta.
EndDepotServiceTime	El tiempo de servicio en el depósito final, o también la hora de finalización de la ruta.
Capacities	La cantidad máxima que se puede transportar en el vehículo, en nuestro caso será 22.000litros.
CostPerUnitTime	El coste monetario usado en la ruta, en nuestro caso será 0,98€/minuto.
MaxOrderCount	El máximo número de órdenes que puede recoger cada ruta, lo más fácil es dividir las órdenes entre los camiones y le pones alguno más.
MaxTotalTime	Será el tiempo máximo que tiene cada vehículo para hacer las rutas.

La capa de salida de las rutas, será la forma de la línea de la ruta, con su forma verdadera a través de la red, las órdenes de parada o localización de contenedores asignadas a cada ruta, el coste total, el tiempo total, el tiempo total en cada orden, el tiempo de viaje, la distancia total, la hora a la que se empieza, la hora a la que se termina.

Al hacer la ruta también se obtendrá una capa de visitas al depósito, donde estará cada ruta con su nombre de depósito, su secuencia entre las órdenes, tipo de visita (salida, final) y tiempo de servicio en cada orden, entre otras.

Con estas capas podemos crear nuestras rutas, el tipo de camiones a utilizar son de carga trasera (22 m<sup>3</sup>, unos 22.000 kilos si la densidad del material es uno, en el caso del vidrio serían 55.000 kilos).

El coste de la utilización de este camión por cada hora es de 9,67 € aquí queda incluido el combustible y los lubricantes, gastos de mantenimiento, así como seguros e impuestos, aparte del coste del conductor que se cifra en 17,85 €, y el peón 15,54 €, la fuente de estos datos es el Ayuntamiento de Madrid, *Limpieza Urbana y Gestión de Residuos en la Ciudad de Madrid*.

En este caso vamos a tener dos peones, serían 31,08 €, siendo un coste total por hora de 58,6 €. Ahora tenemos que recalcularlo por la unidad de impedancia, en este caso serían minutos, obtendríamos así 0,98 € por minuto, esto lo insertaremos cuando creamos la ruta para saber el coste. Le indicaremos en cada recogida de contenedor un tiempo de 20 segundos para los contenedores hasta 500 litros, y 30 segundos para los superiores, esto es el *Service Time*. Al mostrar el conjunto de rutas en el mismo sistema de recogida, se han solapado rutas, por eso se han creado modelos de rutas individuales.

### **10.1.- Ruta recogida puerta a puerta**

La primera hipótesis nos trae a estudiar la recogida puerta a puerta, los contenedores de resto se recogen todos los días, y los de envases cada dos días.

### 10.1.1. Ruta recogida puerta a puerta resto

Tenemos un total de resto diario de 113.721,57 kilos, con esta cantidad necesitaríamos 5,17 camiones, redondeando a 6, puesto que la cantidad máxima que cargan los camiones son 22.000 kilos.

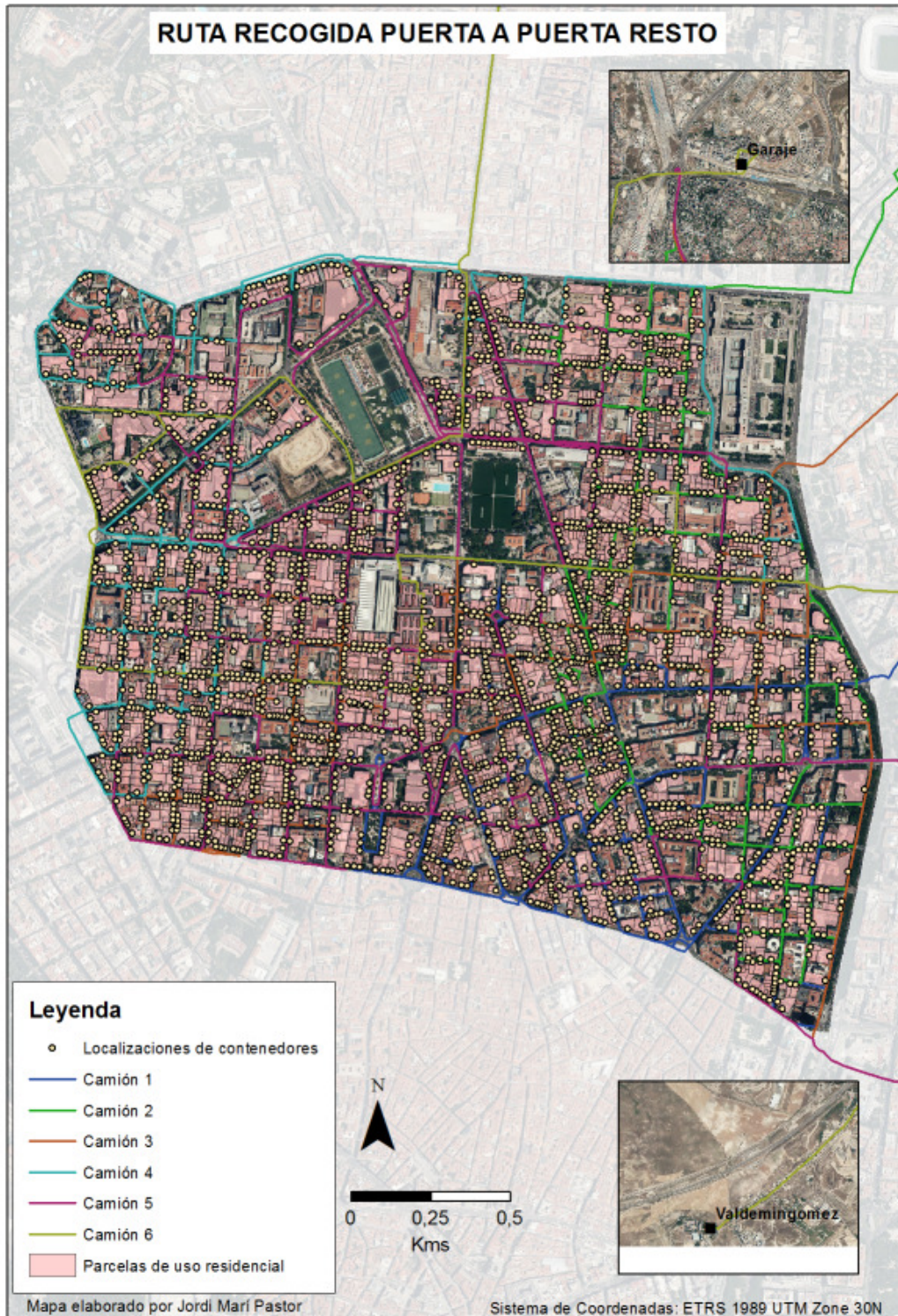


Figura 19.- Rutas recogida sistema puerta a puerta de resto. Fuente: Elaboración propia.

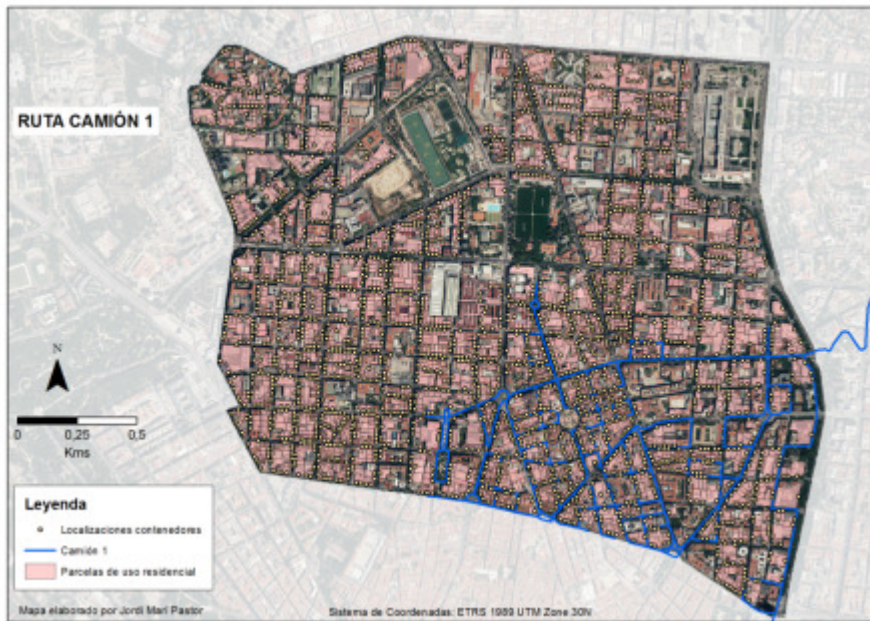


Figura 20.- Ruta camión 1, recogida sistema puerta a puerta. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 1	579	273,62	279,20	215,49	63,71	51.097,07	20.839,23



Figura 21.- Ruta camión 2, recogida sistema puerta a puerta. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 2	505	245,58 €	250,59	197,34	53,25	42.160,55	21.944,04

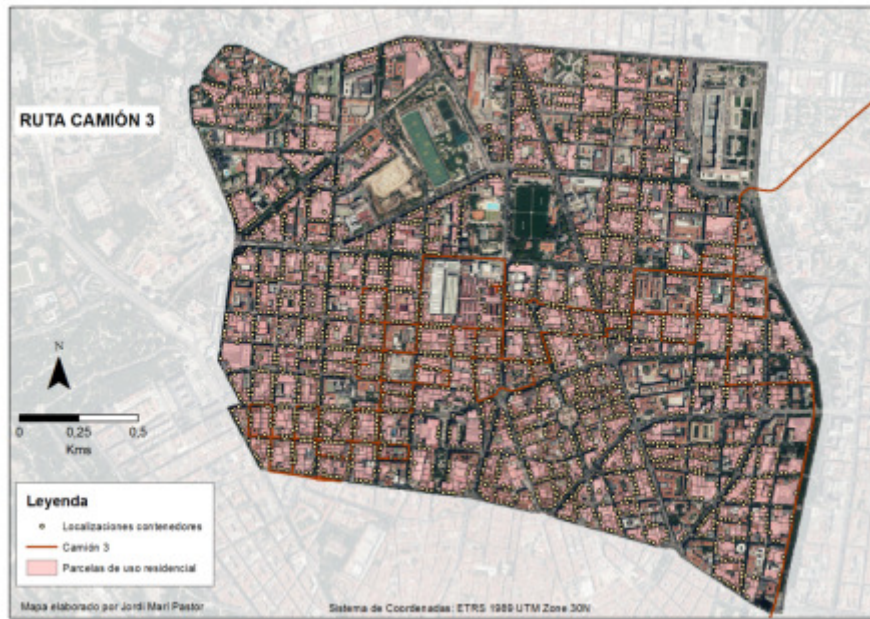


Figura 22.- Ruta camión 3, recogida sistema puerta a puerta. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 3	505	245,58	250,59	197,34	53,25	42.160,55	21.990,28

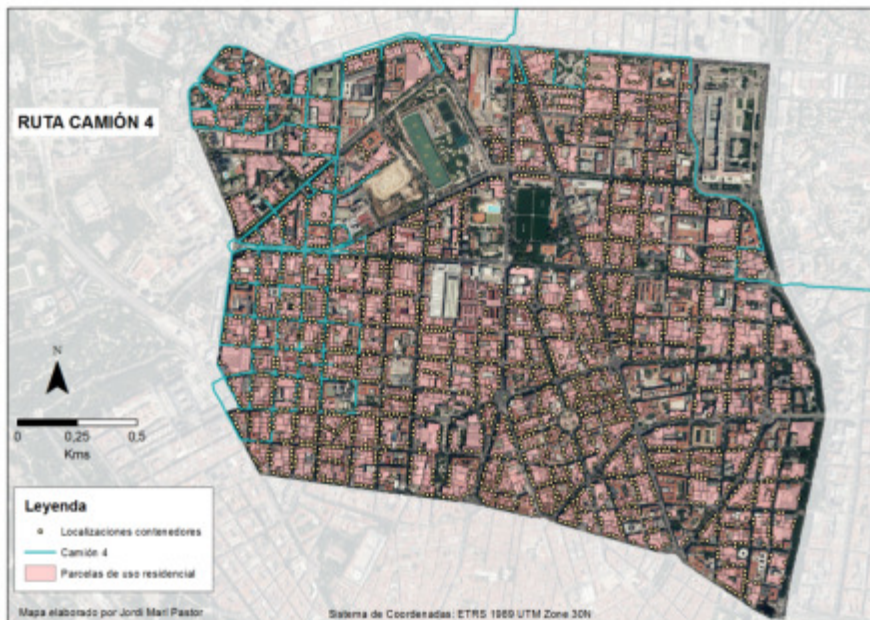


Figura 23.- Ruta camión 4, recogida sistema puerta a puerta. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 4	482	256,52	261,76	197,01	64,75	51.810,41	21.426,11

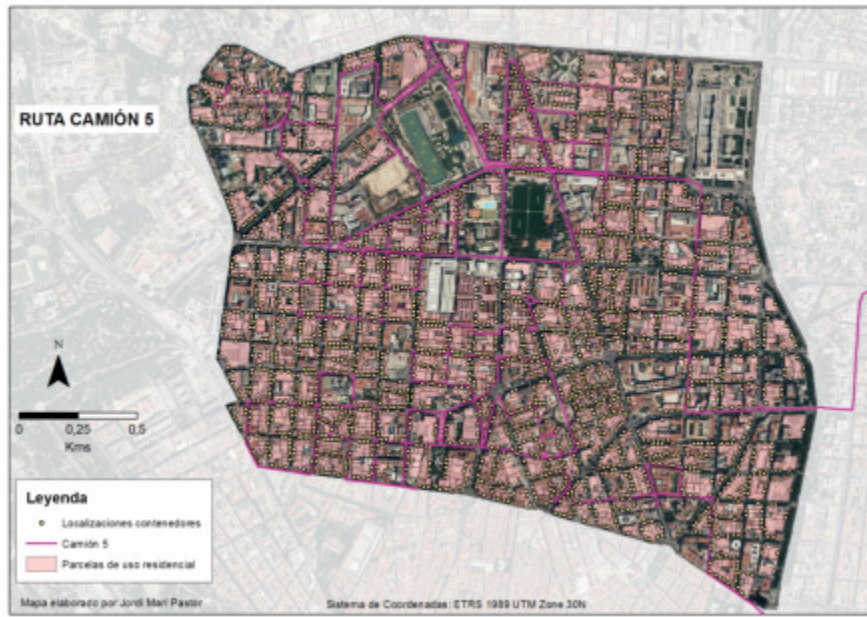


Figura 24.- Ruta camión 5, recogida sistema puerta a puerta. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 5	459	270,14	275,65	190,74	84,91	65.437,41	21.998,69



Figura 25.- Ruta camión 6, recogida sistema puerta a puerta. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 6	54	71,95	73,42	42,73	30,69	36.650,90	5.523,22

**Tabla 13.- Tabla resumen de la recogida puerta a puerta para resto.**

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 1	579	273,62	279,20	215,49	63,71	51.097,07	20.839,23
Camión 2	505	245,58	250,59	197,34	53,25	42.160,55	21.944,04
Camión 3	505	245,58	250,59	197,34	53,25	42.160,55	21.990,28
Camión 4	482	256,52	261,76	197,01	64,75	51.810,41	21.426,11
Camión 5	485	270,14	275,65	190,74	84,91	65.437,41	21.998,69
Camión 6	74	71,95	73,42	42,73	30,69	36.650,90	5.523,22
<b>Total</b>	<b>2630</b>	<b>1.363,39</b>	<b>1.391,21</b>	<b>1.040,65</b>	<b>350,56</b>	<b>289.316,89</b>	<b>113.721,57</b>

En este caso el Camión 6, va muy vacío, en este caso, para optimizar el coste de recogida, podríamos poner un camión de menor capacidad.

### 10.1.2.- Ruta recogida puerta a puerta envases

Tenemos un total de envases cada dos días de 20.206,95 kilos, con esta cantidad necesitaríamos un camión, pero para hacer las rutas, tenemos una limitación en el programa que solo puede recoger 1.000 contenedores, así que pondremos tres camiones de menor capacidad para optimizar el coste, ya que existen 2.630 contenedores.

*No tenemos las rutas dibujadas porque nunca llegaba a dibujarse después de varios días trabajando con ArcGIS, hasta un total de 7, pero nos daba los resultados en tablas.*

**Tabla 14.- Tabla resumen de la recogida puerta a puerta para envases.**

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta (€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 1	852	357,82	365,13	281,16	83,97	62.889,80	6.003,04
Camión 2	1000	410,39	418,76	331,98	86,78	63.986,99	7.976,76
Camión 3	778	349,91	357,05	257,40	99,65	73.019,19	6.227,14
<b>Total</b>	<b>2630</b>	<b>1118,12</b>	<b>1140,94</b>	<b>870,54</b>	<b>270,4</b>	<b>199.895,98</b>	<b>20.206,94</b>

## 10.2.- Ruta recogida área de acera

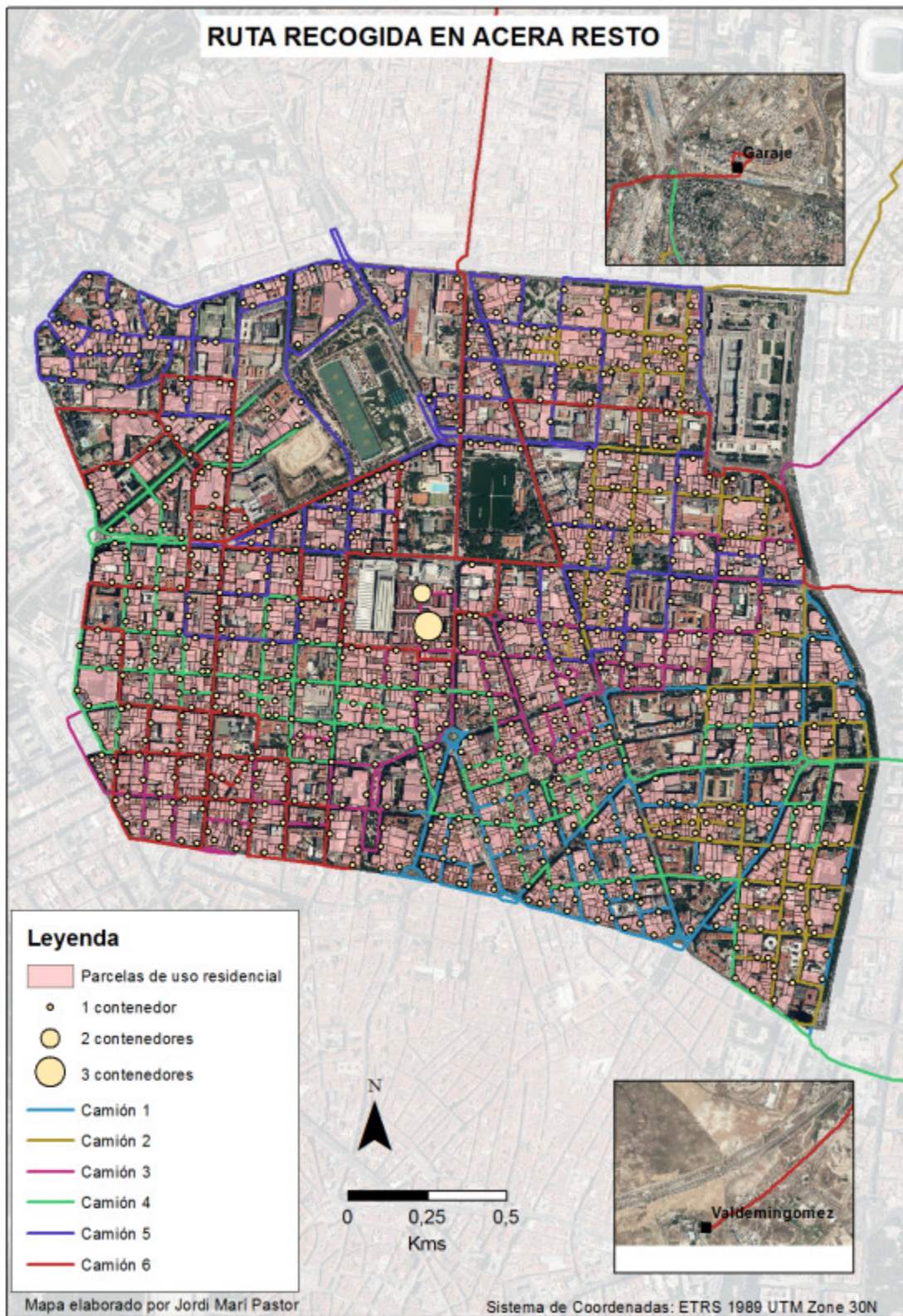


Figura 26.- Rutas de recogida de resto en sistema de acera cada día, con las cubicciones de los contenedores. Fuente: elaboración propia.



Figura 27.- Ruta camión 1, recogida sistema de acera. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 1	122	93,69	95,60	40,26	55,34	43.994,50	14.578,06



Figura 28.- Ruta camión 2, recogida sistema de acera. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 2	150	71,95	73,42	42,73	30,69	36.650,90	20.003,01

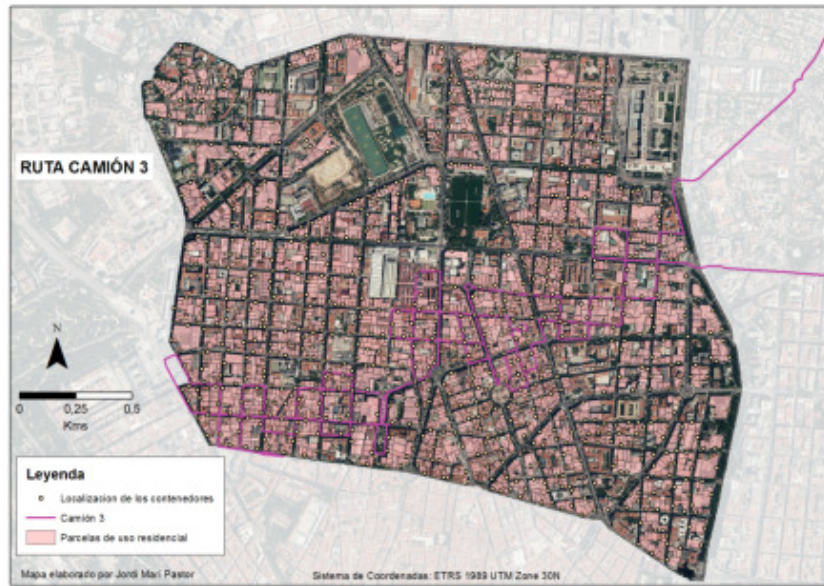


Figura 29.- Ruta camión 3, recogida sistema de acera. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 3	125	102,84	104,94	49,50	55,44	43.879,75	21.521,51

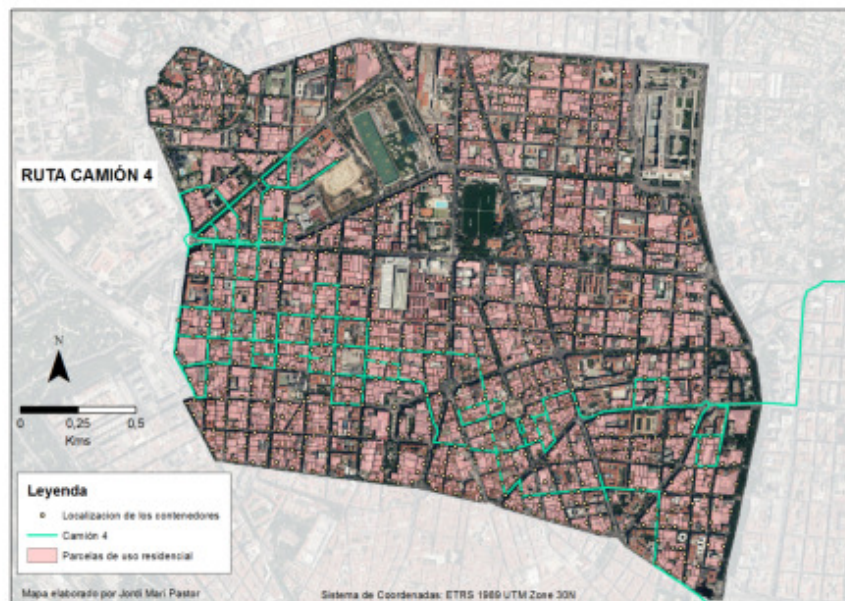


Figura 30.- Ruta camión 4, recogida sistema de acera. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 4	150	106,80	108,98	49,50	59,48	48.270,65	21.980,60

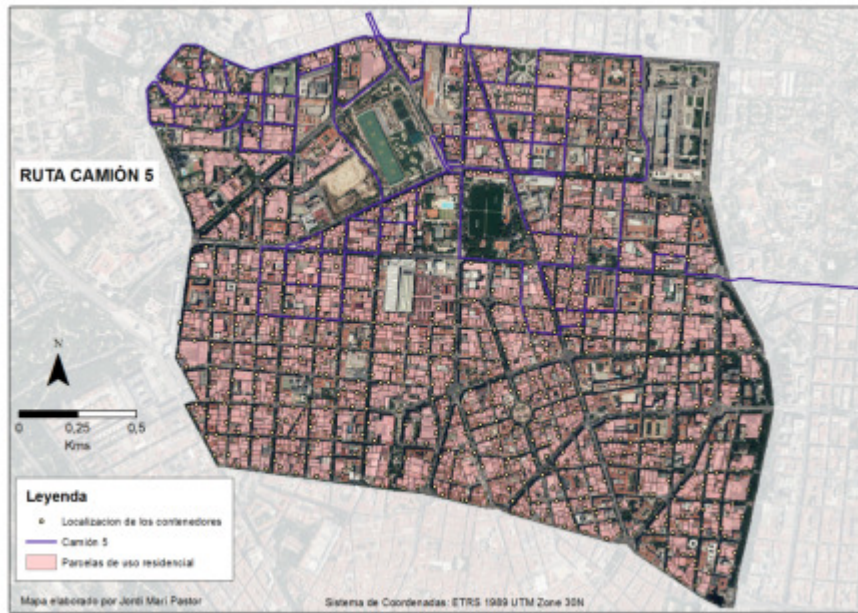


Figura 31.- Ruta camión 5, recogida sistema de acera. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 5	150	111,72	114,00	49,50	64,50	51.689,90	20.472,18



Figura 32.- Ruta camión 6, recogida sistema de acera. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 6	103	86,65	88,42	34,00	54,43	44.979,15	14.833,67

Tabla 15.- Tabla resumen de la recogida en sistema de acera para resto.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta (€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 1	122	93,69	95,60	40,26	55,34	43.994,50	14.578,06
Camión 2	150	71,95	73,42	42,73	30,69	36.650,90	20.003,01
Camión 3	125	102,84	104,94	49,50	55,44	43.879,75	21.521,51
Camión 4	150	106,80	108,98	49,50	59,48	48.270,65	21.980,60
Camión 5	150	111,72	114,00	49,50	64,50	51.689,90	20.472,18
Camión 6	103	86,65	88,42	34,00	54,43	44.979,15	14.833,67
<b>Total</b>	<b>800</b>	<b>573,65</b>	<b>585,36</b>	<b>265,49</b>	<b>319,88</b>	<b>269.464,85</b>	<b>113.389,03</b>

La diferencia de coste diario para la recogida de resto en sistema puerta a puerta que es el existente y el sistema en acera, es el siguiente:

Tabla 16.- Tabla resumen para la comparación entre los dos sistemas de recogida de resto.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
<b>Recogida Puerta a Puerta</b>	2.630	1.363,39	1.391,21	1.040,65	350,56	289.316,89	113.721,57
<b>Recogida en Acera</b>	800	573,65	585,36	265,49	319,88	269.464,85	113.389,03

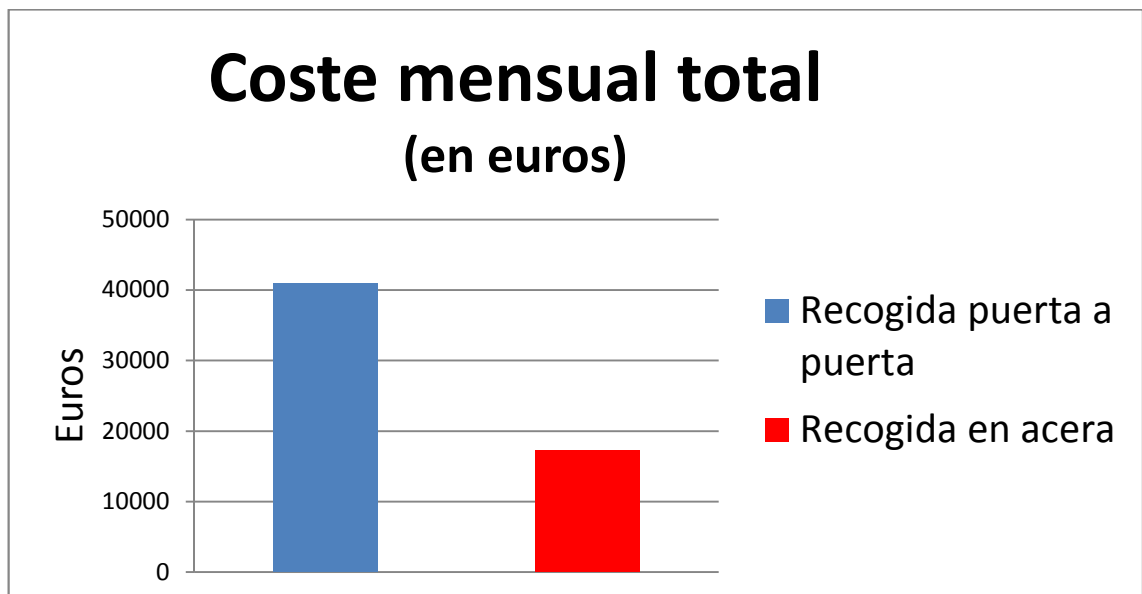


Figura 33.- Gráfico con la diferencia de coste mensual entre los dos sistemas, puerta a puerta y acera, para el material de resto.

### **10.3.- Ruta recogida área de aportación**

Con el fin de abaratar la gestión, los puntos de recogida se sitúan a distancias mayores. Las áreas pueden tener un radio de acción entre 100 y 400 metros, nosotros las generaremos a 250 metros. El sistema se apoya en la disposición del ciudadano a recorrer mayores distancias a pie. Se utiliza para la recogida selectiva de materiales de alto valor económico y que generan pequeñas cantidades, de forma que el ciudadano no tenga que desplazarse diariamente a esos puntos.

#### **10.3.1.- Área de aportación recogida de envases**

Para la recogida de envases, al tener un bajo coeficiente de kilos diarios por habitante, probamos para diferentes franjas de recogida, una sería para 7 días y otra para 28 días, para comparar, el problema es que no podemos dejar 28 días envases ya que siempre puede contener un poco de material orgánico y esto podría producir después de tantos días problemas de olores, plagas... aunque una solución si el coste fuese menor, sería invertir en los contenedores soterrados.

#### ***Recogida de envases semanal***

Para la recogida una vez a la semana, tenemos un total de 329 contenedores y un total de 58.892,06 kilos de envases, así que deberemos tener tres camiones puesto que a cada camión le caben 22.000 litros.

El contenedor con kilos máximos es 741 kilos y el de mínimo peso es de 52 kilos, así que le aplicamos contenedores de 500 litros. Para ello multiplicaremos la población de cada contenedor por el coeficiente de kilos de envases diarios (0,07470346), y el resultado diario, lo multiplicaremos por siete para ver los kilos semanales de cada contenedor.

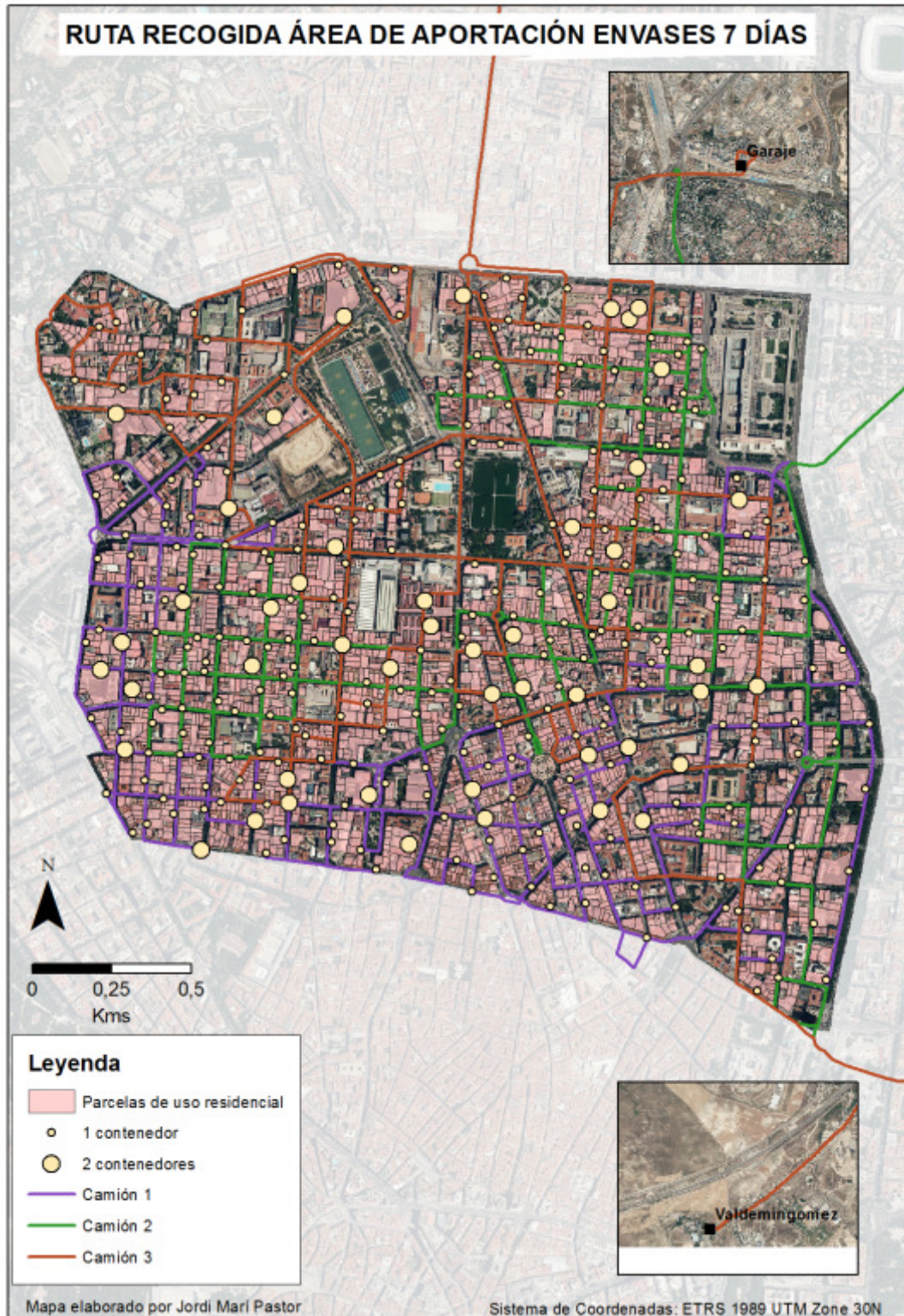


Figura 34.- Rutas de recogida de envases en sistema área de aportación cada semana, con las ubicaciones de los contenedores. Fuente: elaboración propia.

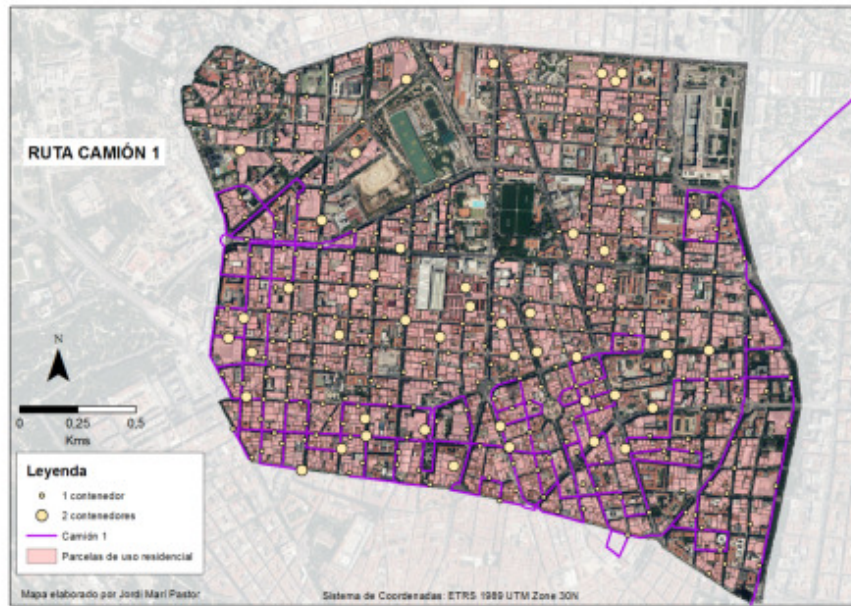


Figura 35.- Ruta camión 1, recogida sistema área de aportación. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 1	115	129,10	131,73	65	66,73	51.587,60	20.046,97



Figura 36.- Ruta camión 2, recogida sistema área de aportación. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 2	120	129,42	132,06	66	66,06	50.921,27	20.560,00

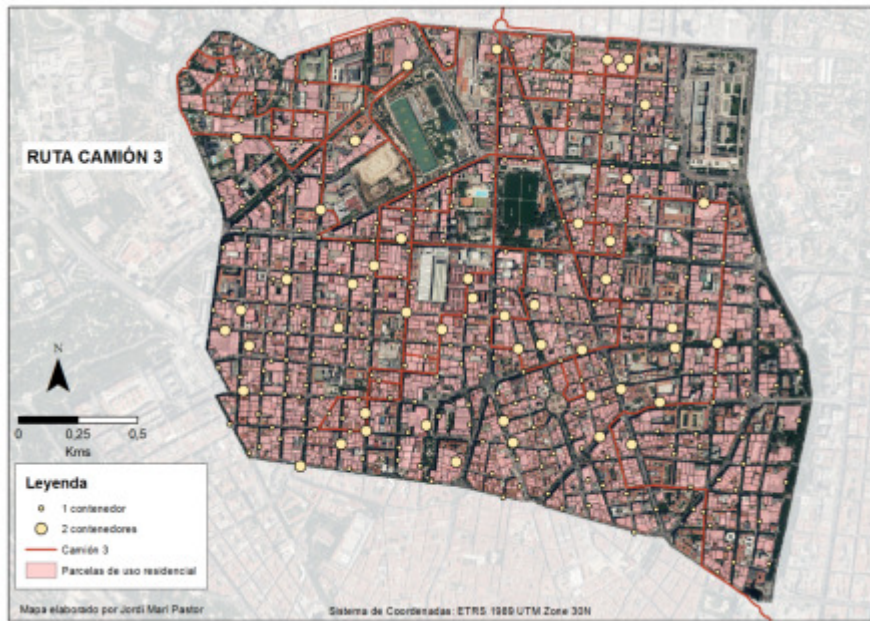


Figura 37.- Ruta camión 3, recogida sistema área de aportación. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 3	94	124,87	127,42	57,5	69,92	53.204,24	18.285,09

Resultados finales, para recogida semanal de envases en área de aportación:

Tabla 17.- Tabla resumen de la recogida en el sistema en área de aportación para envases.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta (€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 1	115	129,10	131,73	65	66,73	51.587,60	20.046,97
Camión 2	120	129,42	132,06	66	66,06	50.921,27	20.560,00
Camión 3	94	124,87	127,42	57,5	69,92	53.204,24	18.285,09
<b>Total</b>	<b>329</b>	<b>383,39</b>	<b>391,21</b>	<b>188,5</b>	<b>202,71</b>	<b>155.713,11</b>	<b>58.892,06</b>

### Recogida de envases mensual

Para la recogida una vez cada cuatro semanas, tenemos un total de 329 contenedores y un total de 235.568,23 kilos de envases, así que deberemos tener 11 camiones ya que cada camión le cabe 22.000 litros.

El contenedor con kilos máximos es 2.966,40 kilos y el de mínimo peso es de 210 kilos, así que le aplicamos contenedores de 1.500 litros, así que multiplicaremos la población de cada contenedor por el coeficiente de kilos de envases diarios

(0,07470346), y el resultado de diario, lo multiplicaremos por 28 para ver los kilos para cada cuatro semanas de cada contenedor.

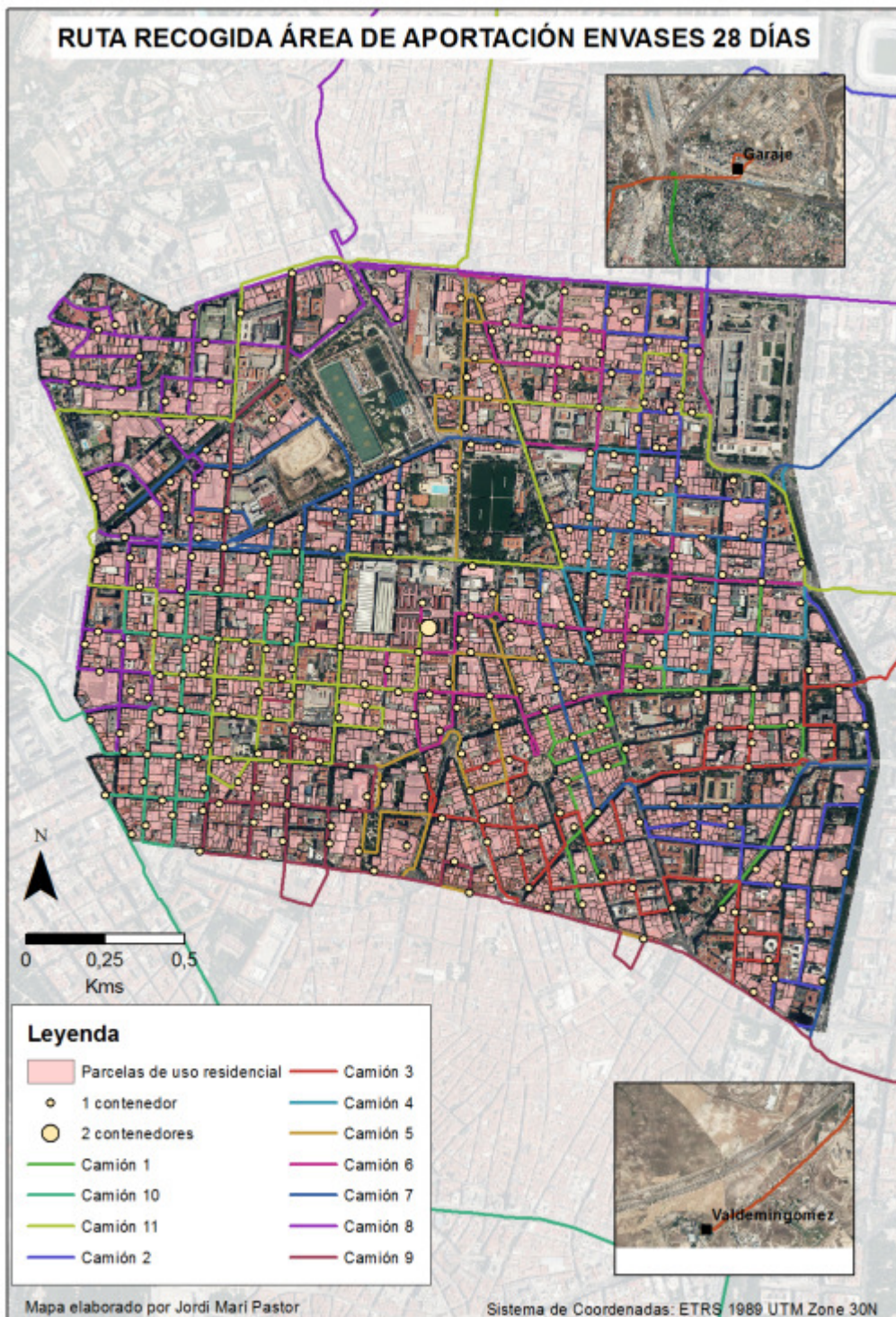


Figura 38.- Rutas de recogida de envases en sistema área de aportación cada cuatro semanas, con las ubicaciones de los contenedores. Fuente: Elaboración propia.

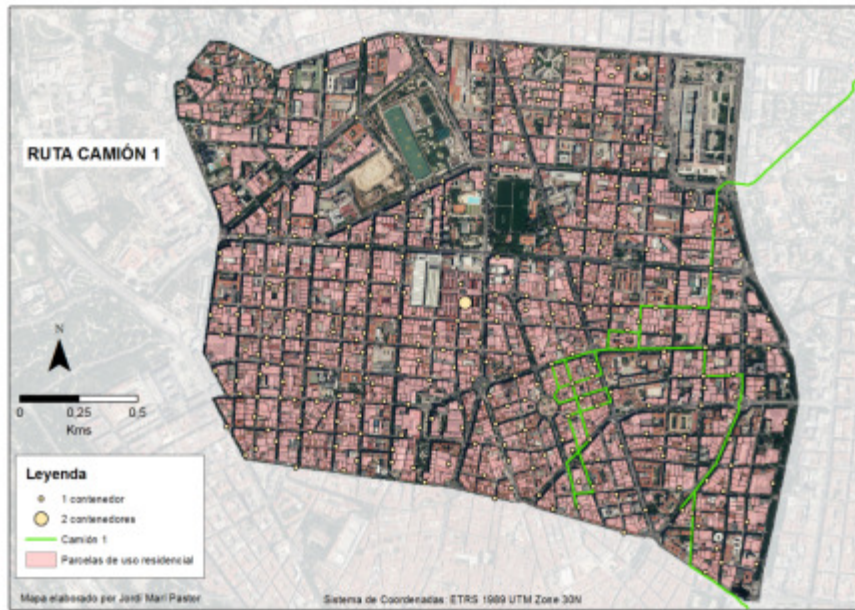


Figura 39.- Ruta camión 1, recogida sistema área de aportación, 28 días. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 1	28	65,21	66,54	28	38,54	32.789,93	21.178,39

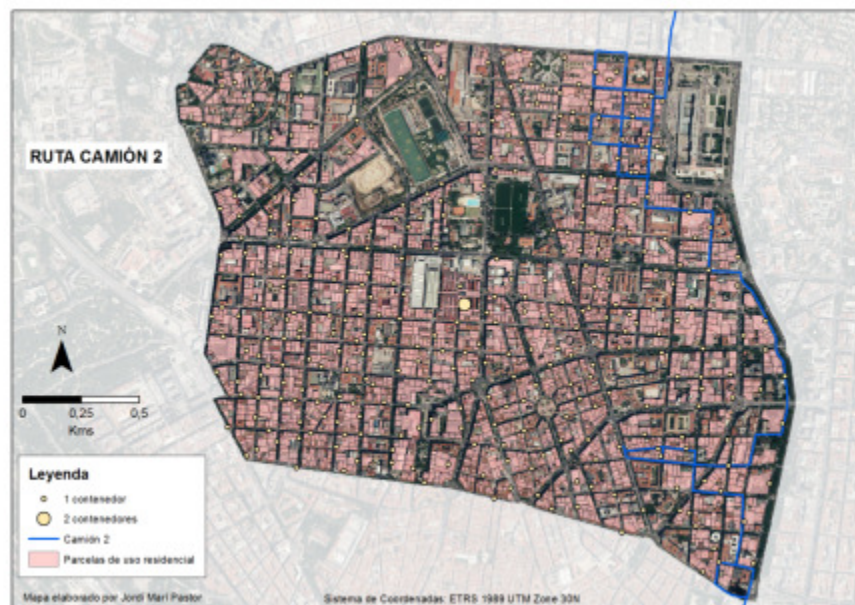


Figura 40.- Ruta camión 2, recogida sistema área de aportación, 28 días. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 2	26	64,98	66,30	26	40,30	33.989,15	17.928,22

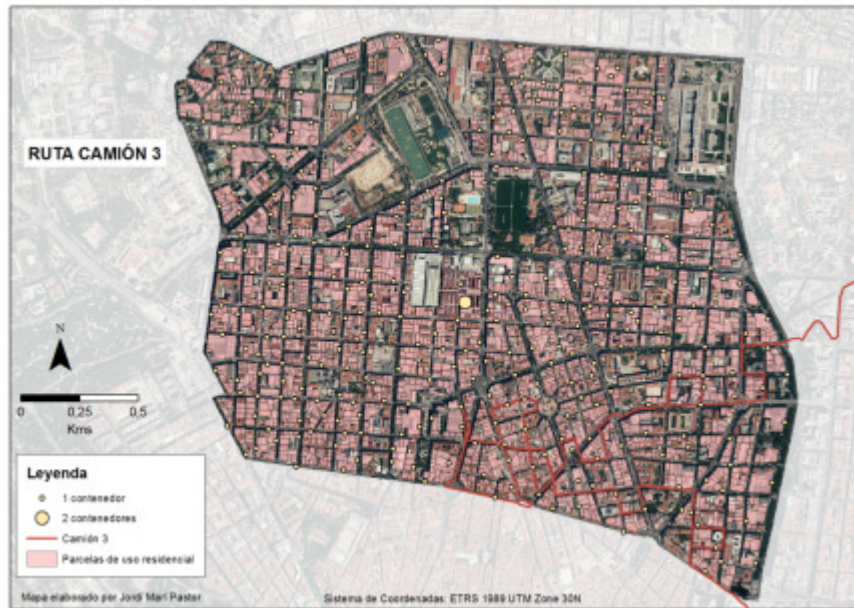


Figura 41.- Ruta camión 3, recogida sistema área de aportación, 28 días. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 3	30	69,05	70,46	30	40,46	35.802,04	21.713,48

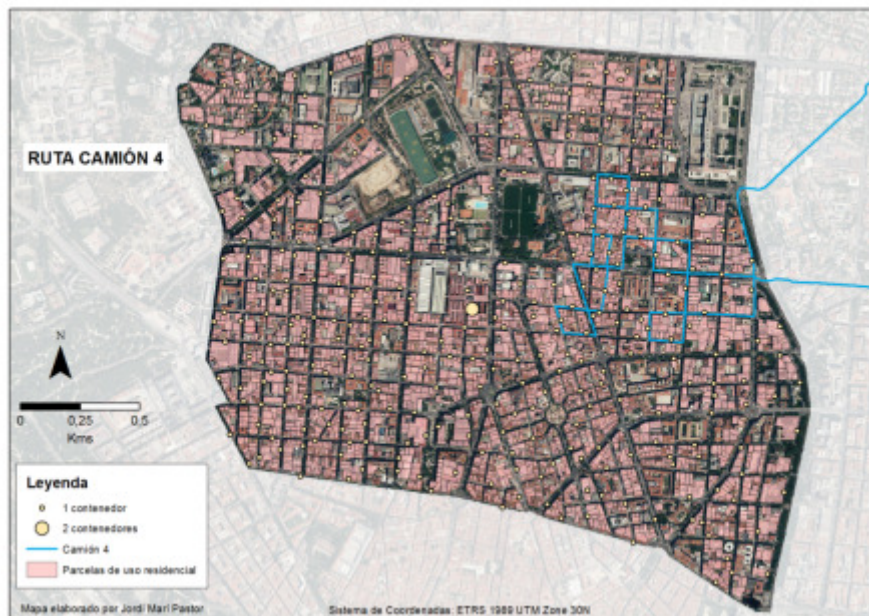


Figura 42.- Ruta camión 4, recogida sistema área de aportación, 28 días. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 4	30	68,26	69,65	30	39,65	35273,49	21482,76

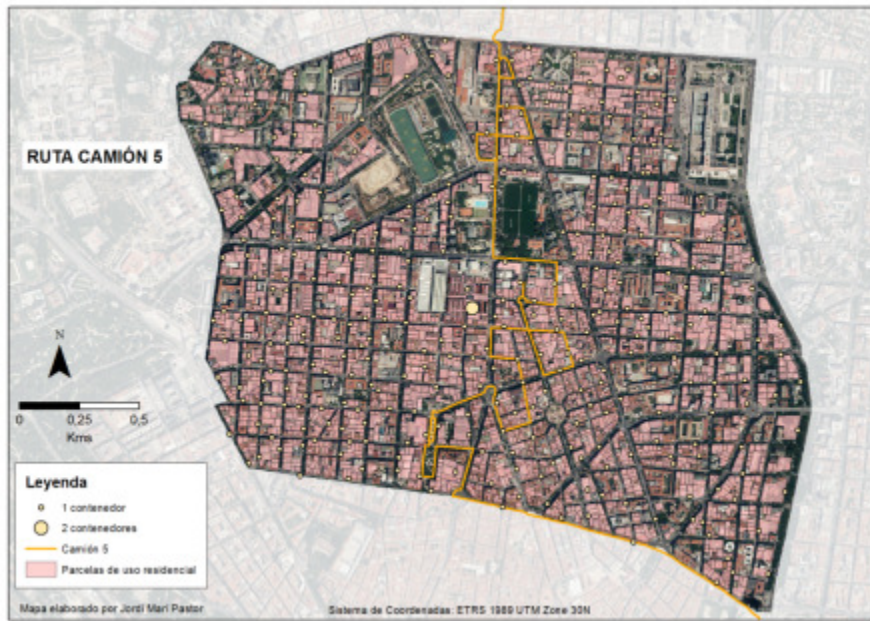


Figura 43.- Ruta camión 5, recogida sistema área de aportación, 28 días. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 5	27	66,07	67,42	27	40,42	33.897,20	21.707,97

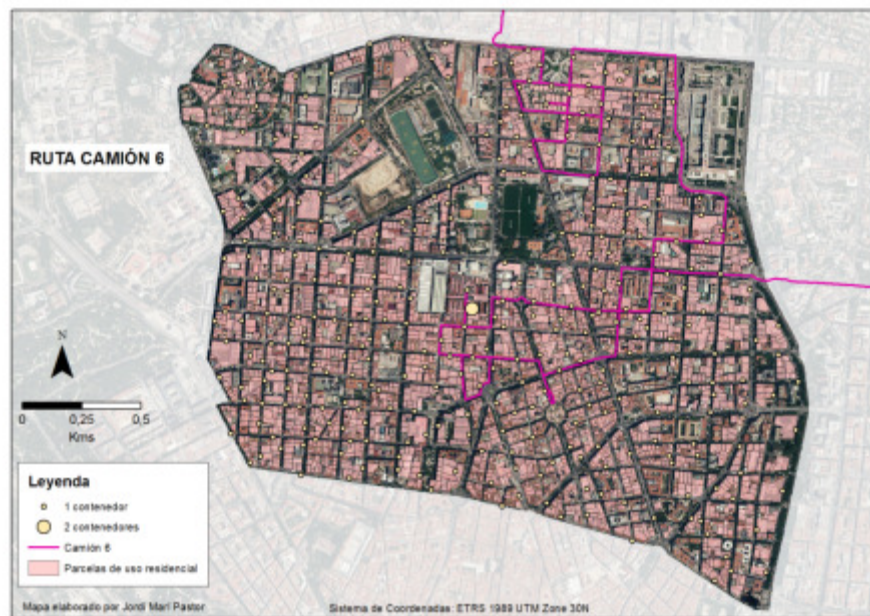


Figura 44.- Ruta camión 6, recogida sistema área de aportación, 28 días. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 6	32	75,22	76,75	32	44,75s	38.307,96	21.845,39

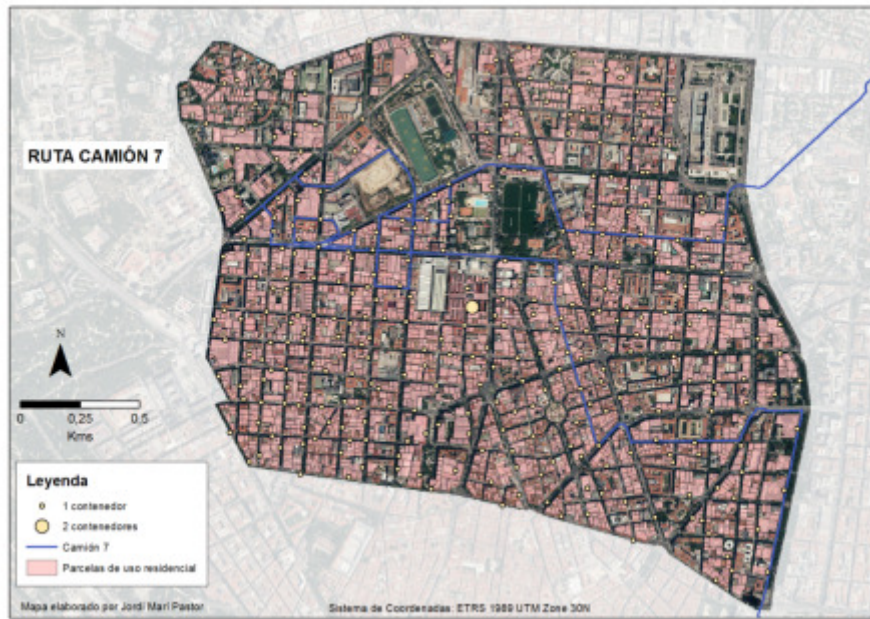


Figura 45.- Ruta camión 7, recogida sistema área de aportación, 28 días. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 7	32	74,31	75,83	32	43,83	36.317,63	21.980,58

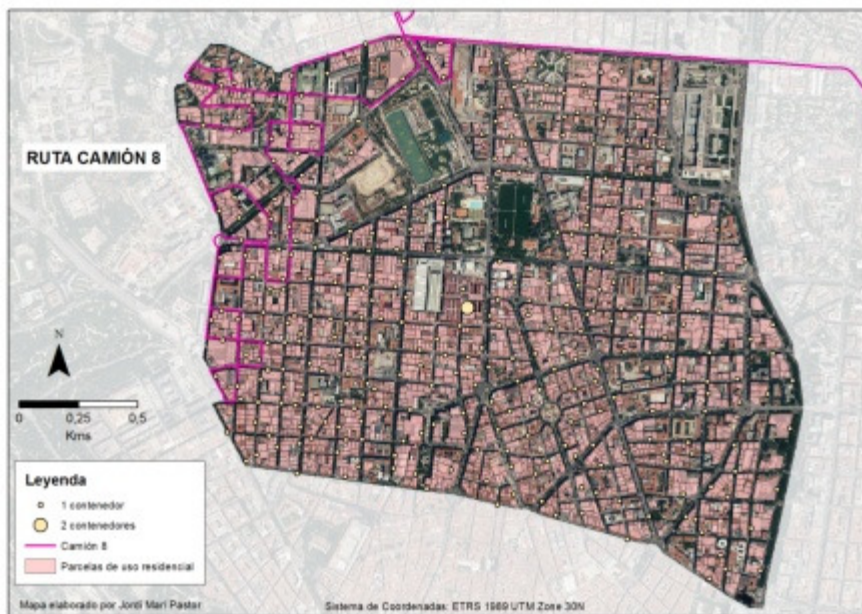


Figura 46.- Ruta camión 8, recogida sistema área de aportación, 28 días. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 8	36	81,76	83,42	36	47,42	40.307,39	21.955,15

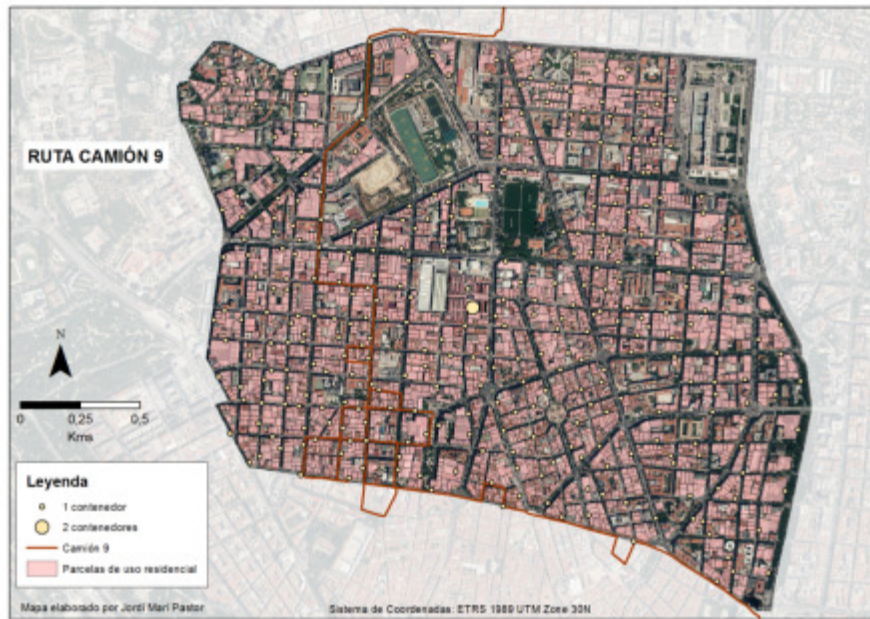


Figura 47.- Ruta camión 9, recogida sistema área de aportación, 28 días. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 9	30	70,43	71,86	30	47,42	40.307,39	21.965,30

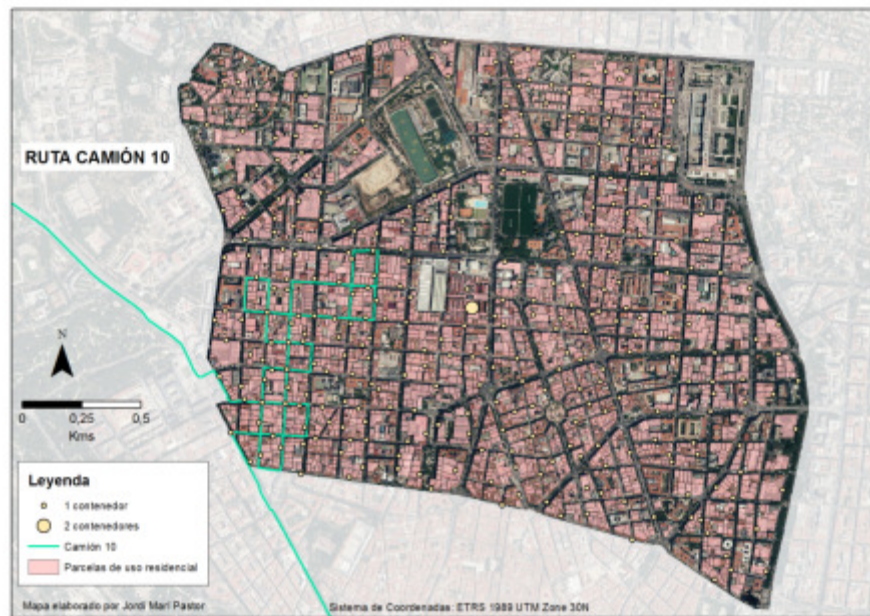


Figura 48.- Ruta camión 10, recogida sistema área de aportación, 28 días. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 10	30	71,91	73,38	30	43,38	40.871,23	21.963,99



Figura 49.- Ruta camión 11, recogida sistema área de aportación, 28 días. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 11	28	74,68	76,21	29	47,21	39.800,01	21.846,99

Resultados finales para área de aportación envases cada cuatro semanas:

Tabla 18.- Tabla resumen para la recogida en área de aportación mensual para envases.

Ruta	Número de contenedor es recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 1	28	65,21	66,54	28	38,54	32.789,93	21.178,39
Camión 2	26	64,98	66,30	26	40,30	33.989,15	17.928,22
Camión 3	30	69,05	70,46	30	40,46	35.802,04	21.713,48
Camión 4	30	68,26	69,65	30	39,65	35.273,49	21.482,76
Camión 5	27	66,07	67,42	27	40,42	33.897,20	21.707,97
Camión 6	32	75,22	76,75	32	44,75	38.307,96	21.845,39
Camión 7	32	74,31	75,83	32	43,83	36.317,63	21.980,58
Camión 8	36	81,76	83,42	36	47,42	40.307,39	21.955,15
Camión 9	30	70,43	71,86	30	47,42	40.307,39	21.965,30
Camión 10	30	71,91	73,38	30	43,38	40.871,23	21.963,99
Camión 11	28	74,68	76,21	29	47,21	39.800,01	21.846,99
<b>Total</b>	<b>329</b>	<b>781,88</b>	<b>797,82</b>	<b>330</b>	<b>473,38</b>	<b>407.663,42</b>	<b>235.568,22</b>

Tabla 19.- Tabla resumen de la diferencia de coste entre recoger los envases en área de aportación, a los 7 días o 28 días.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Semanal	329	383,39	391,21	188,5	202,71	155.713,11	58.892,06
Mensual	329	781,88	797,82	330	473,38	407.663,42	235.568,22

Tabla 20.- Tabla comparativa entre sistema puerta a puerta y área de aportación

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
<b>Sistema puerta a puerta</b>	2.630	3.913,42	3.993,29	3.046,89	946,4	699.635,93	70.724,29
<b>Sistema en área de aportación</b>	329	383,39	391,21	188,5	202,71	155.713,11	58.892,06

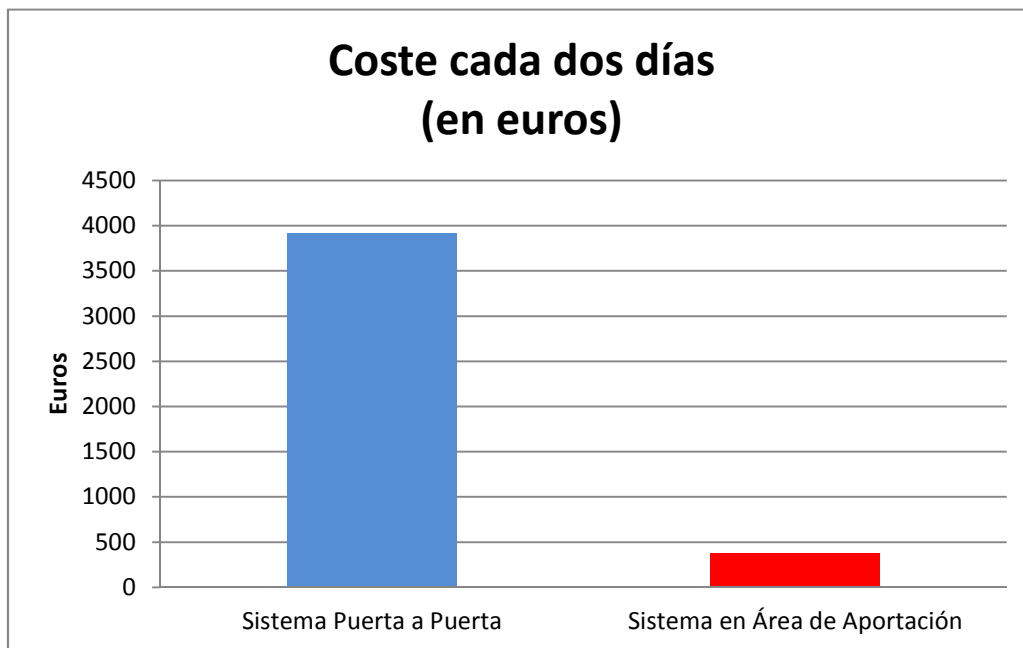


Figura 50.- Gráfico comparativo entre los dos sistemas empleados para recogida de envases.

### 10.3.2.- Área de aportación recogida de vidrio

Para la recogida de vidrio, también tenemos un total de 329 contenedores, sabemos que producen 3.581,34 kg diarios por habitante, como no es un volumen excesivo vamos a establecer la hipótesis de que se recoja una vez a la semana, quedando un total de 25.069,35 kg semanales de vidrio por habitante, vamos a realizar la recogida cada dos semanas, quedando un total de 50.138,71, así que deberemos tener tres camiones, ya que a cada camión, como hemos señalado anteriormente, le caben 22.000 litros.

El contenedor con peso máximo es 631,38 kilos y el de mínimo peso es de 44,70 kilos, así que pondremos contenedores de 500 litros.

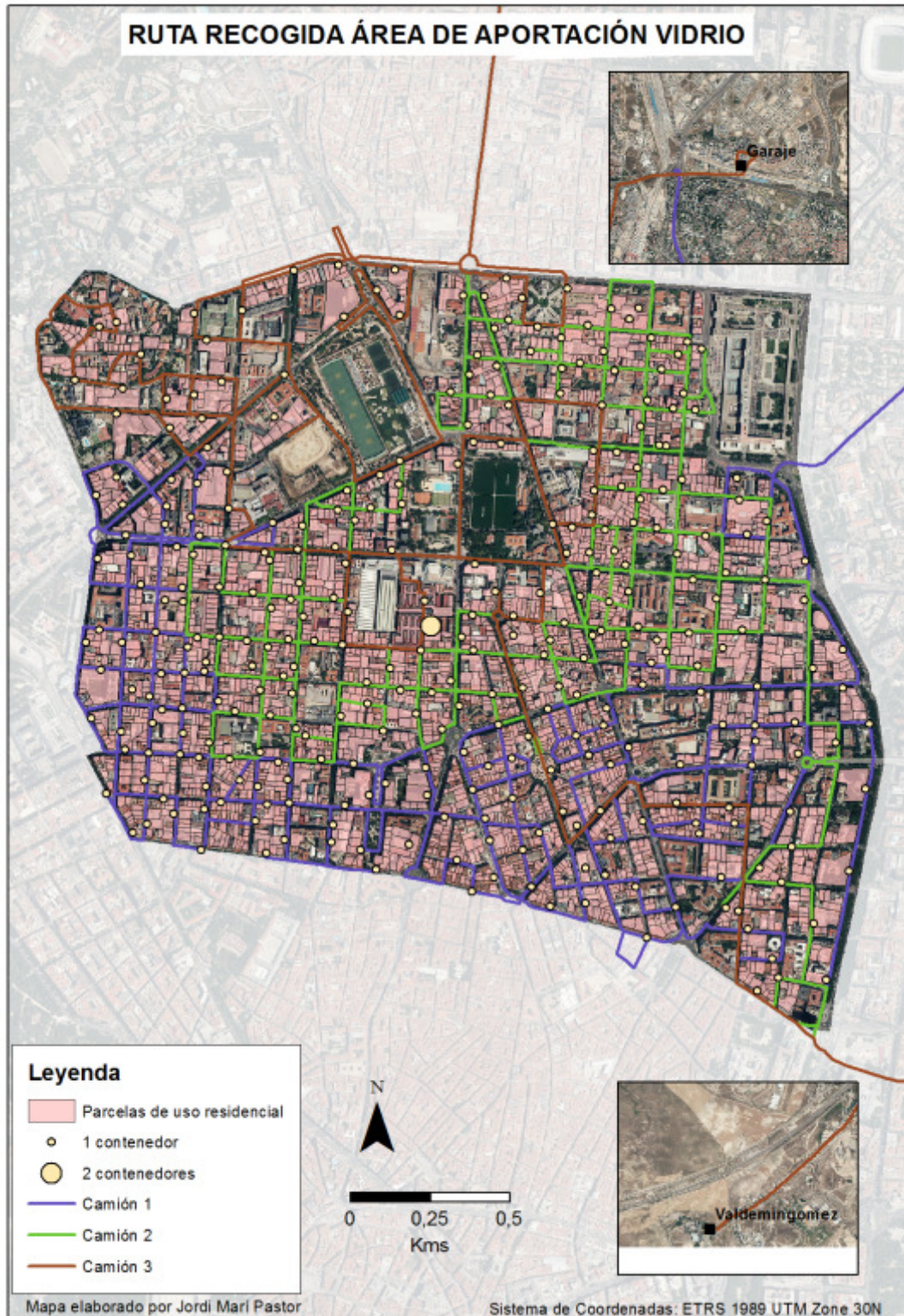


Figura 51.- Rutas de recogida de vidrio en sistema área de aportación cada dos semana, con las ubicaciones de los contenedores. Fuente: elaboración propia.

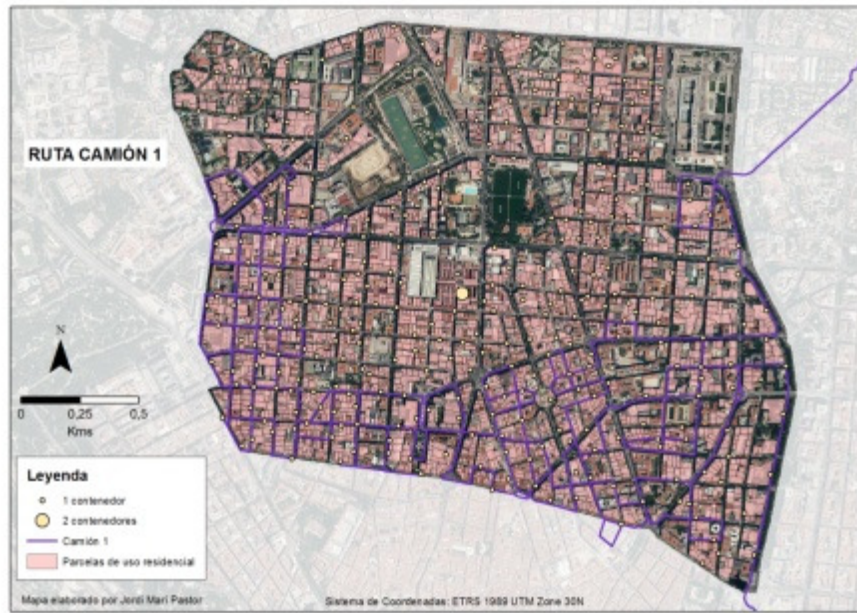


Figura 52.- Ruta camión 1, recogida sistema área de aportación, cada dos semanas. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 1	129	134,49	137,23	64,5	72,73	39.800,01	19.492,27



Figura 53.- Ruta camión 2, recogida sistema área de aportación, cada dos semanas. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 2	143	142,30	145,20	71,5	73,70	55.865,26	21.630,30

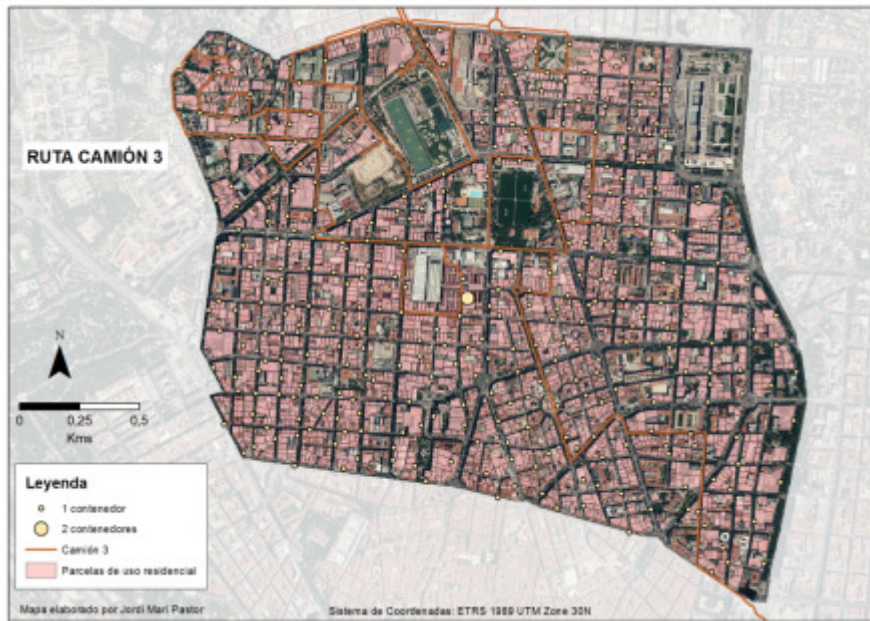


Figura 54.- Ruta camión 3, recogida sistema área de aportación, cada dos semanas. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 3	57	83,78	85,49	29	56,49	44.252,42	9.016,14

Resultados totales de la recogida de vidrio cada dos semanas:

Tabla 21.- Tabla resumen de la recogida en área de aportación para vidrio, cada dos semanas.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 1	129	134,4	137,23	64,5	72,73	39.800,01	19.492,27
Camión 2	143	142,30	145,20	71,5	73,70	55.865,26	21.630,30
Camión 3	57	83,78	85,49	29	56,49	44.252,42	9.016,14
<b>Total</b>	<b>329</b>	<b>360,57</b>	<b>367,92</b>	<b>165</b>	<b>202,92</b>	<b>139.917,69</b>	<b>50.138,71</b>

El camión 3 podríamos poner un camión más pequeño, para menor coste, ya que el volumen de esa ruta son 9.016, 14 de los 22.000 litros que le cabe al camión.

### 10.3.3.- Área de aportación recogida de papel

Para la recogida de papel, también tenemos un total de 329 contenedores, sabemos que producen 11.311,61 kg diarios por habitante, como no es mucho vamos a probar a que se recoja una vez a la semana, quedando un total de 79.181,31 kg

semanales de papel por habitante, así que deberemos tener 4 camiones ya que cada camión le cabe 22.000 litros.

Pondremos contenedores de 500 litros, ya que el peso máximo entre los contenedores es 997,09 kilos y el mínimo es 70,59 kilos.

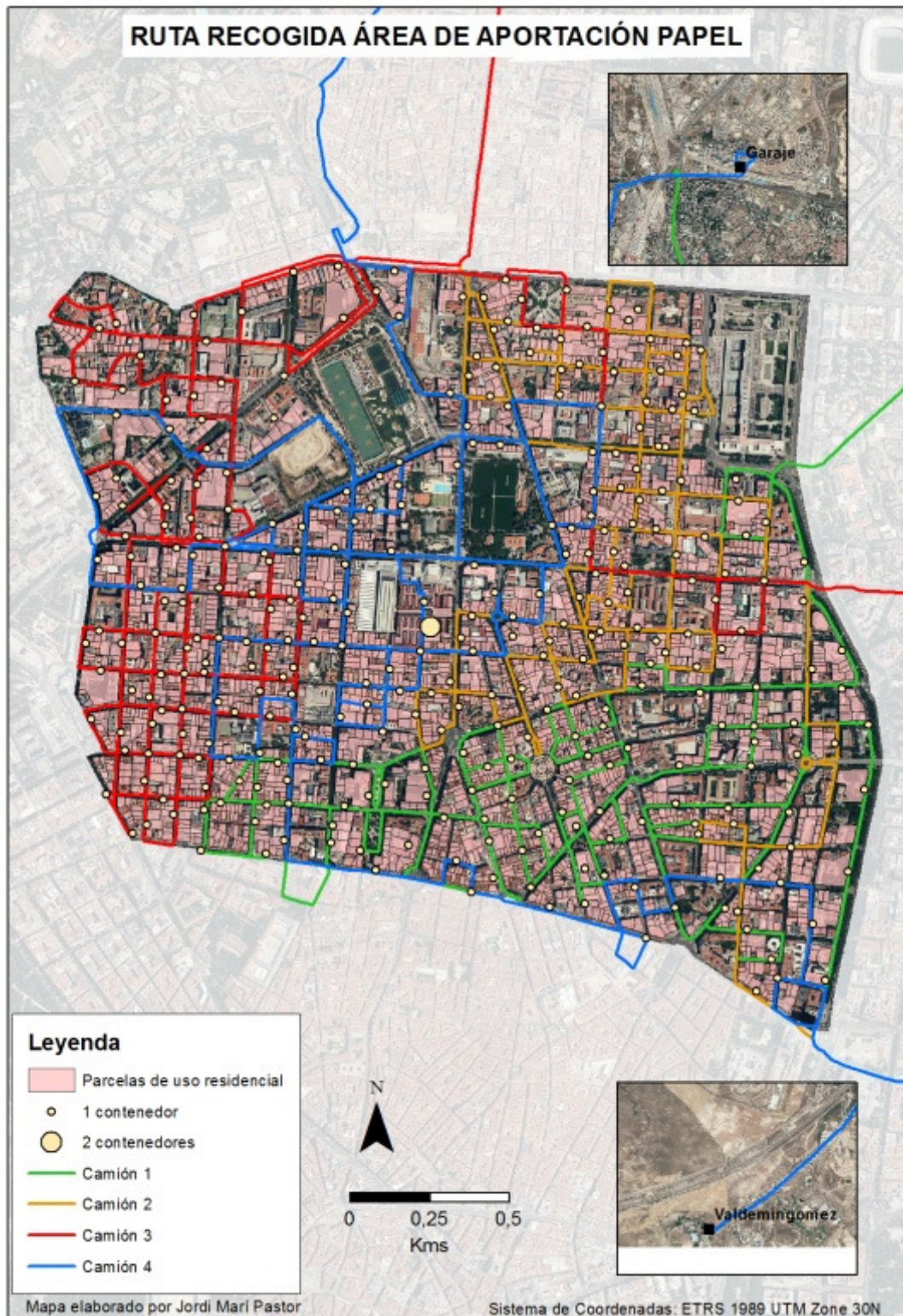


Figura 55.- Rutas de recogida de papel en sistema área de aportación cada semana, con las cubicaciones de los contenedores. Fuente: elaboración propia.

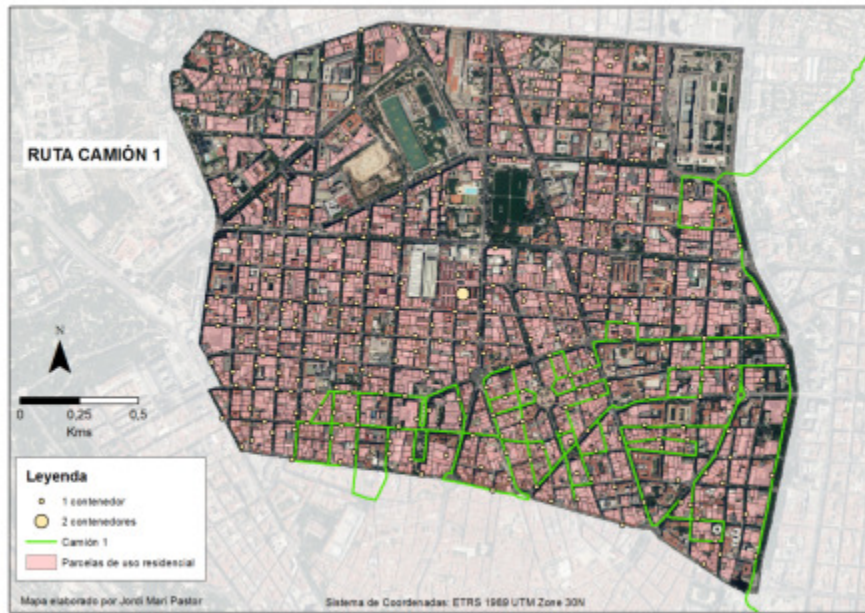


Figura 56.- Ruta camión 1, recogida papel sistema área de aportación. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 1	80	82,15	83,83	26,40	57,43	45.385,61	19.498,73

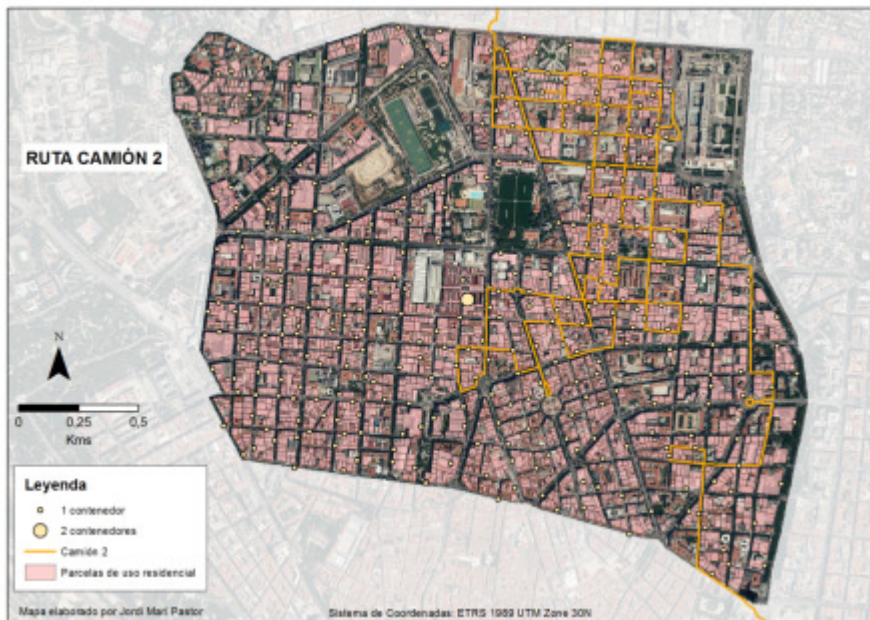


Figura 57.- Ruta camión 2, recogida papel sistema área de aportación. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 2	83	82,68	84,36	27,39	56,97	44.714,08	19.707,36

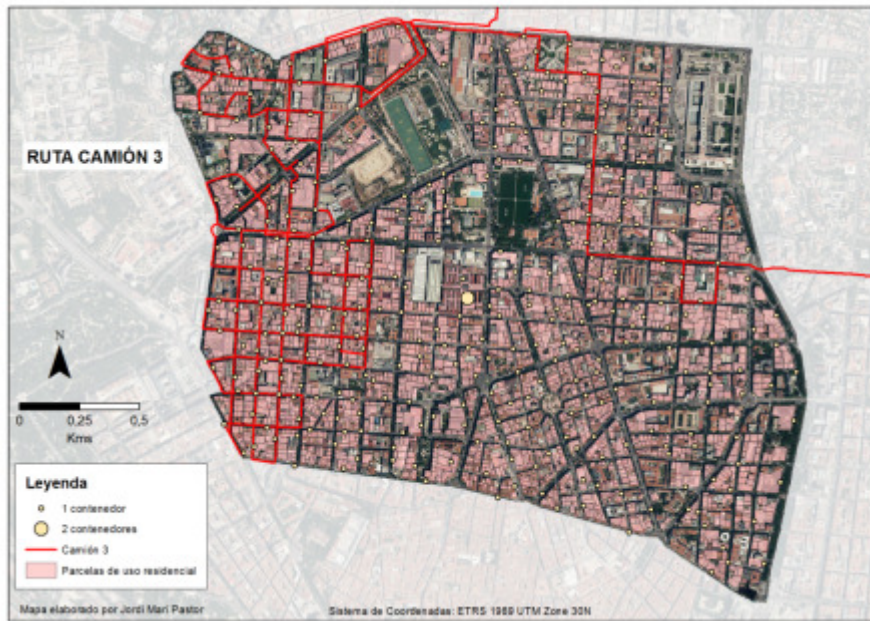


Figura 58.- Ruta camión 3, recogida papel sistema área de aportación. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 3	95	91,95	93,83	31,35	62,48	50.239,00	21792,13

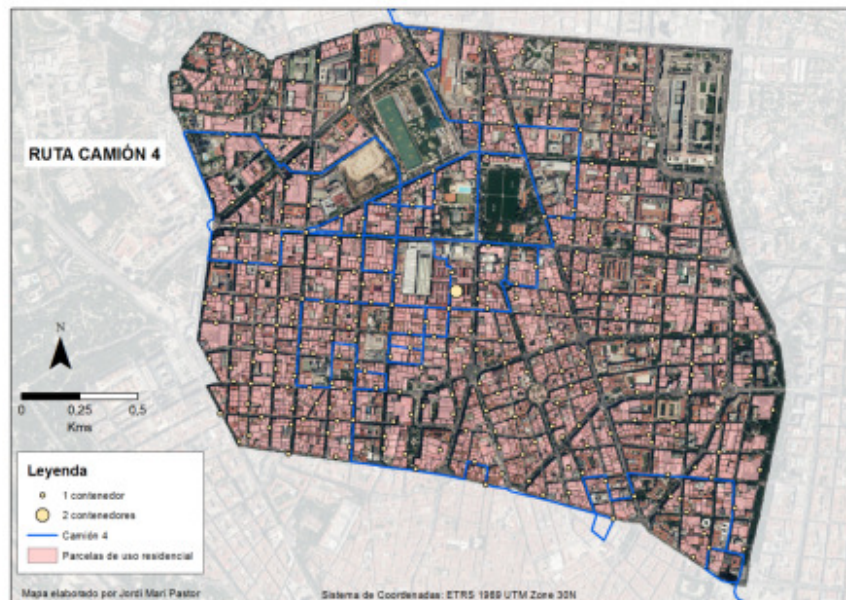


Figura 59.- Ruta camión 4, recogida papel sistema área de aportación. Fuente: elaboración propia.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta(€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 4	71	82,05	83,72	23,76	59,96	46.461,50	18.183,10

Resultados totales de recogida de papel cada 7 días:

Tabla 22.- Tabla resumen para la recogida en área de aportación para papel semanal.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta (€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Camión 1	80	82,15	83,83	26,40	57,43	45.385,61	19.498,73
Camión 2	83	82,68	84,36	27,39	56,97	44.714,08	19.707,36
Camión 3	95	91,95	93,83	31,35	62,48	50.239,00	21.792,13
Camión 4	71	82,05	83,72	23,76	59,96	46.461,50	18.183,10
<b>Total</b>	<b>329</b>	<b>338,83</b>	<b>345,74</b>	<b>108,9</b>	<b>236,84</b>	<b>186.800,19</b>	<b>79.181,32</b>

Tabla 23.- Tabla final de con los sistemas de menor coste.

	Sistema Puerta a Puerta	Sistema en Acera	Sistema en Área de Aportación
Resto		X	
Envases			X
Papel-Cartón			X
Vidrio			X

Finalmente nos quedaríamos con los siguientes sistemas:

- Para resto: sistema en acera, recogida diaria.
- Para envases: sistema en área de aportación, recogida semanal.
- Para papel- cartón: sistema en área de aportación, recogida semanal.
- Para vidrio: sistema en área de aportación, recogida quincenalmente.

Tabla 24.- Tabla resumen de los sistemas de menor coste, resultados de un mes de recogida.

Ruta	Número de contenedores recogidos	Coste total ruta (€)	Tiempo de ruta (minutos)	Tiempo en cada ubicación (minutos)	Tiempo sin parar (minutos)	Distancia total (metros)	Volumen total (litros)
Resto	24.800	17.783,15	18.146,16	8.230,19	9.916,28	8.353.410,35	3.515.059,93
Envases	1.316	1.533,56	1.564,84	754	810,84	622.852,44	235.568,24
Papel-Cartón	1.316	1.355,32	1.382,96	435,6	947,36	747.200,76	316.725,28
Vidrio	658	721,14	735,84	330	405,84	279.835,38	100.277,42
<b>Total</b>	<b>28.090</b>	<b>21.393,17</b>	<b>21.829,8</b>	<b>9.749,79</b>	<b>12.080,32</b>	<b>10.003.298,9</b>	<b>4.167.630,87</b>

## 11.- CONCLUSIONES

El objetivo principal de este trabajo ha sido desarrollar varios modelos para localizar, ubicar y recoger de forma óptima los residuos urbanos con la finalidad de valorar las ventajas e inconvenientes de los distintos sistemas de recogida de los mismos, llegando a la conclusión de que no hay una solución única, sino que en función de los condicionantes que establezcamos en cada caso, habrá un modelo más apropiado para cada uno de ellos.

Para la recogida de restos utilizaremos el sistema en acera, puesto que como hemos visto el coste es menor que en el sistema de recogida puerta a puerta. Una de las principales causas de que el coste en sistema de acera sea menor que el sistema puerta a puerta es el número de contenedores, como hemos visto el mayor tiempo se pasa recogiendo contenedores, y esto es lo que nos incrementa el coste entre los dos sistemas. En cambio, el resto sería imposible ponerlo en áreas de aportación, puesto que como la cantidad de residuos producida diariamente es elevada, es incómodo para la población que se desplace largas distancias para depositar este residuo, por otro lado las cantidades producidas de envases, papel y vidrio al no ser tan elevadas, nos permiten ver que la solución óptima es poner contenedores más distanciados al no tener que ir diariamente, y esto nos lleva a abaratar el coste al poner menos contenedores. Como estos contenedores no se llegan a llenar resulta oportuno realizar las recogidas semanalmente o quincenalmente, otro elemento que nos reduce el precio de las recogidas de RSU.

Se ha demostrado que los sistemas de información geográfica son muy útiles para trabajar con redes, como se ha visto en este trabajo.

Ninguno de los artículos manejados presenta una cartografía que demuestre sus conclusiones metodológicas respecto a las rutas. Los SIG permiten crear diferentes modelos modificando con facilidad las impedancias o costes en tiempo, distancia.... La creación de rutas variando los atributos resulta de gran utilidad para valorar los costes.

Cuando en todos los organismos que suministran geodatos se emplee la referenciación espacial vigente en toda la UE (ETRS89), este tipo de estudios resultarán menos costosos.

Cabría ampliar este estudio, únicamente centrado en la gestión de residuos sólidos urbanos de áreas residenciales, a otras zonas (uso no residencial, como zonas comerciales, oficinas...) o a otros desechos, como los orgánicos, y así en función de su uso o tipo de desecho arrojará sin duda otras cifras, empleando la metodología y los modelos aquí utilizados, ya que partiríamos de otros datos.

Otra posibilidad para estudios futuros es crear una aplicación Web con las herramientas SIG empleadas para ayudar a la empresa de recogida a revisar y/o modificar las rutas diariamente, por obras en vías, calles cortadas, cambios de contenedores....

## 12.- BIBLIOGRAFÍA

- ✓ ARÉVALO, R., MARTÍNEZ, J. (2011). *Sistema de información geográfica (SIG) para la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) del municipio del Prat de Llobregat.*
- ✓ AYUNTAMIENTO DE MADRID. (2011). *Memoria de actividades año 2011. Servicios de la dirección general de gestión ambiental urbana.*
- ✓ AYUNTAMIENTO DE MADRID. *Limpieza urbana y gestión de residuos en la ciudad de Madrid.* Folleto de divulgación.
- ✓ BAZZANI, G.M. (1998). *Integrated solid waste management: a multicriteria approach.*
- ✓ BOSQUE, J., MORENO, A., FUENZALIDA, M., GOMEZ, M. (2012). *Sistemas de Información Geográfica y Localización óptima de instalaciones y equipamientos.* RAMA Editorial.
- ✓ BOVEA, M.D, POWELL, J.C. (2004). *Alternative scenarios to meet the demands of sustainable waste management.*
- ✓ COMUNIDAD DE MADRID (2003). *Ley 5/2003, de 20 de marzo, de Residuos de la Comunidad de Madrid.*
- ✓ COMUNIDAD DE MADRID. *Estrategia de residuos urbanos de la Comunidad de Madrid (2006-2016).*
- ✓ DEL VAL, A. (1996). *Tratamiento de los residuos sólidos urbanos.*
- ✓ ECOEMBES. (2008) *Estudio de la contenerización de la recogida selectiva de envases ligeros, papel-cartón y vidrio en la Comunidad autónoma de Madrid.*
- ✓ ECOEMBES. (2008). *Recomendaciones para el diseño de un servicio de recogida selectiva monomaterial de papel y cartón en contenedor.*
- ✓ GALLARDO, A., BERNARD, D., BOVEA, M.D., COLOMER, F.J., CARLOS, M. (2010). *Diseño de una herramienta SIG para la recogida selectiva de residuos urbanos. Aplicación a Castellón de la Plana.*
- ✓ GALLARDO, A., BOVEA, M.D., COLOMER, F.J., CARLOS, M., PRADES, M. (2008). *Estudio de los diferentes modelos de recogida selectiva de residuos urbanos implantados en poblaciones españolas mayores de 50.000 habitantes.*
- ✓ GALLARDO, A., BOVEA, M.D., COLOMER, F.J., CARLOS, M., PRADES, M. (2009). *Evolución de la recogida selectiva de residuos urbanos en las ciudades españolas en los últimos diez años.*
- ✓ GALLARDO, A., BOVEA, M.D., COLOMER, F.J., CARLOS, M., PRADES, M. (2009). *Comparison of different collection system for sorted household waste in Spain.*

- ✓ GIL, J.J. (2007). *La búsqueda de la sostenibilidad en la gestión de los residuos urbanos: la experiencia de la Rioja.*
- ✓ GOICOECHEA, M., GOICOECHEA, M.I. (2006). *Sistemas de información geográfica aplicados a residuos sólidos urbanos.*
- ✓ JIMÉNEZ, J.F. (1996). *Recogida selectiva de residuos en Ciudad de los Periodistas, Mirasierra y Barrio del Pilar, Madrid.*
- ✓ MAGRIÑÁ, A., ROBUSTÉ, F. (2000). *Optimización de rutas de vehículos de basura mediante recocido simulado.*
- ✓ MORRISSEY, A.J., BROWNE, J. (2003). *Waste management models and their application to sustainable waste management.*
- ✓ ROJAS, L.D., GALLARDO, A. PIÑERO, A. (2011). *La distancia del domicilio al contenedor como un factor influyente en la frecuencia de separación de residuos urbanos.*

## 13.- TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1.- Cálculo estadístico realizado en la capa que contiene todos los datos que necesitamos del distrito por secciones censales (Capa FIN).....	16
Tabla 2.- Tabla con cantidades de envase, resto, vidrio y papel-cartón por habitantes en años y días. Estos materiales serán los materiales de estudio para la localización y recogida de RSU. Fuente: Ayuntamiento de Madrid.....	19
Tabla 3.- Esta sería la información a introducir para la capa de entrada de instalaciones para emplear la herramienta <i>location-allocation</i> . ....	27
Tabla 4.- Esta sería la información a introducir para la capa de demanda para emplear la herramienta <i>location-allocation</i> . ....	27
Tabla 5.- Cantidad de personas que acceden a los contenedores a diferentes franjas de distancia. ....	29
Tabla 6.- Cantidad de personas que acceden a los contenedores a diferentes franjas de distancia. ....	31
Tabla 7.- Distancia del domicilio al contenedor como un factor influyente en la separación de residuos urbanos. Fuente: Artículo anterior, Luz Dayanna Rojas Castillo, Antonio Gallardo Izquierdo, Alberto Piñero Guilmany, (2011). ....	33
Tabla 8.- Resultados del acceso a los contenedores en el área de aportación. Fuente: Elaboración propia. ....	38
Tabla 9.- Atributos y descripción que lleva la capa de ruta del <i>New VehicleRoutingProblem</i> ....	39
Tabla 10.- Atributos que contiene la capa de Orders y su descripción.....	40
Tabla 11.- Atributos que contiene la capa de Depots y su descripción. ....	41
Tabla 12.- Atributos que contiene los ítems dentro de la capa de Rutas y su descripción. ....	41
Tabla 13.- Tabla resumen de la recogida puerta a puerta para resto.....	47
Tabla 14.- Tabla resumen de la recogida puerta a puerta para envases. ....	47
Tabla 15.- Tabla resumen de la recogida en sistema de acera para resto.....	52
Tabla 16.- Tabla resumen para la comparación entre los dos sistemas de recogida de resto. ..	52
Tabla 17.- Tabla resumen de la recogida en el sistema en área de aportación para envases....	56
Tabla 18.- Tabla resumen para la recogida en área de aportación mensual para envases. ....	63
Tabla 19.- Tabla resumen de la diferencia de coste entre recoger los envases en área de aportación, a los 7 días o 28 días. ....	63
Tabla 20.- Tabla comparativa entre sistema puerta a puerta y área de aportación .....	64
Tabla 21.- Tabla resumen de la recogida en área de aportación para vidrio, cada dos semanas. ....	67
Tabla 22.- Tabla resumen para la recogida en área de aportación para papel semanal. ....	72
Tabla 23.- Tabla final de con los sistemas de menor coste.....	72
Tabla 24.- Tabla resumen de los sistemas de menor coste, resultados de un mes de recogida.	72
Figura 1.- Localización del distrito de Chamberí en el municipio de Madrid. Fuente: Elaboración propia, datos CartoCiudad. ....	3

Figura 2.- Modelo de flujo de la metodología utilizada en el estudio. ....	9
Figura 3.- Modelo de flujo para la zona de estudio con toda su información. ....	13
Figura 4.- Códigos de secciones censales del distrito de Chamberí. Fuente: Elaboración propia .....	14
Figura 5.- Edificios del distrito de Chamberí sobre la imagen del PNOA. Fuente: Elaboración propia .....	15
Figura 6.- Modelo de flujo para repartir a la población por portales y/o superficies de uso residencial. ....	17
Figura 7.- Población estimada por edificios en función de la superficie del mismo. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del INE, catastro.....	18
Figura 8.- Contenedores de resto estimados por edificios en función del coeficiente de kilos de residuos urbanos por habitantes. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Ayuntamiento de Madrid.....	25
Figura 9.- Contenedores de envase estimados por edificios en función del coeficiente de kilos de residuos urbanos por habitantes. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Ayuntamiento de Madrid.....	26
Figura 10.- Localización de los contenedores de resto, en sistema de recogida en acera, como puntos candidatos los centroides de las calles. Fuente: elaboración propia. ....	29
Figura 11.- Localización de los contenedores de resto, en sistema de recogida en acera, como puntos candidatos los centroides de las calles, portales y los nodos de la red. Fuente: elaboración propia. ....	30
Figura 12.- Gráfico que nos ayuda a entender la población que abarca cada modelo y a cuanta distancia. ....	31
Figura 13.- Este es el ejemplo de la playa de Gandía, con la materia orgánica. ....	32
Figura 14.- Ejemplo de sistema de área de aportación.....	33
Figura 15.- Distancia de los contenedores a los portales con los diferentes modos de recogida. Fuente: Gallardo, A., Bovea, M.D., Colomer, F.J, Carlos, M, Prades, M. (2009). ....	34
Figura 16.- Mapa de las localizaciones de los contenedores en área de aportación, utilizando como puntos candidatos los centroides de las calles. Fuente: Elaboración propia.....	36
Figura 17.- Mapa de las localizaciones de los contenedores en área de aportación, utilizando como puntos candidatos los centroides de las calles. Fuente: Elaboración propia.....	37
Figura 18.- Gráfico que nos ayuda a visualizar las dos hipótesis con la distancia y el porcentaje que abarca.....	38
Figura 19.- Rutas recogida sistema puerta a puerta de resto. Fuente: Elaboración propia. ....	43
Figura 20.- Ruta camión 1, recogida sistema puerta a puerta. Fuente: elaboración propia. ....	44
Figura 21.- Ruta camión 2, recogida sistema puerta a puerta. Fuente: elaboración propia. ....	44
Figura 22.- Ruta camión 3, recogida sistema puerta a puerta. Fuente: elaboración propia. ....	45
Figura 23.- Ruta camión 4, recogida sistema puerta a puerta. Fuente: elaboración propia. ....	45
Figura 24.- Ruta camión 5, recogida sistema puerta a puerta. Fuente: elaboración propia. ....	46
Figura 25.- Ruta camión 6, recogida sistema puerta a puerta. Fuente: elaboración propia. ....	46
Figura 26.- Rutas de recogida de resto en sistema de acera cada día, con las cubicaciones de los contenedores. Fuente: elaboración propia.....	48

Figura 27.- Ruta camión 1, recogida sistema de acera. Fuente: elaboración propia.....	49
Figura 28.- Ruta camión 2, recogida sistema de acera. Fuente: elaboración propia.....	49
Figura 29.- Ruta camión 3, recogida sistema de acera. Fuente: elaboración propia.....	50
Figura 30.- Ruta camión 4, recogida sistema de acera. Fuente: elaboración propia.....	50
Figura 31.- Ruta camión 5, recogida sistema de acera. Fuente: elaboración propia.....	51
Figura 32.- Ruta camión 6, recogida sistema de acera. Fuente: elaboración propia.....	51
Figura 33.- Gráfico con la diferencia de coste mensual entre los dos sistemas, puerta a puerta y acera, para el material de resto. ....	52
Figura 34.- Rutas de recogida de envases en sistema área de aportación cada semana, con las cubicaciones de los contenedores. Fuente: elaboración propia. ....	54
Figura 35.- Ruta camión 1, recogida sistema área de aportación. Fuente: elaboración propia. ....	55
Figura 36.- Ruta camión 2, recogida sistema área de aportación. Fuente: elaboración propia. ....	55
Figura 37.- Ruta camión 3, recogida sistema área de aportación. Fuente: elaboración propia. ....	56
Figura 38.- Rutas de recogida de envases en sistema área de aportación cada cuatro semanas, con las cubicaciones de los contenedores. Fuente: Elaboración propia. ....	57
Figura 39.- Ruta camión 1, recogida sistema área de aportación, 28 días. Fuente: elaboración propia. ....	58
Figura 40.- Ruta camión 2, recogida sistema área de aportación, 28 días. Fuente: elaboración propia. ....	58
Figura 41.- Ruta camión 3, recogida sistema área de aportación, 28 días. Fuente: elaboración propia. ....	59
Figura 42.- Ruta camión 4, recogida sistema área de aportación, 28 días. Fuente: elaboración propia. ....	59
Figura 43.- Ruta camión 5, recogida sistema área de aportación, 28 días. Fuente: elaboración propia. ....	60
Figura 44.- Ruta camión 6, recogida sistema área de aportación, 28 días. Fuente: elaboración propia. ....	60
Figura 45.- Ruta camión 7, recogida sistema área de aportación, 28 días. Fuente: elaboración propia. ....	61
Figura 46.- Ruta camión 8, recogida sistema área de aportación, 28 días. Fuente: elaboración propia. ....	61
Figura 47.- Ruta camión 9, recogida sistema área de aportación, 28 días. Fuente: elaboración propia. ....	62
Figura 48.- Ruta camión 10, recogida sistema área de aportación, 28 días. Fuente: elaboración propia. ....	62
Figura 49.- Ruta camión 11, recogida sistema área de aportación, 28 días. Fuente: elaboración propia. ....	63
Figura 50.- Gráfico comparativo entre los dos sistemas empleados para recogida de envases. ....	64
Figura 51.- Rutas de recogida de vidrio en sistema área de aportación cada dos semana, con las cubicaciones de los contenedores. Fuente: elaboración propia. ....	65

Figura 52.- Ruta camión 1, recogida sistema área de aportación, cada dos semanas. Fuente: elaboración propia. .... 66

Figura 53.- Ruta camión 2, recogida sistema área de aportación, cada dos semanas. Fuente: elaboración propia. .... 66

Figura 54.- Ruta camión 3, recogida sistema área de aportación, cada dos semanas. Fuente: elaboración propia. .... 67

Figura 55.- Rutas de recogida de papel en sistema área de aportación cada semana, con las cubricaciones de los contenedores. Fuente: elaboración propia. .... 69

Figura 56.- Ruta camión 1, recogida papel sistema área de aportación. Fuente: elaboración propia. .... 70

Figura 57.- Ruta camión 2, recogida papel sistema área de aportación. Fuente: elaboración propia. .... 70

Figura 58.- Ruta camión 3, recogida papel sistema área de aportación. Fuente: elaboración propia. .... 71

Figura 59.- Ruta camión 4, recogida papel sistema área de aportación. Fuente: elaboración propia. .... 71