



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Aplicación de sistemas de información geográfica (SIG) y metodología multicriterio para la implantación de centros de distribución urbana de mercancías (DUM)

Autor

Miguel Agustín Perdiguer Pérez

Directores

Emilio Larrodé Pellicer

Victoria Muerza Marín

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

2021

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todos los profesores que he tenido a lo largo de mi aprendizaje, especialmente a mis profesores de la universidad, que con mucha perseverancia han logrado transmitirme curiosidad por el mundo de la ingeniería, haciendo este difícil aprendizaje más ameno.

Especial agradecimiento quiero hacer a mis dos directores del proyecto, Emilio Larrodé Pellicer y M^a Victoria Muerza Marín, que con su paciencia y ayuda a lo largo de este proyecto han logrado abrirme un mundo que a priori parece alejado de la ingeniería, consiguiendo así poder reflexionar profundamente sobre el tema a estudiar.

También quiero dar gracias a mi familia por su constante ayuda más allá de la vida estudiantil, y su indudable esfuerzo diario en los momentos difíciles durante la universidad.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a todos los compañeros y amigos que me han ayudado en mi aprendizaje, ayudándome diariamente a estar donde me encuentro ahora. Sin su apoyo diario este camino no hubiese sido lo mismo.

RESUMEN

Para realizar el resumen de este proyecto cabe empezar explicando de forma sencilla unas ideas clave para entender el porqué de este estudio. La primera de las ideas es que el comercio electrónico continúa creciendo a día de hoy, y este crecimiento se espera constante durante muchos años como recogen los informes del Consejo Económico y Social (CES). La siguiente de las ideas que es importante nombrar es la congestión y contaminación que sufren las grandes ciudades a día de hoy. Esta situación conlleva a grandes pérdidas en términos económicos, en parte por el tiempo perdido; además de los problemas de salud que sufren las personas debido a las emisiones contaminantes. Como ultima idea a nombrar, entra la dinámica actual por todos los sectores de mejorar la eficiencia de todo tipo de procesos, mejorando los valores de las variables adscritas a ese proceso.

Teniendo en cuenta estos factores mencionados, en el ámbito de la distribución de mercancías surgen nuevos procesos logísticos tratando de mejorar la eficiencia, estudiando como favorecer en la menor medida posible la congestión y contaminación de las ciudades, siempre satisfaciendo la demanda diaria que sigue aumentando.

De esta manera ha surgido la idea de este Trabajo de Fin de Grado, con el cual se pretende comenzar un estudio complejo para la mejora de los factores mencionados anteriormente. De esta manera se va a comenzar el estudio proponiendo una metodología para la caracterización de zonas urbanas y otra metodología para la selección de unas diferentes alternativas de centros urbanos de mercancías.

Este trabajo va a comenzar con una breve introducción y una descripción del problema a tratar. Después, en el planteamiento teórico se procederá a plantear las bases teóricas para la caracterización de las zonas urbanas y la metodología usada para la toma de decisiones de las alternativas propuestas por nosotros. Más tarde se realiza un caso de estudio en la ciudad de Zaragoza, llevando a la práctica la metodología teórica propuesta.

Finalmente, se muestran los resultados obtenidos en el caso de estudio, realizando a su vez una conclusión y definiendo las líneas de trabajo futuras.



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe remitirse a seceina@unizar.es dentro del plazo de depósito)

D./D^a.

,
en aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de
11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se
aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,
Declaro que el presente Trabajo de Fin de Estudios de la titulación de
(Título del Trabajo)

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser
citada debidamente.

Zaragoza,

Fdo:

Índice

1. Introducción.....	9
1.1 Objetivo del proyecto.....	9
1.2 Marco del proyecto	10
1.3 Alcance del proyecto.....	10
2. Descripción del problema	12
3. Planteamiento teórico	14
3.1 Herramientas informáticas usadas para el estudio	14
3.1.1 Herramienta modelación SIG	14
3.1.2 Herramienta decisión multicriterio	15
3.2 Localización estudio.....	16
3.3 Procedimiento propuesto para la caracterización de zonas urbanas.....	17
3.3.1 Obtención de capas de información geográfica	18
3.3.2 Ponderación y representación de las capas	21
3.4 Proceso Analítico Jerárquico AHP	22
3.4.1 Construcción del modelo jerárquico.....	22
3.4.2 Evaluación del modelo jerárquico.....	24
3.5 Tipología de centros logísticos	27
3.5.1 Plataformas logísticas urbanas	27
3.5.2 Micro plataformas logísticas urbanas.....	28
3.5.3 Lockers	28
4. Caso de estudio y resultados	30
4.1 Selección centro urbano.....	30
4.2 Selección de ubicaciones.....	31
4.3 Información geográfica del estudio	44
4.3.1 Capa información demográfica	44
4.3.2 Capa información del comercio.....	46
4.4 Resultados caracterización SIG	52
4.5 Resultados Superdecisions.....	54
5. Conclusiones y líneas futuras.....	57
6. Bibliografía.....	59

Lista de Figuras.....	60
Lista de Tablas.....	62
Anexos.....	63

Capítulo 1

Introducción

El presente documento tiene como finalidad presentar un Trabajo Final de Grado (TFG), realizado por el estudiante Miguel Agustín Perdiguier Pérez. Se lleva a cabo al finalizar el grado universitario de Ingeniería de Tecnologías Industrial, en el ámbito de la organización y gestión de operaciones de distribución y transporte. Para presentar dicho trabajo se presenta este documento como una “memoria” en la que se explica la problemática a resolver, el planteamiento de la resolución, un caso particular de estudio en la ciudad de Zaragoza, y finalmente el análisis de la resolución.

Esta memoria explica de manera textual y con imágenes el trabajo realizado, que permite ahondar en la Distribución Urbana de Mercancías (DUM) a entendidos en la materia e igualmente a personas nuevas en el tema.

Principalmente se va a proponer una metodología para la resolución del problema, pudiéndose replicar en otros centros urbanos que no sean el que se va a resolver en este trabajo.

1.1 Objetivo del proyecto

El objetivo del proyecto es la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y metodología multicriterio para la selección de la mejor ubicación para diversos Centros de Distribución Urbana de Mercancías (CDUM). Primero se empleará un software de SIG y, una vez caracterizadas las áreas urbanas, se empleará la metodología multicriterio para ayudar en la toma de decisiones para identificar la alternativa más idónea.

Se pretende desarrollar un modelo teórico, es decir, una metodología y jerarquización de la resolución de nuestro objetivo, pudiendo así ser replicado e implantado en diversos centros urbanos.

Más adelante se resolverá nuestro objetivo en la ciudad de Zaragoza, España. Para ello dividiremos la ciudad por códigos postales, profundizando en la resolución en

algunos códigos postales clave para la explicación y entendimiento del método; pudiendo repetirse de forma análoga a todos los códigos postales.

1.2 Marco del proyecto

Este trabajo se encuentra dentro de la Investigación Operativa perteneciente al Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Zaragoza, en su área de Ingeniería e Infraestructuras de los Transportes.

Al frente de la dirección del proyecto se encuentran el doctor Emilio Larrodé Pellicer, Ingeniero Industrial; y de la doctora M^a Victoria Muerza Marín del Departamento de Economía Aplicada. Esta codirección se debe a que el trabajo consta de varios aspectos que deber ser abordados de forma complementaria por ambos tutores.

Por un lado, la parte operativa de planificación y gestión de transporte y distribución en entornos urbanos, teniendo en cuenta las peculiaridades de la distribución capilar y el cálculo de rutas, que es aportado por Emilio Larrodé, y, por otro lado, la parte de especialización en análisis multicriterio que permita jerarquizar los diferentes atributos para poder valorar las alternativas planteadas en la operación de distribución de mercancías, aportado por M^a Victoria Muerza.

1.3 Alcance del proyecto

En este momento es importante indicar los límites que se han acotado para la realización de este proyecto.

Se ha considerado un consumo lineal de paquetería respecto al número de personas y comercios, pudiéndose dar el caso social que esta curva tomara otra forma a la hora de encontrarnos grandes grupos de personas y comercios. Este estudio social resulta muy complejo y no entra dentro del marco del proyecto que aquí se está tratando.

El consumo de paquetería a la que en este proyecto nos estamos refiriendo no trata el caso ni de cartelería (distribución trabajada por Correos España) ni de distribución de alimentación en el sector HORECA, acrónimo de Hoteles, Restaurantes y Cafeterías, que más adelante se detallara ampliamente.

Los resultados de este proyecto se suponen válidos para la posible implementación en la ciudad de Zaragoza, siendo necesarias algunas estimaciones más complejas que podrían realizarse en futuras continuaciones de este proyecto. La implementación real requeriría que todas las empresas de distribución de paquetería que

trabajan en la ciudad unificaran sus intereses para que el funcionamiento global de distribución en toda la ciudad fuera único y bien descrito; obligando que todas las empresas trabajaran en el "bien común" de la ciudad y no buscaran el máximo ratio de beneficio económico.

Capítulo 2

Descripción del problema

La última milla se define como la logística en el tramo final que recorre la mercancía transportada hasta llegar a su punto de destino. Este estudio se centra, por tanto, en la logística que se desarrolla en el interior de las ciudades y grandes áreas urbanas debido a los impactos que esto conlleva.

La principal demanda urbana se debe a establecimientos comerciales, establecimientos empresariales e industriales, comercio electrónico y el servicio postal estatal. En este estudio no se tendrá en cuenta el servicio postal estatal ya que en España ya existe una empresa estatal llamada Correos, la cual es dependiente del Gobierno de España responsable de prestar el Servicio Postal Universal en España.

Como ejemplo de crecimiento de la demanda, podemos comentar que en el ámbito de la compra online (ecommerce) se ha producido estos últimos años un aumento apoteósico. Además, el crecimiento se ha visto acelerado por la pandemia de la Covid-19. Durante 2020, el crecimiento en las ventas ecommerce en España crece un 36% según la revista InfoRetail.

La logística urbana tiene a día de hoy unos retos o desafíos por el indiscutible impacto que tiene. Los principales retos son la sostenibilidad medioambiental, la congestión urbana y la eficiencia logística. En cuanto a la sostenibilidad medioambiental, hasta el 80% de la población está sometida a niveles de contaminación inadmitidos por la OMS; y el 25 % de las emisiones totales de gases contaminantes en España proceden del transporte de mercancías. Por otro lado, más de 20% del tráfico en las ciudades es provocado por el transporte de mercancías, 1,5 millones de paquetes e-commerce son entregados de media al día en España. Por último, si hablamos de la eficiencia logística, la última milla representa hasta el 40% de los costes logísticos totales, por lo que mejorando el rendimiento y los costes en este segmento podremos ser más competitivos respecto a otros distribuidores.

Debido a la gran demanda urbana de paquetería, es importante poner en marcha un proyecto de Distribución Urbana de Mercancías (DUM) que permita realizar las entregas de una forma más rápida pero también más ordenada y eficaz.

La decisión de la localización de todos los diferentes centros de distribución es una de las partes fundamentales del proceso estratégico de cualquier empresa de

logística. Tomar una buena decisión puede ayudar a cumplir los objetivos de la empresa, siendo así competitivos respecto a sus adversarios; mientras que tomar una mala decisión de localización puede dar lugar a resultados negativos en rendimiento y competitividad.

En este trabajo nos vamos a centrar en el estudio para obtener la mejor localización posible para los Centros de Distribución Urbana de Mercancías (CDUM), gestionando toda la demanda de paquetería, lo cual mejoraría la eficiencia logística y disminuiría la congestión urbana. Todo ello manteniendo los requisitos por parte del receptor de la paquetería. También se mencionará la manera de mejorar la sostenibilidad medioambiental.

Capítulo 3

Planteamiento teórico

En este capítulo se va a exponer el camino teórico propuesto que plantea el método para la resolución del problema. También se expondrá los programas informáticos de software necesarios para la resolución del mismo.

3.1 Herramientas informáticas usadas para el estudio

3.1.1 Herramienta modelación SIG

Para la caracterización de diferentes zonas urbanas se va a emplear un sistema de información geográfica (SIG), habitualmente citado como GIS por las siglas de su nombre en inglés *Geographical information system*.

Es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz. Arraigado en la ciencia geográfica, SIG integra diversos tipos de datos. Analiza la ubicación espacial y organiza capas de información para su visualización, utilizando mapas y escenas 3D. Con esta capacidad única, SIG revela el conocimiento más profundo escondido en los datos, como patrones, relaciones y situaciones.

Esta información geográfica puede ser consultada, procesada y mostrada de diferentes maneras empleando numerosas aplicaciones de software. Dentro de la industria de empresas comerciales con licencia, *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) es una de las compañías más importantes con más experiencia en el ámbito de geoprocetamiento. Por otro lado, existe el software libre que ha entrado con fuerza en la última década en el sector.

Para la realización de este trabajo, debido a que la Universidad de Zaragoza ha firmado un acuerdo Campus con ESRI para el uso de su Sistema de Información Geográfica ArcGis, emplearemos este software para la caracterización de las zonas urbanas.

El software ArcGis es la plataforma líder mundial para crear y utilizar Sistemas de Información Geográfica con licencia, lanzada por el desarrollador ESRI en el año 1999. Para la realización de este trabajo, se ha podido elegir entre dos extensiones de escritorio, las cuales son *ArcGis Desktop* o *ArcGis Pro*. Debido a la interfaz más sencilla de la versión *Pro*, a parte de sus nuevas características y mejoras sobre la otra opción, nos ha llevado a elegir este software respecto a la versión *Desktop*.

3.1.2 Herramienta decisión multicriterio

El concepto de Toma de Decisiones Multi-criterio (MCDM – *Multiple-criteria Decision Making*) abarcaba al conjunto de métodos que servían como herramienta para el proceso de toma de decisión.

Actualmente, el éxito de cualquier proyecto o actividad, recae en gran medida en la capacidad de tomar una decisión de manera consciente y eficiente, aprovechando las posibilidades y recursos existentes. Es por ello que, las técnicas de análisis para la toma de decisiones juegan un papel cada vez más creciente en el mundo actual.

Este crecimiento ha conllevado consigo mismo un crecimiento en el desarrollo de los métodos, lo cual ha llevado a la necesidad de algún tipo de clasificación para entender el funcionamiento de cada una de las técnicas.

En 1981, Hwang and Young propusieron dividir los métodos MCDM en Métodos de toma de Decisión Multi-atributo (MADM – *Multi-attribute decision making*) y Métodos de toma de Decisión Multi-objetivo (MODM – *Multi-objective decision making*). Los métodos MADM se utilizan para resolver problemas discretos: las alternativas están predeterminadas y los expertos valoran “a priori” cada criterio e indicando la importancia de cada uno de ellos. Es por ello que en este trabajo vamos a usar este tipo de método multi-atributo para poder escoger que CDUM (alternativas ya conocidas) valorando los criterios para la toma de decisión.

Dentro de los diferentes métodos, nosotros vamos a emplear los métodos de comparación por pares. Son una poderosa herramienta para inferir la importancia relativa de varias opciones, cuando tal importancia no puede evaluarse mediante una calificación directa. La representación de preferencias implica medir mediante la asignación de números a cada par de las opciones comparadas. De esta forma, se representan propiedades no numéricas con propiedades de sistemas numéricos.

El método de comparación por pares que vamos a emplear es el Proceso Analítico Jerárquico (AHP – *Analytic Hierarchy Process*), herramienta desarrollada por el profesor Thomas L. Saaty.

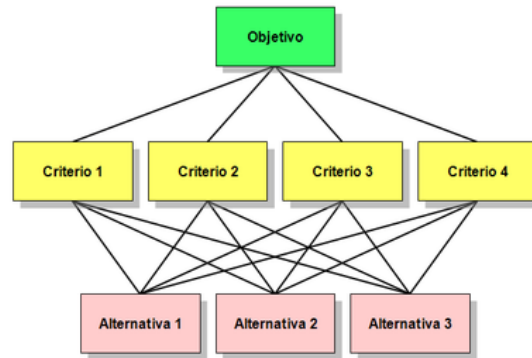


Figura 1. Construcción básica de AHP

Existen multitud de softwares para la implementación de dicho criterio a nuestro trabajo. Para hacerlo, hemos elegido el software *SuperDecisions*, el cual es de licencia libre y se basa en el método elegido (AHP) para la toma de decisiones.

3.2 Localización estudio

Una vez sabemos dónde vamos a realizar el estudio, toca diferenciar las distintas partes de la ciudad o centro urbano. De esta manera, podremos estudiar los criterios en pequeñas zonas, para así tener un mejor resultado de las capas.

La discretización de las zonas se puede realizar de diversas maneras, ya sea por códigos postales, juntas municipales, barrios, o fracciones de los anteriores.

En nuestro caso vamos a optar por la división por fracciones de los códigos postales. Es decir, una vez tengamos la ciudad dividida en sus diferentes códigos postales, vamos a realizar una división de cada código postal en un número variable de partes. Este número dependerá de la extensión del código postal en concreto, ya que suele haber códigos más pequeños en el centro de las ciudades y códigos que se van haciendo más grandes cuando nos alejamos radialmente del centro. La división también dependerá de que se encuentra dentro de cada código postal. Por ejemplo, puede haber un código postal que la mitad de su superficie es un parque, por lo que, para nuestro estudio, nos beneficiara individualizar ese parque como una división dentro del código postal, para poder hacer el estudio de las capas más 'exacto' en las otras partes de dicho código postal.

El sistema de código postal español comprende una serie de códigos utilizados para mejorar el funcionamiento del servicio postal en España. Los códigos postales fueron introducidos en España en 1981. Los códigos postales españoles constan de cinco cifras, de las que las dos primeras hacen referencia a la provincia por orden alfabético (según el nombre oficial en el año de implantación), seguidas de las ciudades de Ceuta y Melilla. A la provincia de Zaragoza le corresponde como las dos primeras cifras el número 50.



Figura 2. Códigos Postales Zaragoza

3.3 Procedimiento propuesto para la caracterización de zonas urbanas

Una vez ya tenemos bien definido y dividido nuestro centro urbano, pasamos ahora a explicar la metodología que se va a usar en este trabajo para la selección de la ubicación y tipología de Centro de Distribución Urbana.

Para ello, nuestro estudio comenzara con la aplicación del análisis de gestión de información geográfica para la determinación y caracterización de las zonas urbanas.

Las restricciones elegidas para esta metodología de la caracterización de las zonas son la densidad de población y la densidad de comercio. El criterio de accesibilidad por parte del consumidor se empleará a la hora de la toma de decisiones. Por tanto, vamos a comenzar explicando cómo tendrán que ser dichas capas de información geográfica para una correcta determinación del proyecto.

3.3.1 Obtención de capas de información geográfica

Como ya hemos comentado anteriormente, las capas que deberemos de obtener para poder continuar con el estudio son tres. Todas ellas son explicadas detalladamente a continuación.

- Capa densidad de población.

La capa de densidad de población nos indicara de forma visual en el mapa de nuestro centro urbano el número de personas que viven en una zona específica del centro urbano. En España existen numerosos estudios por parte del Instituto Nacional de Estadística, investigaciones que permiten conocer las características de las personas por zonas. Para una mayor exactitud, se realizan estudios con los ayuntamientos oportunos, que, con el censo de las personas permite calcular de manera exacta que número de personas vive en cada casa, bloque, urbanización o barrio.

De esta manera, vamos a poder obtener una capa muy exacta de donde vamos a tener más demanda de paquetería. Para realizar este cálculo de consumo, se podrían realizar numerosos estudios sociológicos para comprobar si la curva de personas-consumo es lineal, o, por el contrario, sigue una tendencia cuadrática o hasta exponencial. Debido a la complejidad de tal estudio, para nuestro trabajo, vamos a suponer una curva lineal, es decir, si suponemos que 10 personas consumen 5 paquetes semanales, 100 personas consumirán por ende 50 paquetes semanales.

Esta capa va a tener unas unidades de medida, que por su condición de densidad va a ser una fracción de medidas. Las unidades elegidas para el estudio son las siguientes:

$$Densidad Poblacional (DP) = \frac{N^{\circ} \text{ de habitantes}}{Hectárea}$$

Con toda esta información recogida, tendremos que obtener una capa equivalente a la siguiente figura. Esta figura corresponde a un visor online del Ayuntamiento de Zaragoza que permite ver dicha distribución sin necesidad de un software complejo de análisis geográfico.

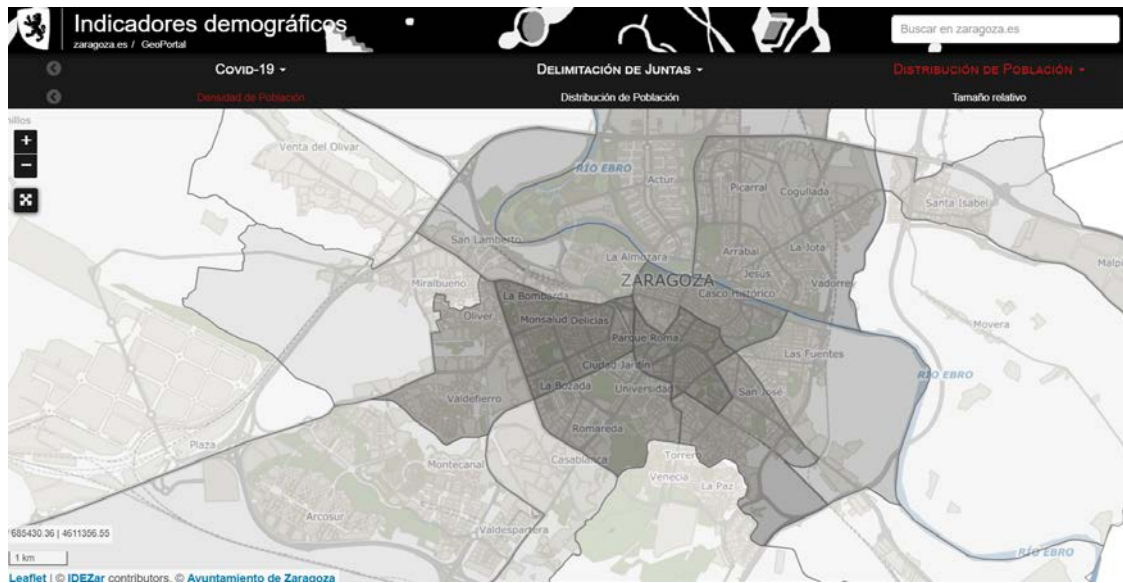


Figura 3. Visor demográfico IDEZar

- Capa densidad de comercio.

Esta capa nos va a permitir de una manera muy análoga a la anterior, la densidad de comercio de nuestro centro urbano. De esta manera podremos intuir que zonas consumirán mayor paquetería de una forma visual.

Las unidades de medida de esta capa serán también análogas a la capa de población, pero en este caso en vez del “*número de habitantes*” tendremos otro valor que será “*número de comercios*”. Las unidades elegidas para el estudio son las siguientes:

$$\text{Densidad de Comercio (DC)} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de comercios}}{\text{Hectárea}}$$

Cabe destacar que para la realización de este estudio hemos tenido en cuenta todo tipo de comercio a excepción de los comercios adscritos al canal HORECA. Este canal de distribución de alimentos es de suma relevancia y se ha quedado fuera del estudio debido a que tiene una distribución que ya por si sola es sumamente compleja para un estudio propio. También representa una distribución de un servicio muy específico, requiriendo en muchas ocasiones de servicios con refrigeración para la correcta distribución.

La creación de esta capa resulta sencilla con la información adecuada, siendo esta en muchas ocasiones muy compleja de obtener. Teniendo correctamente delimitadas las zonas de estudio, es decir, todas las divisiones de los códigos postales hechas, introducimos todos los comercios que están inscritos es en el registro de actividades comerciales. Las bases de datos contienen información geográfica acerca de donde se sitúan dichos comercios. Esta geolocalización suele realizarse en España con el sistema de coordenadas WGS 1984 UTM. De esta manera, cada uno de los comercios

representará en el mapa un *punto* que estará situado donde se encuentra ese comercio físicamente. La siguiente figura muestra como aparecerán todos los puntos en nuestro mapa para mostrar de forma visual su representación.

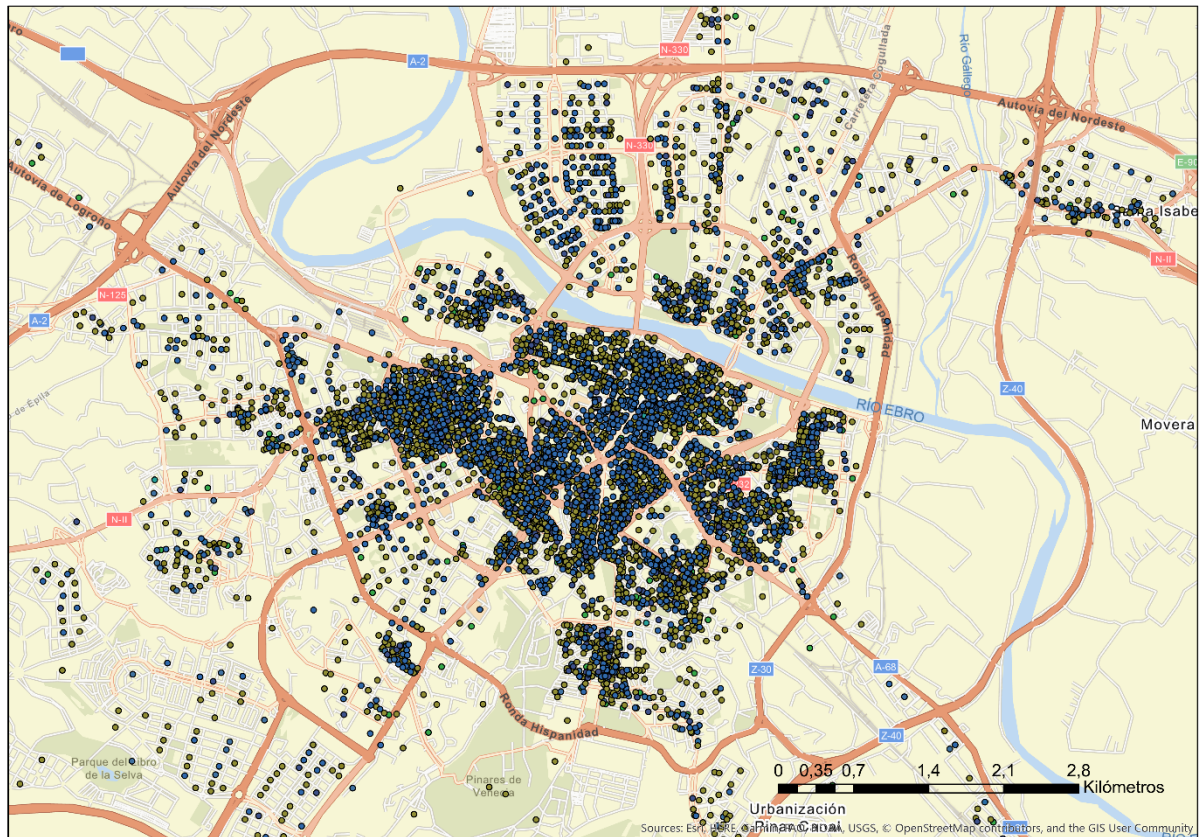


Figura 4. Representación comercios SIG

Después de introducir nuestra información en nuestro software de SIG lo que quedará será contar el número de locales que hay en cada una de nuestras zonas delimitadas. De esta manera, con la información del área, podremos obtener el factor *Densidad de comercio (DC)* buscado para todas las zonas de la zona urbana.

La obtención de los datos y la capa obtenida en nuestro caso de estudio se representa y comenta en el siguiente capítulo.

3.3.2 Ponderación y representación de las capas

Una vez tengamos las 3 capas de información geográfica, existirán diversas formas en las que dividir los rangos de valores y su representación visual. La representación visual hemos escogido una escala gradual de blanco al negro. Los tramos con menor valor tendrán color blanco y variara hacia una escala de grises hasta llegar al negro.

El número de tramos escogido para este estudio es 3, teniendo entonces zonas con poco valor, zonas con valor intermedio, y finalmente zonas con un valor elevado. Se ha escogido este número de tramos ya que de manera directa y sencilla se puede ver en el mapa las diferentes zonas, con valores bajos, medios y altos.

Ahora surge una duda importante a la hora de representar los datos. Nosotros tenemos una serie de zonas con unos valores que entran dentro de un rango para cada una de las capas. Es por eso que la división de esa curva de valores se podrá realizar de diversos métodos. El programa ArcGis nos permite partir los datos por los siguientes métodos: Rupturas naturales (Jenks), Cuantil, Intervalos iguales, Intervalo definido, Intervalo manual, Intervalo geométrico, y Desviación típica. El método escogido para este estudio es el de "Intervalos iguales", ya que para nuestro trabajo tiene el mismo valor de representación los valores de todos los rangos, sin dar más importancia a los que más se repiten, o acentuando las diferencias de tramos.

Por todo esto comentado anteriormente, concluimos que la simbología de nuestro estudio se realizara con el método de "Intervalos iguales" y dividiremos los datos en 3 clases.

También es importante comentar que para las ponderaciones de las 3 capas que vamos a obtener, vamos a tener que trabajar con las mismas unidades. Es fácil intuir que no podemos ponderar nº personas/hectárea con nº de locales/hectárea. Para ello, en las tres capas, vamos a tener que realizar una reclasificación de los valores y de unidades. Por ello, de los 3 tramos de nuestras 3 capas, reclasificaremos el tramo "bajo" con un valor de 1; el tramo "intermedio" con un valor 2; y el tramo "alto" con un valor de 3. De esta manera, al ponderar y juntar las capas, trabajaremos con valores absolutos del 1 al 3.

La realización de la ponderación de todas las capas obtenidas y la reclasificación se mostrará en detalle para nuestro estudio en el Capítulo 4.

3.4 Proceso Analítico Jerárquico AHP

El proceso analítico jerárquico (AHP), es una técnica multicriterio que vamos a emplear para marcar la diferencia entre la subjetividad y la objetividad a la hora de tomar una decisión compleja. Este método fue desarrollado por el profesor L. Saaty en su libro *'The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation'*.

En este caso, vamos a emplearlo a la hora de la elección del Centro de Distribución Urbana (CDUM). El problema de decisión se modela mediante una jerarquía en cuyo vértice superior está el principal objetivo del problema, meta a alcanzar y, en la base, se representan los criterios (los cuales a su vez se pueden estructurar también en jerarquías), con base en los cuales se toma la decisión.

El AHP proporciona en una escala absoluta las prioridades de los elementos que se comparan. Para el uso de este método debemos comenzar construyendo un modelo jerárquico que establezca toda la pirámide de decisión, para la elección del objetivo o meta.

La explicación teórica sobre la que se basa este modelo se encuentra detalladamente explicado en el anexo A, junto con una explicación más extensa de la toma de decisiones multicriterio.

3.4.1 Construcción del modelo jerárquico

Para la construcción de la jerarquía se seleccionó a un grupo de personas especializadas en diferentes campos como la logística, los transportes, las decisiones multicriterio, etc.

Los expertos, después de trabajar juntos en grupo, llegaron por consenso a una serie de criterios y subcriterios para la evaluación de las diferentes alternativas disponibles. De esta manera, tendremos en nuestro modelo 4 niveles de jerarquía: meta, criterios, subcriterios y alternativas.

En la siguiente imagen se muestra de forma visual el modelo jerárquico completo final sugerido por los expertos para la elección del centro logístico. Más adelante se encuentra de forma detallada la explicación de la jerarquía propuesta.

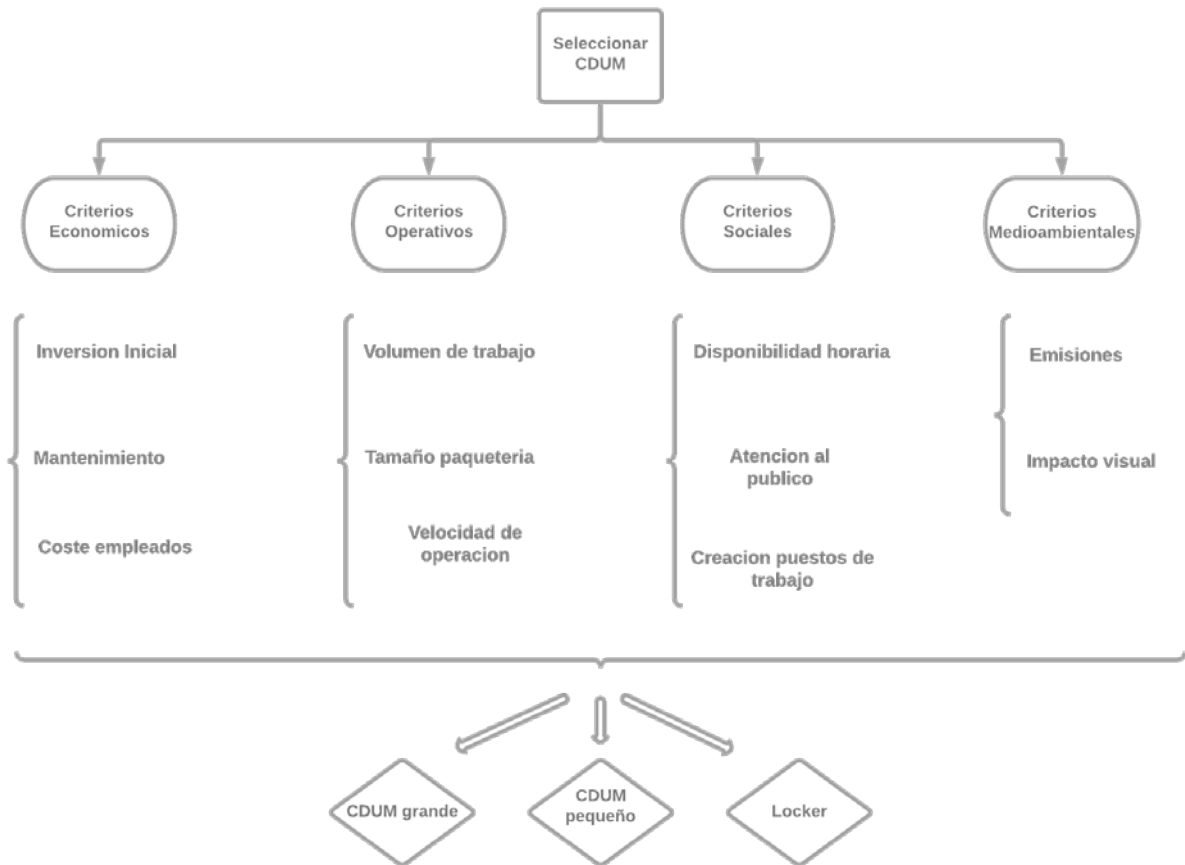


Figura 5. Modelo jerárquico a estudiar

Explicación detallada de los criterios y subcriterios.

Criterios:

A.- Económico: Este criterio integra las características que influirán negativamente en el flujo de caja a la hora de implantar el sistema logístico. Es decir, representa los costes.

B.- Operativo: Junta las características que reúnen las capacidades operativas de cada uno de los centros logísticos.

C.- Social: Son características propias de los centros logísticas que le otorgan o no valor debido a la influencia que tienen en el consumidor y en la sociedad.

D.- Medioambiental: Reúne las características que influyen negativamente o positivamente en el medio ambiente debidas a la implantación de este centro logístico.

Subcriterios:

A.1- Inversión inicial: Cantidad de dinero necesario invertir para poner en marcha el centro de distribución.

A.2- Mantenimiento: Costes monetarios para el correcto funcionamiento del centro de distribución.

A.3- Coste empleados: Como su nombre indica el coste para pagar los posibles empleados que necesita el centro de distribución.

B.1- Volumen de trabajo: Consiste en el flujo de paquetería y mercancías que es capaz de soportar el centro.

B.2- Tamaño de paquetería: Tamaño máximo de mercancía posible de trabajar en dicho centro de distribución

B.3- Velocidad de operación: Velocidad de adquisición por parte del consumidor de la mercancía y paquetería teniendo en cuenta los tiempos de espera, los tiempos de traslado del almacén y los tiempos inesperados.

C.1- Disponibilidad horaria: Ventana horaria que tiene el consumidor a la hora de recoger el paquete o mercancía.

C.2- Atención al público: Capacidad de ser atendido por parte de una persona que puede también solucionar problemas de todo tipo de índole.

C.3- Creación de puestos de trabajo: Subcriterio social de creación de más o menos puestos de trabajo en el centro de distribución.

D.1- Emisiones: Hace referencia a la cantidad de CO₂ expulsado a la atmosfera debida a la calefacción y las rutas de transporte de paquetería.

D.2- Impacto visual: Este subcriterio tiene en cuenta cómo afecta la instalación de los terminales a la visualización o cómo cambia el aspecto de un lugar.

3.4.2 Evaluación del modelo jerárquico

Una vez tenemos construido el modelo jerárquico para la elección de nuestra meta, debemos de determinar la importancia de todos los factores necesarios para el uso del método matemático. Esta determinación de la importancia es fundamental junto con la construcción del modelo para un correcto funcionamiento. Para que estos valores sean dados como válidos, el método nos dice que nuestras matrices de comparación tendrán que cumplir un "Ratio de Inconsistencia" que nos mostrara si la importancia contiene fallos de determinación.

Para la elaboración de todos los juicios, el grupo de expertos determinó por consenso todas las importancias relativas a nuestro problema.

Estas valoraciones se realizaron según el método, por lo que se efectuaron siguiendo la escala fundamental de comparación por pares de Saaty (ver siguiente figura).

Escala numérica	Definición	Explicación	Recíproco
1	Igual	Los dos criterios tienen la misma importancia	1
3	Moderada	El criterio A es moderadamente más importante que el criterio B	1/3
5	Fuerte	El criterio A tiene una importancia fuerte sobre B	1/5
7	Muy fuerte	El criterio A tiene una importancia muy fuerte sobre B	1/7
9	Extrema	El criterio A extremadamente más importante que el criterio B	1/9
2,4,6,8	Valores intermedios	Cuando se necesita un consenso entre valores adyacentes	1/2, 1/4, 1/5, 1/6, 1/8

Tabla 1. Escala fundamental de comparación por pares (Saaty, 1980)

La encuesta realizada y la valoración acordada por parte de los expertos se encuentra ampliamente detallado en el anexo B.

En este capítulo vamos a tratar la obtención de la matriz de comparación de criterios, para obtener las prioridades locales y globales. Introduciendo la valoración realizada a los expertos en el programa *SuperDecisions* obtenemos las prioridades locales de los elementos de la jerarquía. Importante es asegurarnos que dichos valores cumplen con los valores de razón de inconsistencia, y para ello el programa cuenta con el parámetro '*Inconsistency*' para mostrarnos que estemos por debajo del valor admisible. Los resultados obtenidos se muestran a continuación en tres diferentes tablas.

DENSIDAD ALTA				
CRITERIOS	PONDERACION LOCAL	SUBCRITERIOS	PONDERACION LOCAL	PONDERACION GLOBAL
Económicos	9,08%	Inversión inicial	22,91%	2,08%
		Mantenimiento	7,54%	0,68%
		Coste empleados	69,55%	6,32%
Operativos	61,22%	Volumen de trabajo	75%	45,92%
		Tamaño de paquetería	12,50%	7,65%
		Velocidad de operación	12,50%	7,65%
Sociales	25,66%	Disponibilidad horaria	9,26%	2,38%
		Atención al público	48,42%	12,42%
		Creación puestos de trabajo	42,32%	10,86%
Medioambientales	4,04%	Emisiones	85,72%	3,46%
		Impacto visual	14,28%	0,58%

Tabla 2. Ponderación local y global para alta densidad

DENSIDAD MEDIA				
CRITERIOS	PONDERACION LOCAL	SUBCRITERIOS	PONDERACION LOCAL	PONDERACION GLOBAL
Económicos	18,32%	Inversión inicial	17,44%	3,20%
		Mantenimiento	19,19%	3,52%
		Coste empleados	63,37%	11,61%
Operativos	60,41%	Volumen de trabajo	66%	39,79%
		Tamaño de paquetería	15,62%	9,44%
		Velocidad de operación	18,52%	11,19%
Sociales	17,03%	Disponibilidad horaria	49,34%	8,40%
		Atención al público	31,09%	5,29%
		Creación puestos de trabajo	19,57%	3,33%
Medioambientales	4,24%	Emisiones	85,71%	3,63%
		Impacto visual	14,29%	0,61%

Tabla 3. Ponderación local y global para media densidad

DENSIDAD BAJA				
CRITERIOS	PONDERACION LOCAL	SUBCRITERIOS	PONDERACION LOCAL	PONDERACION GLOBAL
Económicos	60,76%	Inversión inicial	69,10%	41,99%
		Mantenimiento	16,01%	9,73%
		Coste empleados	14,89%	9,05%
Operativos	12,37%	Volumen de trabajo	8%	1,00%
		Tamaño de paquetería	29,73%	3,68%
		Velocidad de operación	62,15%	7,69%
Sociales	22,45%	Disponibilidad horaria	73,24%	16,44%
		Atención al público	13,79%	3,10%
		Creación puestos de trabajo	12,97%	2,91%
Medioambientales	4,42%	Emisiones	50,00%	2,21%
		Impacto visual	50,00%	2,21%

Tabla 4. Ponderación local y global para baja densidad

El funcionamiento de la herramienta informática *SuperDecisions* para la obtención de los resultados obtenidos anteriormente se explica para el caso de la densidad alta de flujo de mercancías de forma detallada en el Anexo C. Para las otras dos densidades el funcionamiento es análogo.

3.5 Tipología de centros logísticos

A continuación, se va a explicar de forma sencilla las diferentes alternativas que vamos a tener en este estudio a la hora de escoger un centro de distribución urbana.

3.5.1 Plataformas logísticas urbanas

Consiste en centros de distribución urbana de tamaño grande, que permite un elevado flujo de paquetería. El reparto de paquetería se puede realizar de manera estática en la propia plataforma mediante locker o personal especializado. El reparto también puede realizarse mediante furgoneta, lo cual permite tamaños grandes que no podrían ser repartidos mediante otros métodos; aparte de otros métodos de reparto de menor tamaño y por consiguiente menor capacidad de reparto.

Para la recepción en la propia plataforma se encuentran 5 personas cara al público realizando la labor de entrega de paquetería, además de otros profesionales en la labor de entrega fuera de la plataforma. El flujo de paquetería de esta plataforma logística que se ha estimado es de 500 paquetes al día.

3.5.2 Micro plataformas logísticas urbanas

Son plataformas parecidas a las anteriores, pero de menor tamaño. Permiten un flujo menor y no tienen la capacidad de reparto mediante furgoneta, solamente pequeños vehículos.

En la entrega estática solo se encuentra 2 persona de cara al público lo que permite una capacidad de recepción mucho menor. Por tanto, el flujo de paquetería será también menor, escogiendo para el estudio un flujo de 200 paquetes diarios. En estas micro plataformas también se puede realizar la entrega mediante lockers, la cual aumentarían la capacidad.

3.5.3 Lockers

Los lockers son pequeños BOX instalados en lugares debidamente seleccionados, en los cuales el paquete se introduce en uno de los compartimentos habilitados, para que la recepción se realice de forma flexible y cómoda por parte del receptor. Esto permite dar mucha flexibilidad al ciudadano para recoger sus paquetes y no depender de la hora de entrega, de si hay retrasos, etc. La recepción puede ser realizada las 24 horas del día, todos los días del año.

Para su funcionamiento requiere de toma de luz, un anclaje a la pared y conexión 3G o posteriores. La apertura de los terminales se puede realizar de diversos métodos, ya sea por código de barras o la introducción de un código personal.

Una vez el paquete es entregado en el terminal, se le notifica al usuario mediante uno de los métodos elegido por el usuario, ya sea correo electrónico o mensaje SMS, para poder retirar en un plazo de 72 horas desde la notificación. En el caso de no recogerse una vez acabado el plazo, se retiraría del terminal y se procedería a notificarle al usuario.

Los lockers tienen diversos tamaños de compartimentos, habilitados para diferentes paquetes. Dependiendo del modelo y la marca pueden ser más grandes o pequeños, pudiendo almacenar más paquetería al mismo tiempo o menos. El inconveniente de estos terminales radica en la problemática de que se llenaran todos los compartimentos debido a un gran flujo de paquetería unido a una lenta recepción por parte del consumidor, problema difícil de solucionar de forma rápida en una situación puntual.

Para el estudio en este trabajo se va a seleccionar un tamaño de locker para realizar los cálculos, ya que existe una enorme posibilidad de tamaños para los locker. Por ello hemos seleccionado el locker utilizado actualmente por Citypaq, en su formato grande. Tiene una capacidad de 80 paquetes de diversos tamaños. Por tanto, como hemos comentado que el paquete puede estar como máximo 72 horas, el flujo de paquetería escogido es de 30 paquetes diarios, siendo un poco más de la división *paquetes/días* ya que suponemos que no todos los paquetes van a estar los tres días en el locker.



Figura 6. Locker citypaq

Capítulo 4

Caso de estudio y resultados

4.1 Selección centro urbano

Para la realización del proyecto se ha seleccionado como caso de estudio la ciudad de Zaragoza.

Esta ciudad resulta ser muy buena para realizar estudios logísticos debido a su ubicación geográfica. Se encuentra en medio de las principales ciudades de España con mayor población, a una distancia medianamente equidistante de ciudades tales como Madrid, Barcelona, Valencia y Bilbao. Por ello, según el Centro Español de Logística (CEL), la ciudad resulta una de las más importantes en cuanto a logística España, teniendo buenas comunicaciones vía terrestre y un aeropuerto que continúa en segunda posición en el ámbito nacional de transporte de mercancías.



Figura 7. Mapa Logístico de España

Además de ello, para el estudio del proyecto respecto a la distribución urbana, resulta ser una ciudad idónea para el estudio por diversos factores. Primero, el tamaño de la ciudad no resulta excesivamente grande ni pequeño. Un estudio en una ciudad

muy pequeña resultaría confuso, no teniendo problemas que encontraríamos en una más grande, y siendo difícil la ejemplificación y proyección del estudio a una ciudad mucho más grande. Además, cuenta con un número de habitantes que permite realizar un estudio más complejo.

4.2 Selección de ubicaciones

Como se ha comentado en el Capítulo 3, la localización elegida para el estudio es la ciudad de Zaragoza. También se ha comentado que se realizaría una división de la ciudad elegida por códigos postales, y posteriormente, se dividiría en zonas más pequeñas para una mejor caracterización.

De esta manera podemos comentar que Zaragoza en la actualidad se encuentra dividida en 22 distritos postales, la disposición y su tamaño se puede apreciar en la imagen en la Figura 2 del capítulo 3. Todos los códigos postales de la ciudad de han dividido de 3 a 5 su sub-códigos, dependiendo del tamaño y la composición de cada uno de los códigos. Por ello comentamos que existen códigos muy grandes divididos en 3 partes debido a que en su mayoría se encuentran descampados, y a su vez teniendo códigos de tamaño mediano divididos en 4 debido a las diferencias urbanísticas o por la existencia de algún elemento peculiar como un gran parque o una estación de tren.

Cabe comentar la situación excepcional del código 50020, que hemos excluido de este estudio por una serie de motivos que comentamos a continuación. Este código se sitúa a 10 kilómetros de distancia del centro urbano de Zaragoza, siendo el único que no se encuentra el. Además, en este código solo consiste en una urbanización con no muchas viviendas, no teniendo nada de comercio y siendo la accesibilidad sin ninguna base de estudio. Por todo ello concluimos que para satisfacer la demanda de paquetería para la instalación de los CDUM de este código postal se debería de realizar otro tipo de metodología. Mostramos a continuación una foto del código 50020 (Figura 8) y otra de la localización geodésica respecto a la ciudad de Zaragoza (Figura 9).



Figura 8. Código postal 50020



Figura 9. Código postal 50020 respecto ciudad de Zaragoza

A continuación, se muestran todas las divisiones postales realizadas mediante el programa ArcGis de la ciudad de Zaragoza.

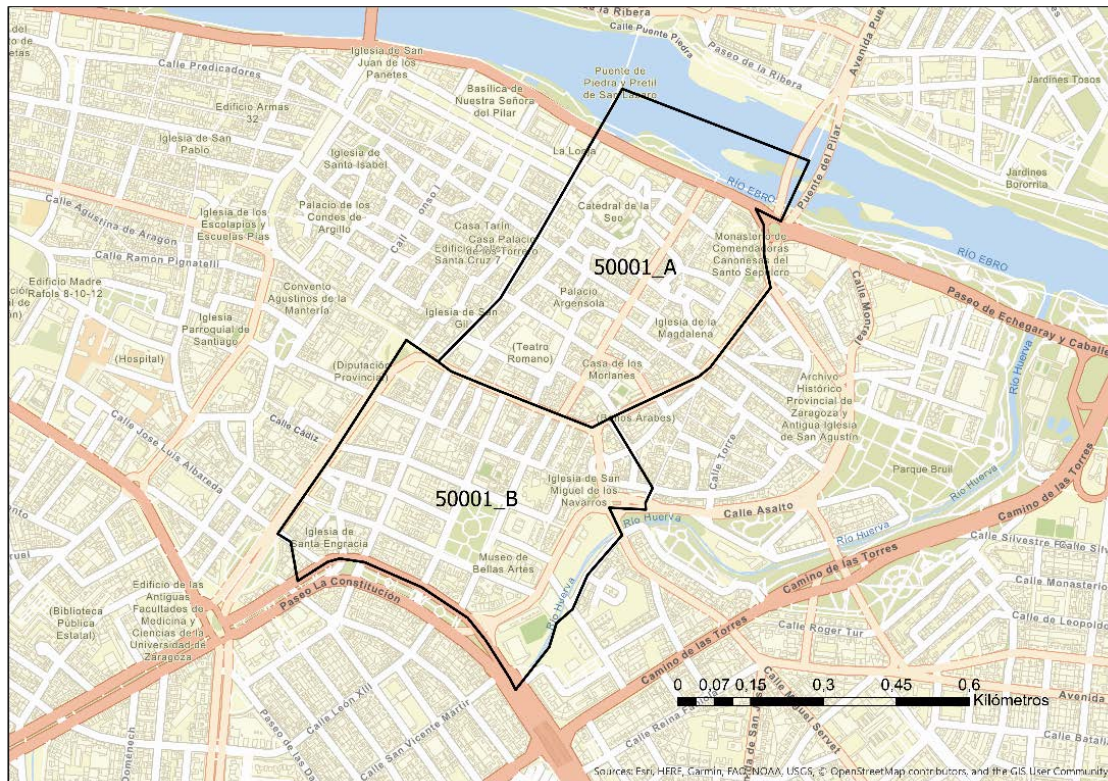


Figura 10. División código 50001

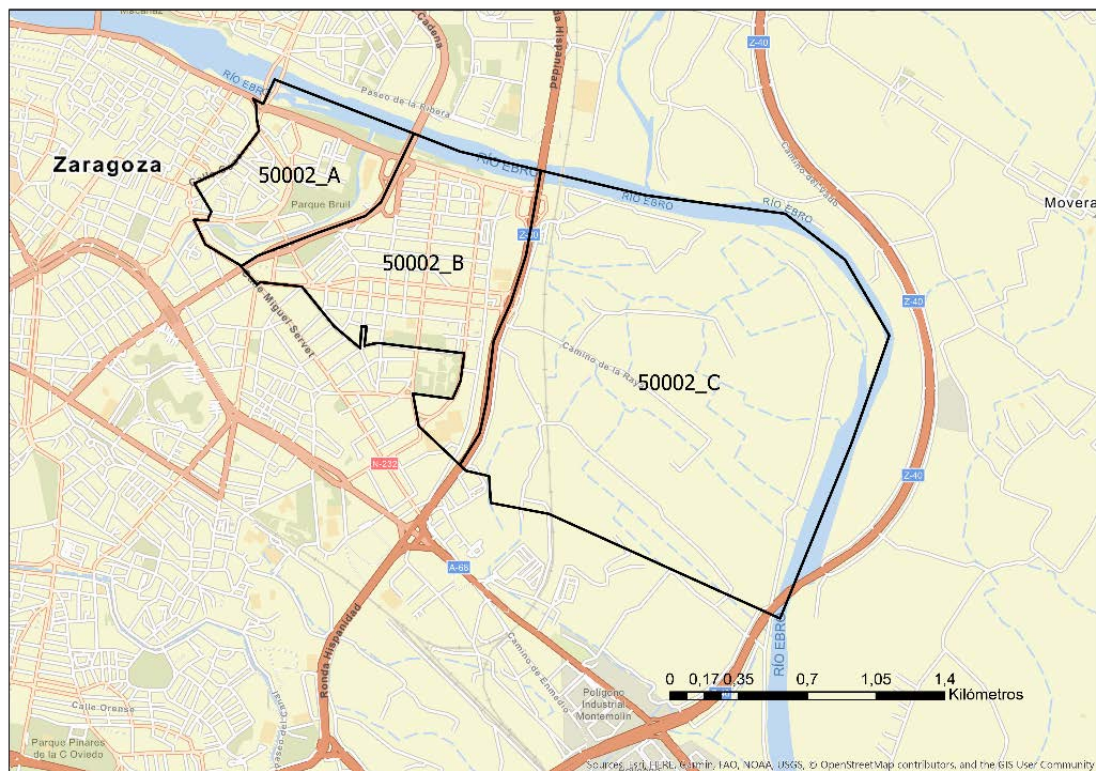


Figura 11. División código 50002

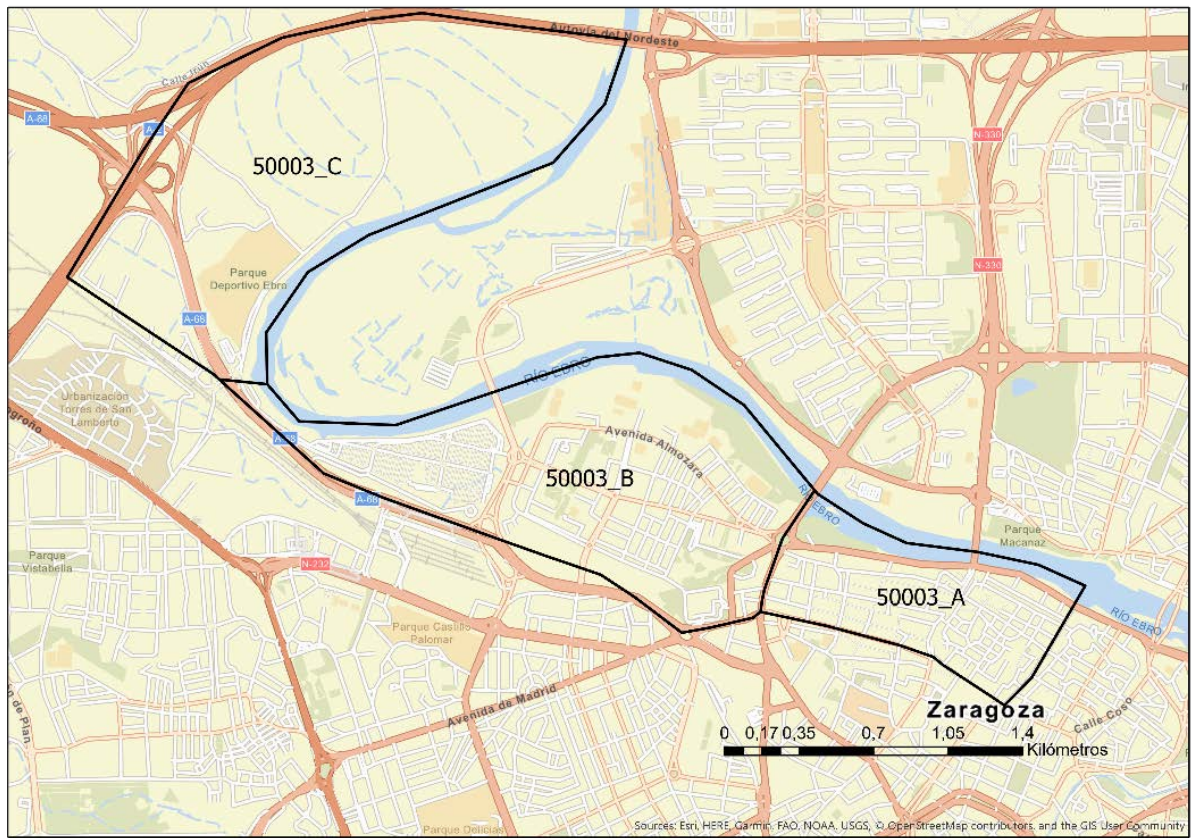


Figura 12. División código 50003

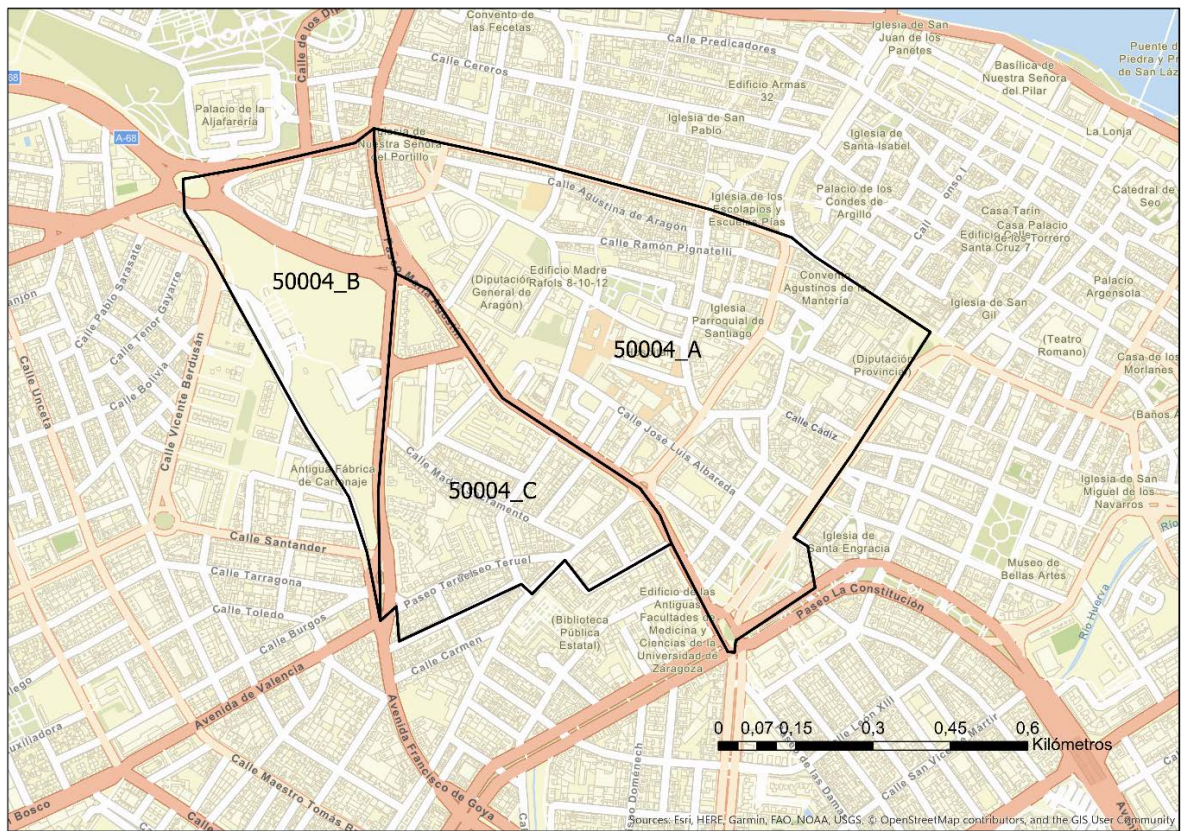


Figura 13. División código 50004

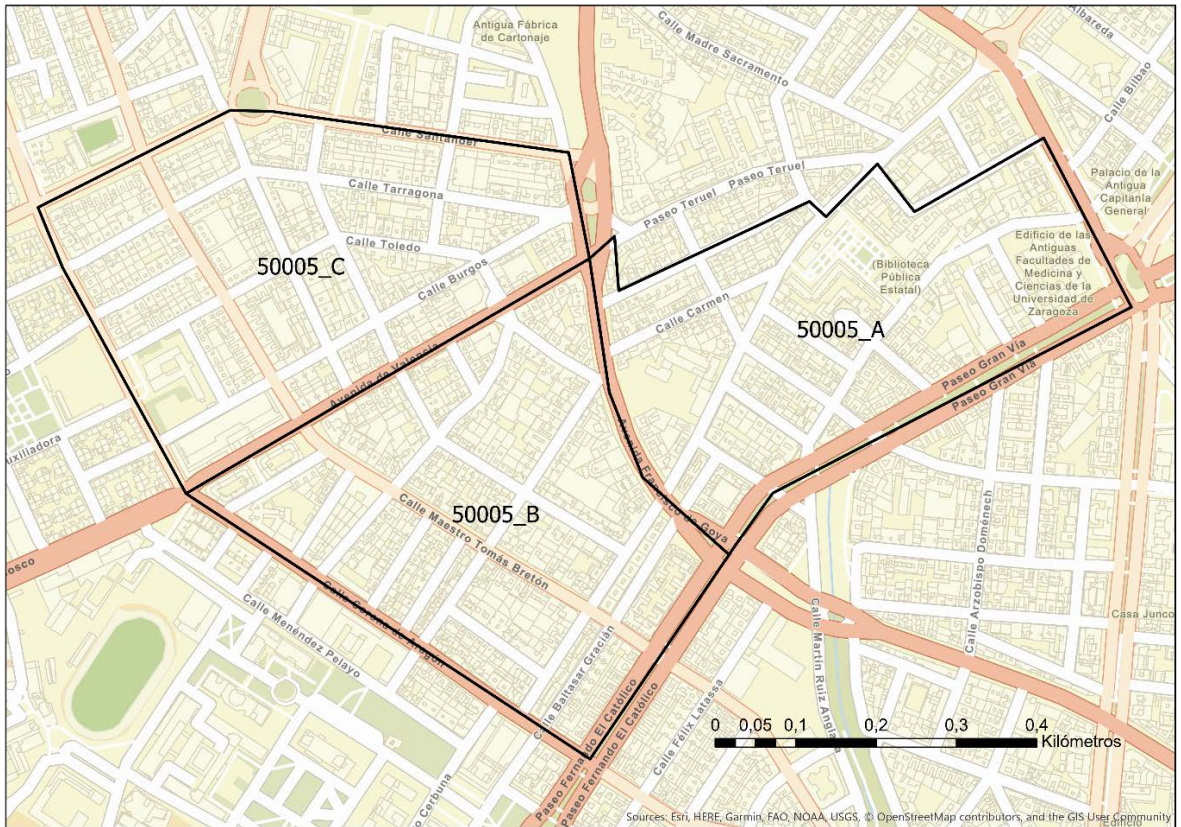


Figura 14. División código 50005

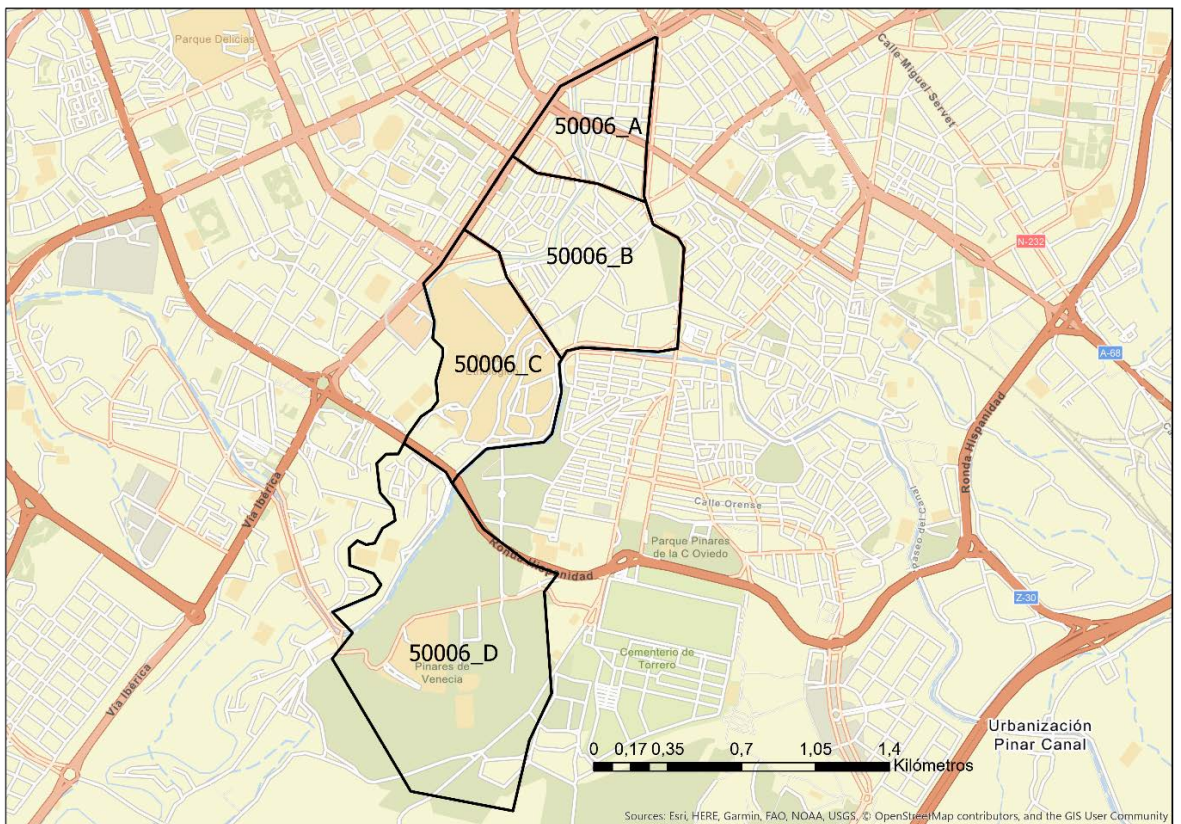


Figura 15. División código 50006

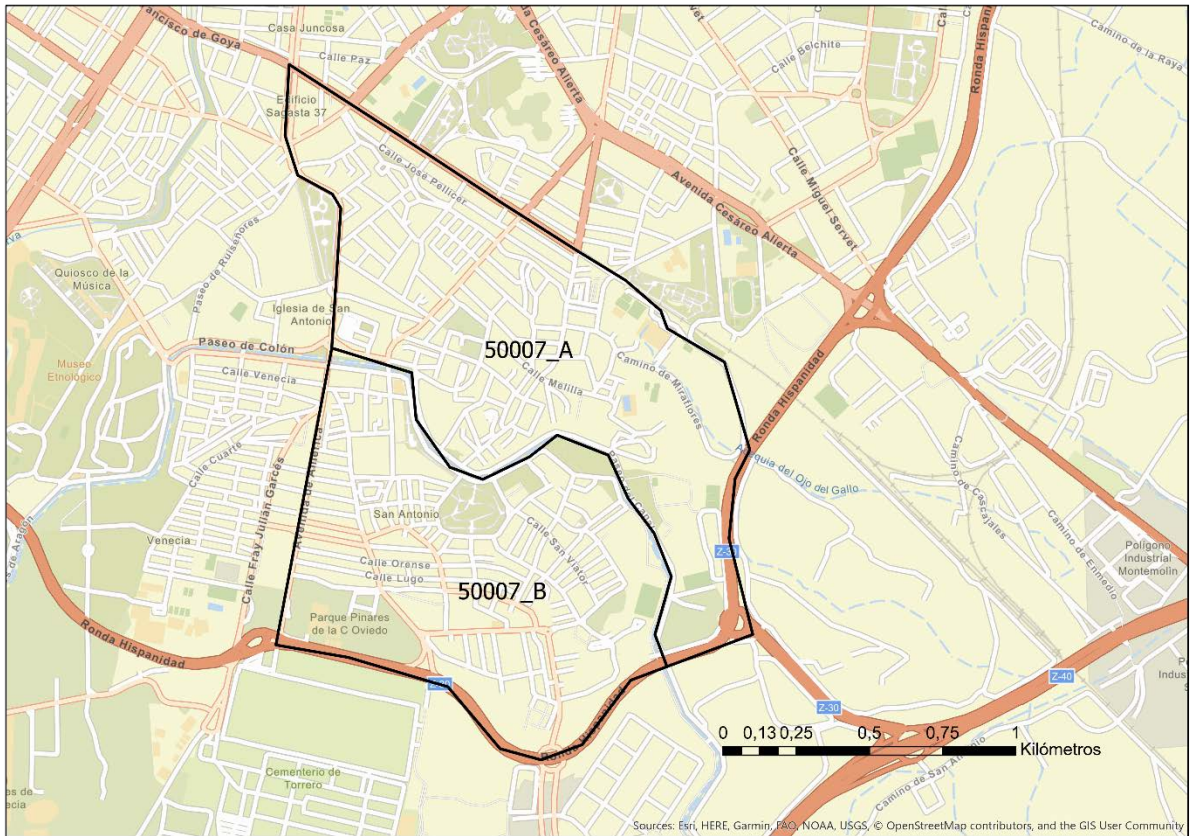


Figura 16. División código 50007

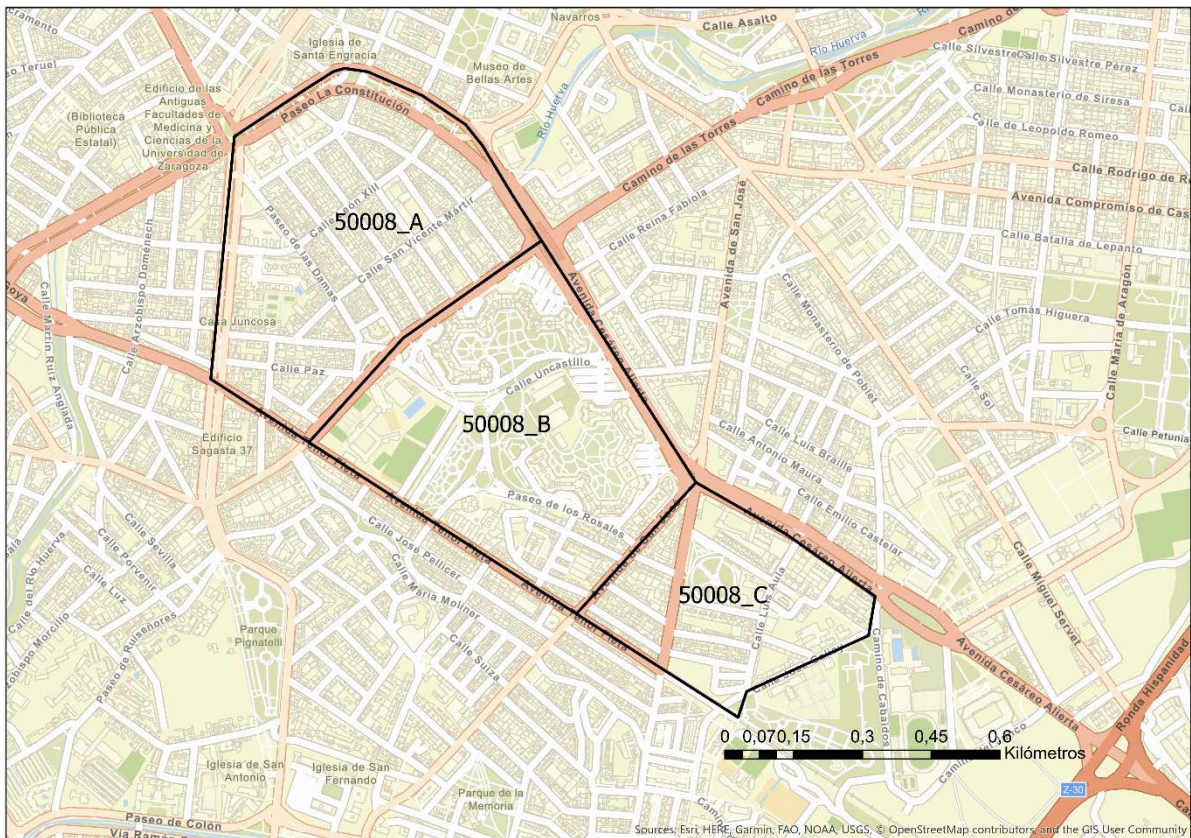


Figura 17. División código 50008

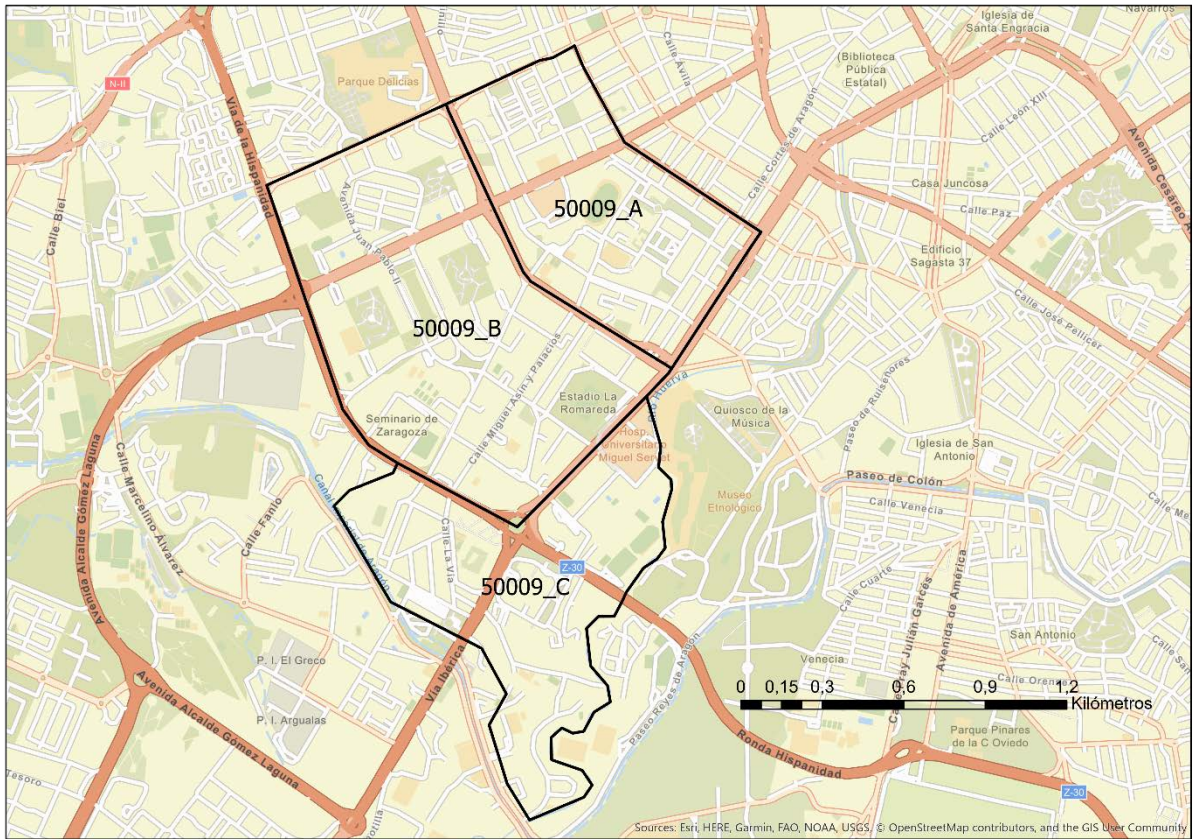


Figura 18. División código 50009

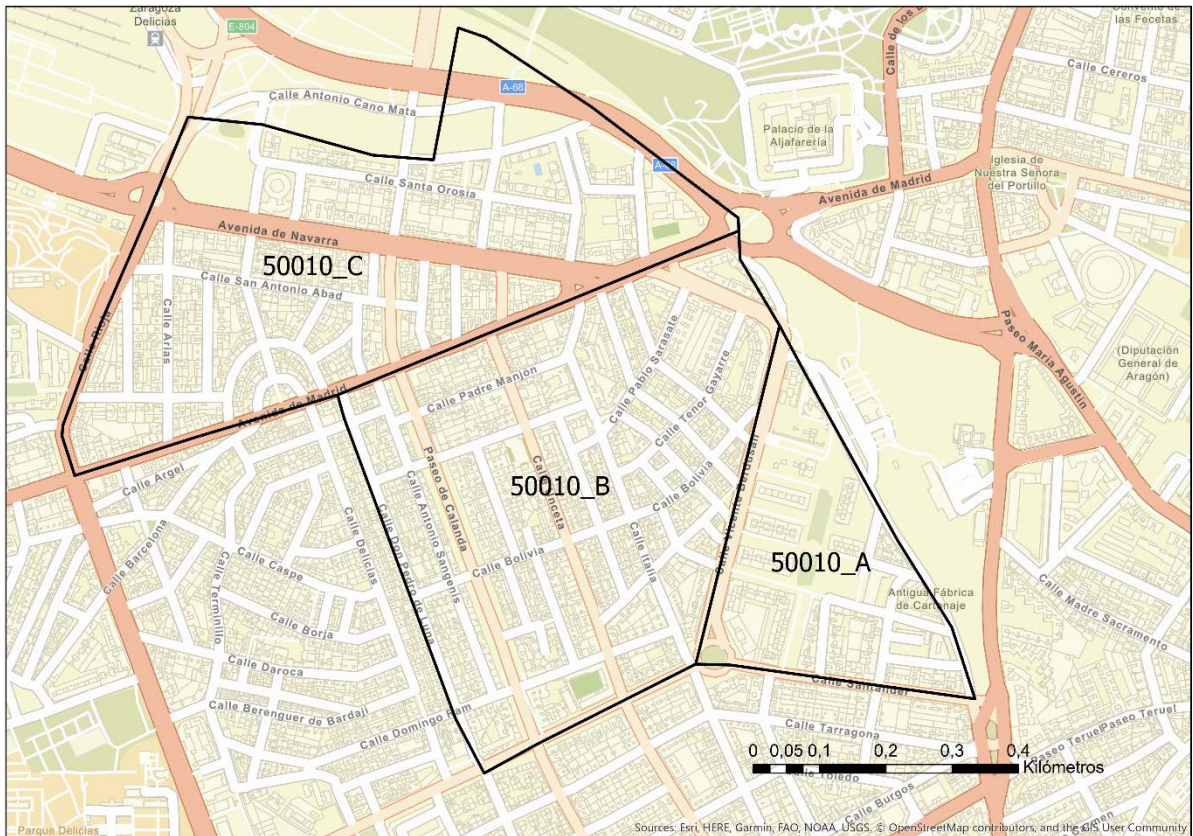


Figura 19. División código 50010

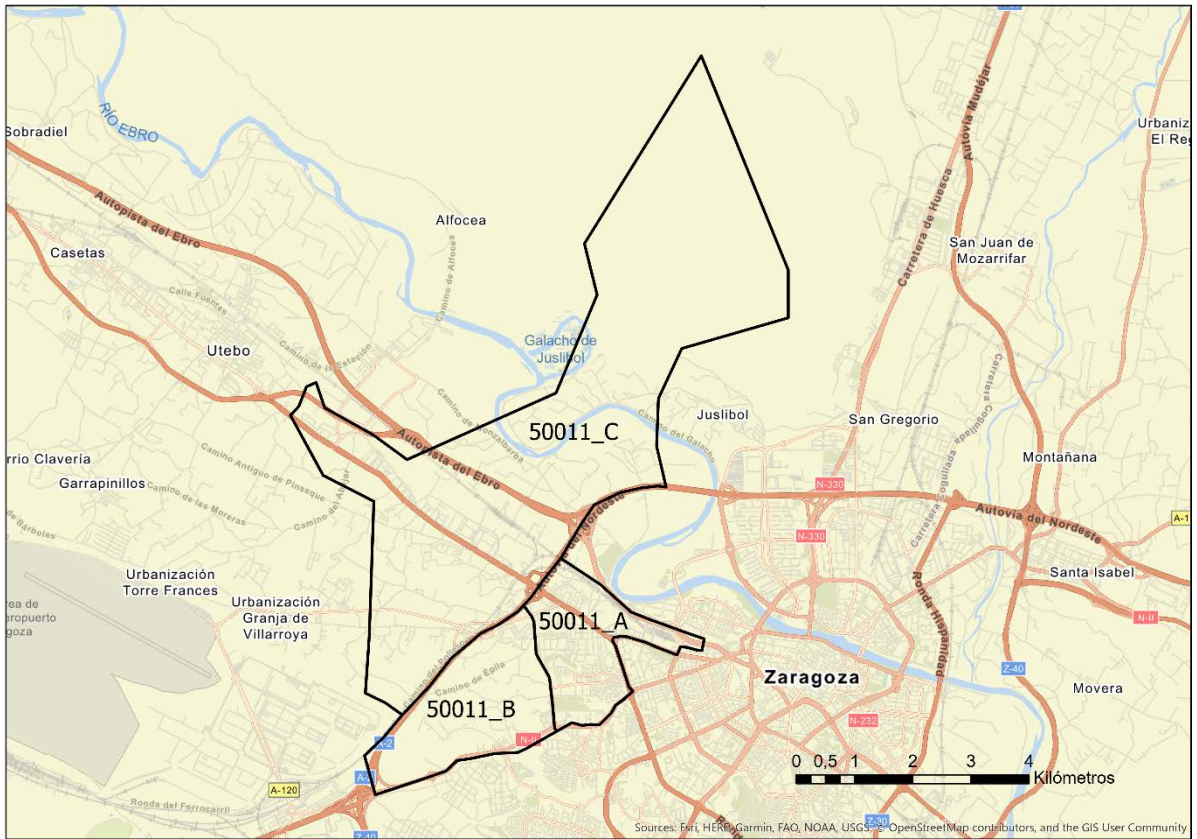


Figura 20. División código 50011

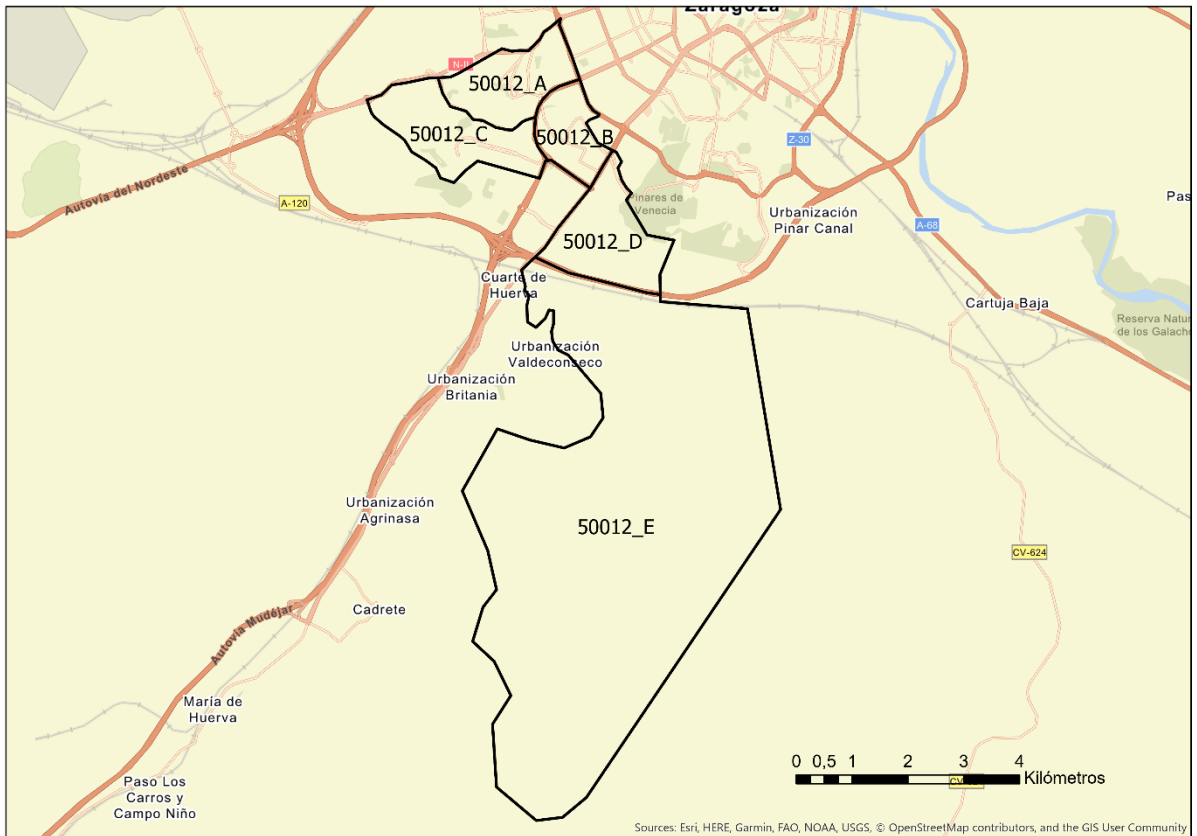


Figura 21. División código 50012

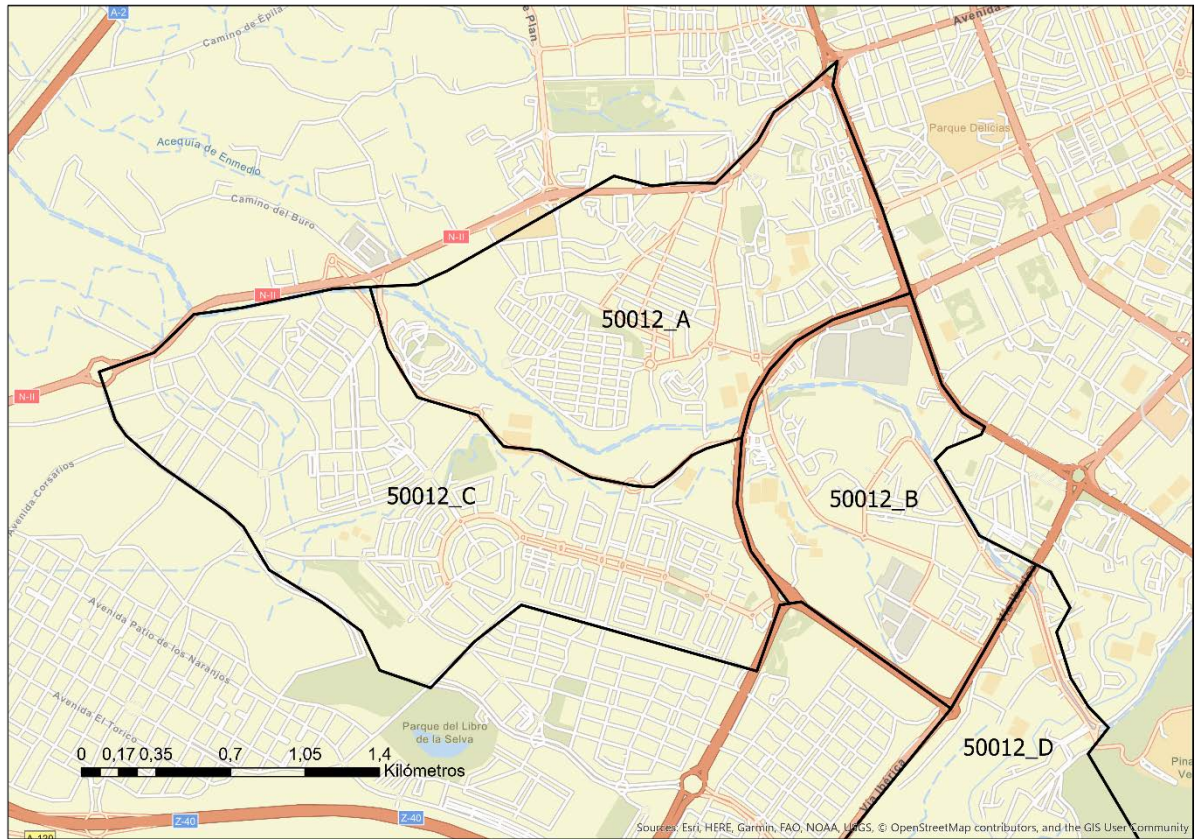


Figura 22. División código 50012 (ampliación)

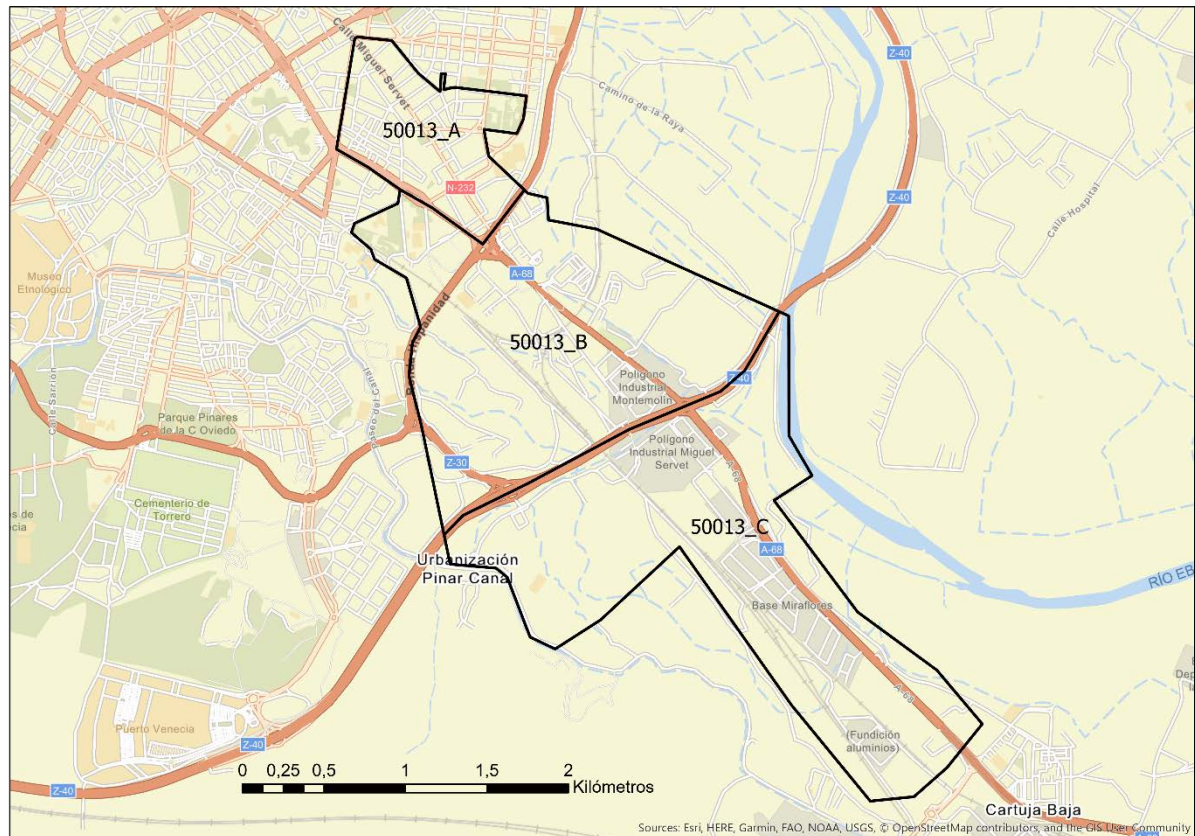


Figura 23. División código 50013

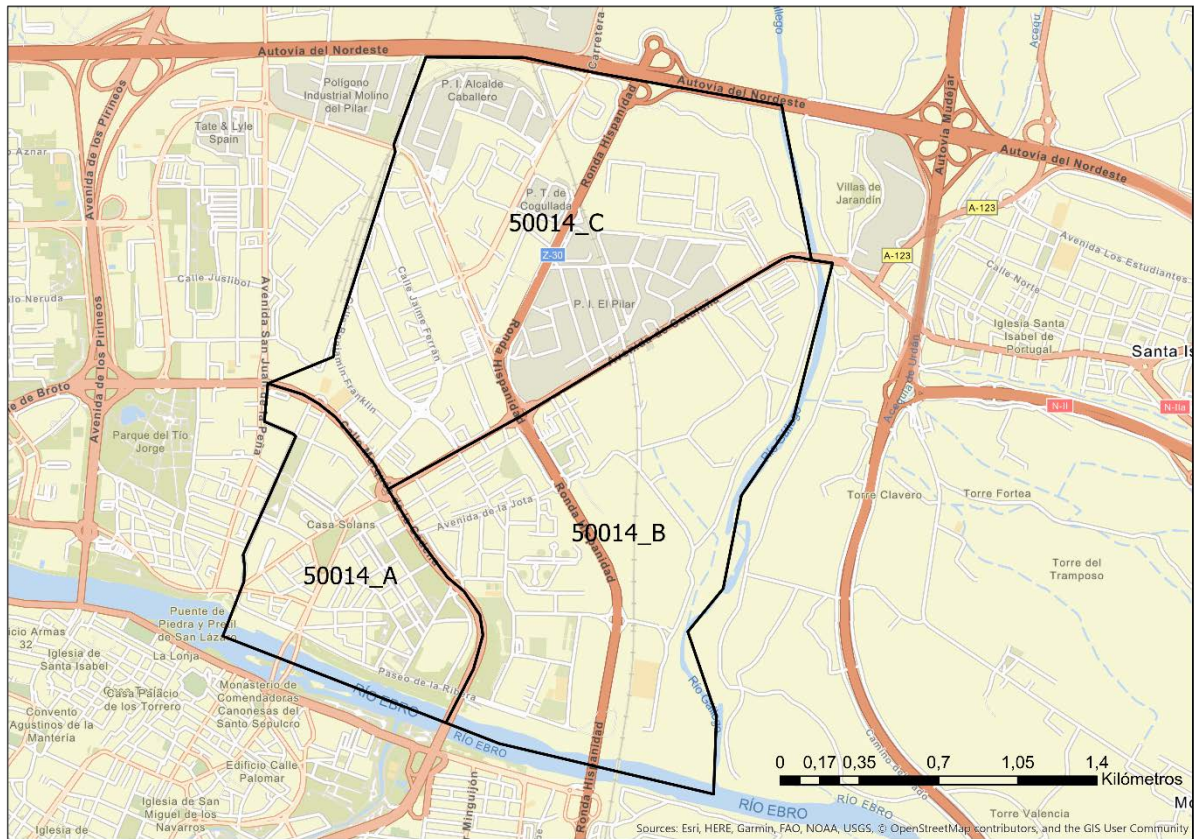


Figura 24. División código 50014

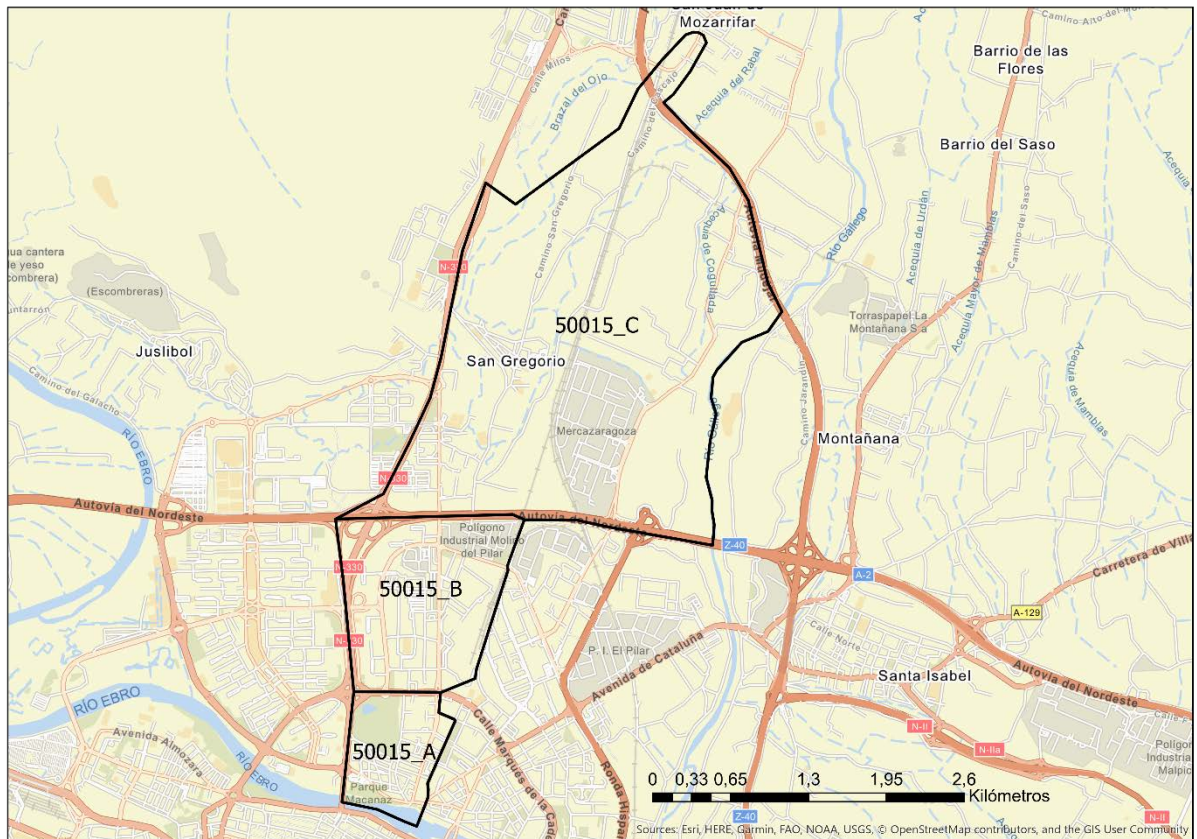


Figura 25. División código 50015

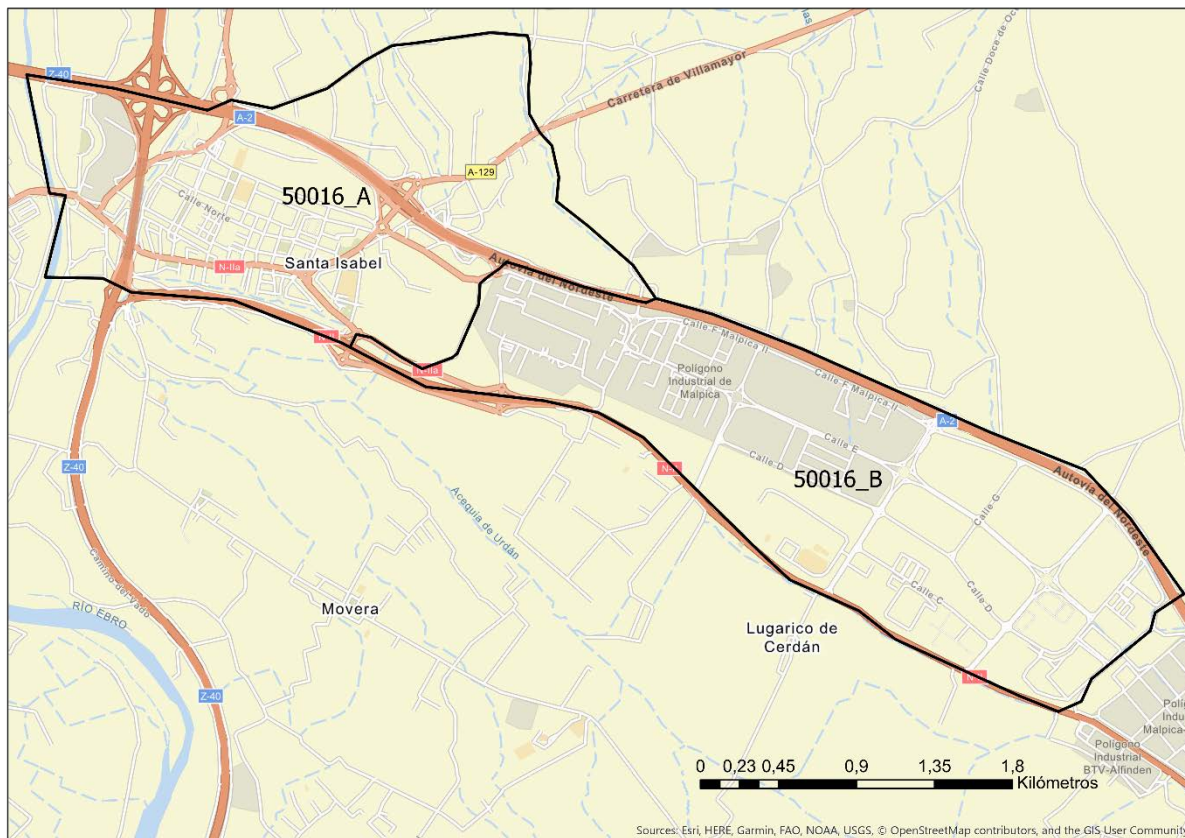


Figura 26. División código 50016

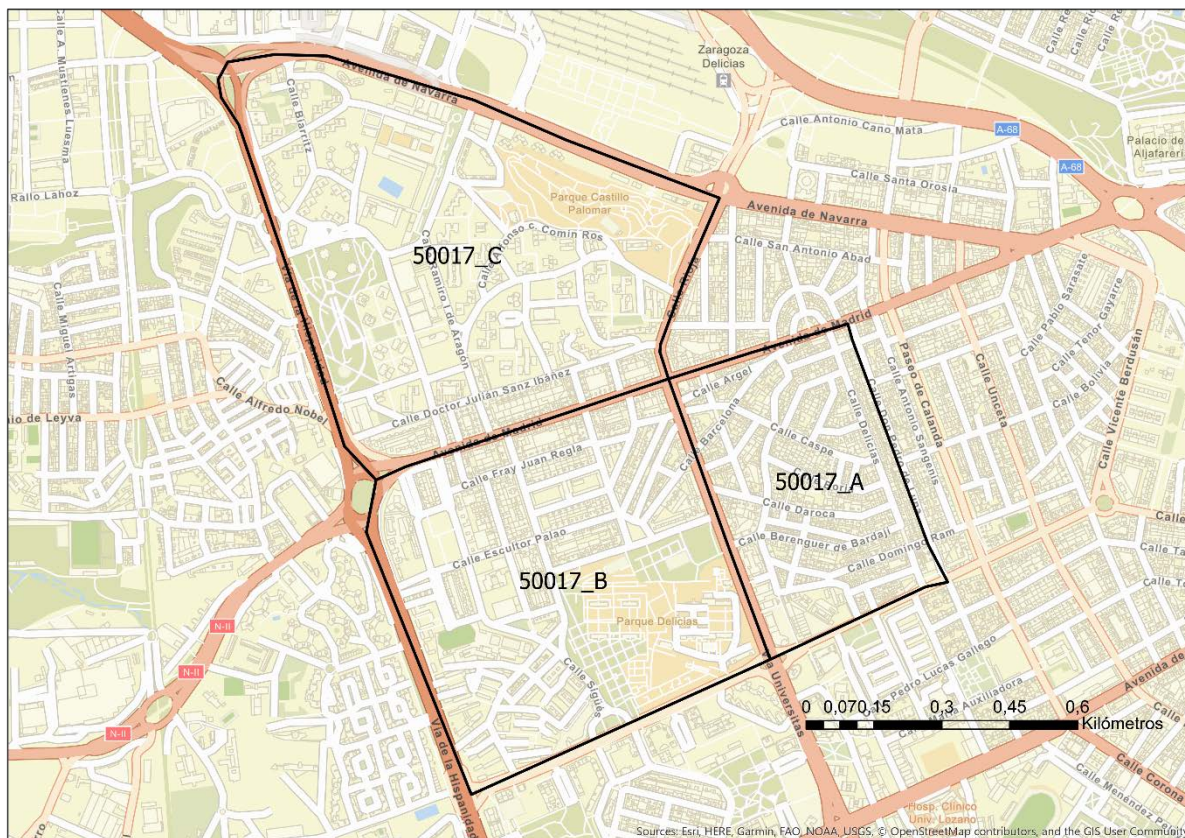


Figura 27. División código 50017

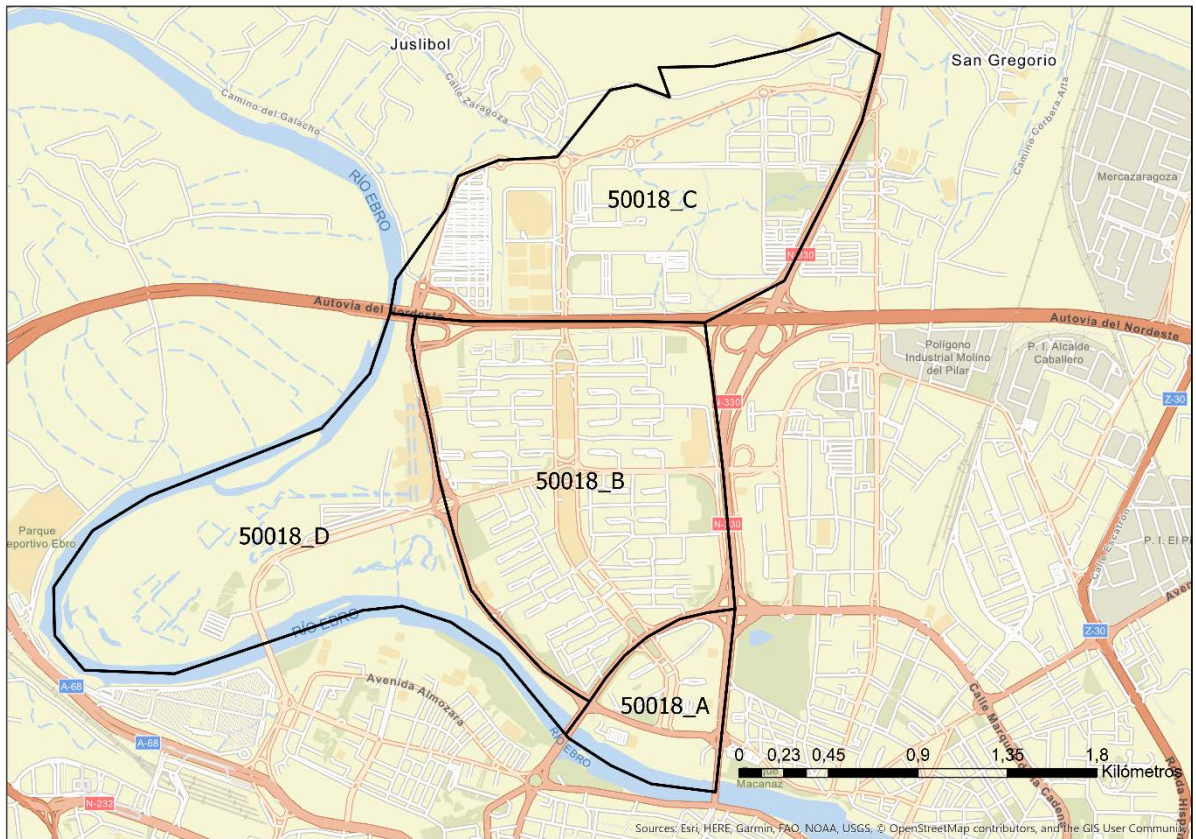


Figura 28. División código 50018



Figura 29. División código 50019

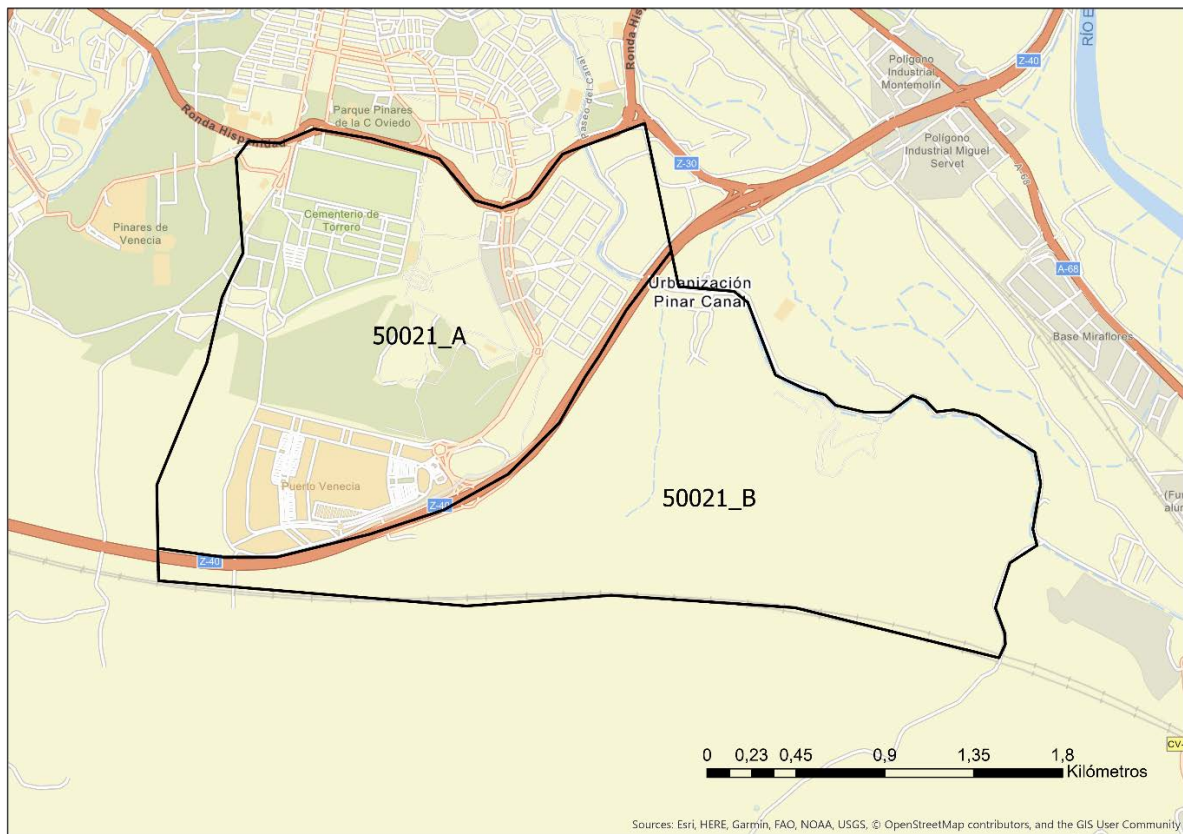


Figura 30. División código 50021

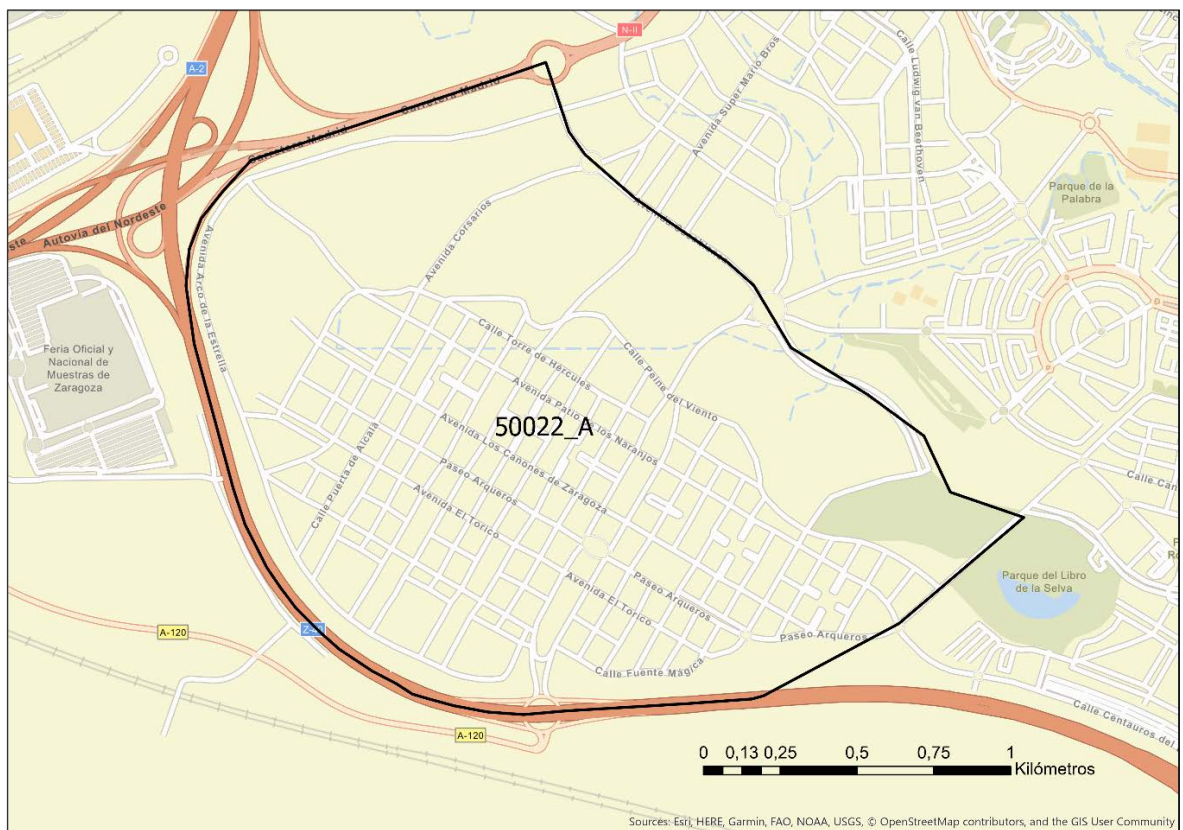


Figura 31. División código 50022

4.3 Información geográfica del estudio

A continuación, se muestran las distintas capas de información geográfica que hemos utilizado para realizar nuestro estudio. También se detallará de una manera minuciosa la obtención y tratamiento de la información requerida para el trabajo.

4.3.1 Capa información demográfica

Para la obtención de la información demográfica de la ciudad de Zaragoza, nos hemos dirigido a la página web del Ayuntamiento de Zaragoza. El ayuntamiento cuenta con una página específica de datos abiertos disponibles, siendo importante para nosotros la información específica acerca de “Indicadores demográficos: Distribución de la población”. Podemos obtener información acerca de:

- (TH) Distribución de población: Número de habitantes residentes en una delimitación espacial en una fecha concreta.
- (DP) Densidad de población: Relación entre las personas que, en una fecha concreta, vivían en una delimitación espacial y la superficie de la misma.
- (TR) Tamaño relativo: Porcentaje que supone la población de cada junta respecto al total de Zaragoza.

Para nuestro estudio nos interesa la información relativa a la densidad de población, ya que lo que nos importa para el estudio son las zonas con mayor densidad poblacional por zonas de la ciudad, para así poder visualizar las zonas donde más demanda tendremos de paquetería.

La información puede ser descargada en diversos formatos de datos, ya sea CSV, JSON, ODS o Excel. Nosotros descargamos la información en el lenguaje JSON (JavaScript Object Notation) ya que es el lenguaje más adecuado para la lectura de la información en softwares de Información Geográfica.

Una vez introducida toda la información geográfica en ArcGIS podemos observar de manera sencilla todas las zonas delimitadas por polígonos. Como ya comentamos en el anterior capítulo, la simbología empleada para la representación de los datos son 3 grupos de valores, siendo las zonas oscuras las que mayor densidad concentran, y las zonas blancas con menos densidad poblacional. En la siguiente figura puede observarse la capa obtenida y su representación.

Cabe destacar que, siendo esta información descargada de una base de datos de ayuntamiento, la caracterización de la ciudad de Zaragoza no se ha realizado como en las otras dos capas (división de códigos postales), ya que esta representación obtenida refleja una caracterización de la densidad poblacional más exacta. Por eso, no tendría sentido modificar esta diferenciación ya que resulta más concreta de esta manera, no impidiendo así la correcta representación final de las diferentes capas con sus respectivas ponderaciones.



Figura 32. Capa densidad de población

A continuación, se dispone una figura de la misma capa, focalizando el estudio en la zona central de la ciudad de Zaragoza, donde se encuentran la mayoría de zonas con elevada densidad de población. También se representa la capa con una apariencia del 50% para poder visualizar en el mapa callejero de Zaragoza.

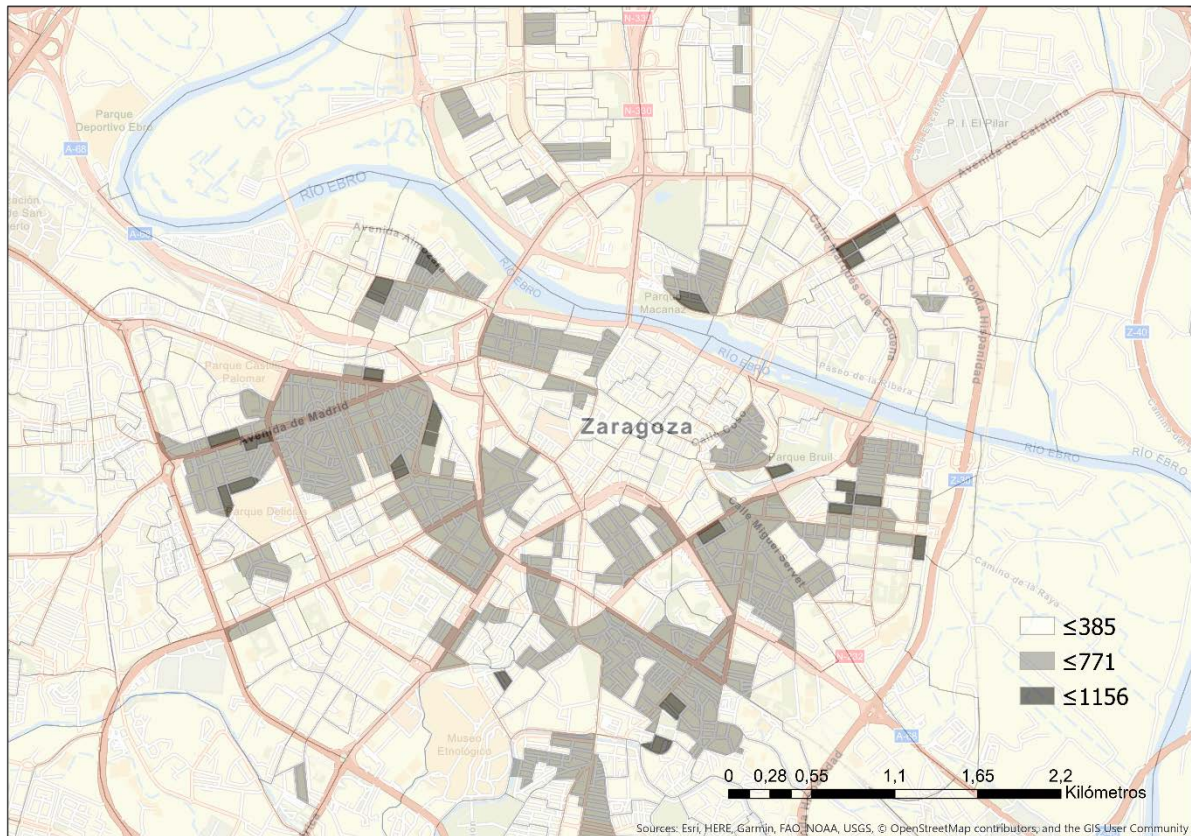


Figura 33. Capa densidad de población con apariencia 50%

También se ha realizado en esta capa, como se comentó en el apartado de ponderación del capítulo 3, una reclasificación de los valores a la escala absoluta escogida de 1 al 3.

4.3.2 Capa información del comercio

Vamos a comenzar este apartado explicando la obtención de la información para nuestro caso de estudio. La información relevante a los comercios en la ciudad de Zaragoza la tiene el ayuntamiento de la ciudad. La obtención de estos datos no resulta nada sencilla a diferencia de los datos de población. Para ello, se requirió la ayuda de un experto del ayuntamiento para aprender el complejo funcionamiento de la herramienta API REST Zaragoza.

Esta herramienta funciona con códigos HTTP de respuesta, pudiendo dar la información de diversos formatos y lenguajes de programación. La extensión del formato requerida para nuestro SIG es *.json* o por defecto *.geojson*. De esta manera, hemos podido ir obteniendo la información de todo tipo de comercio excluyendo el HORECA.

Una vez obtenida toda la información, obtenemos una primera capa de puntos con todos los locales comerciales de la ciudad. Esta primera capa se muestra en la siguiente figura.

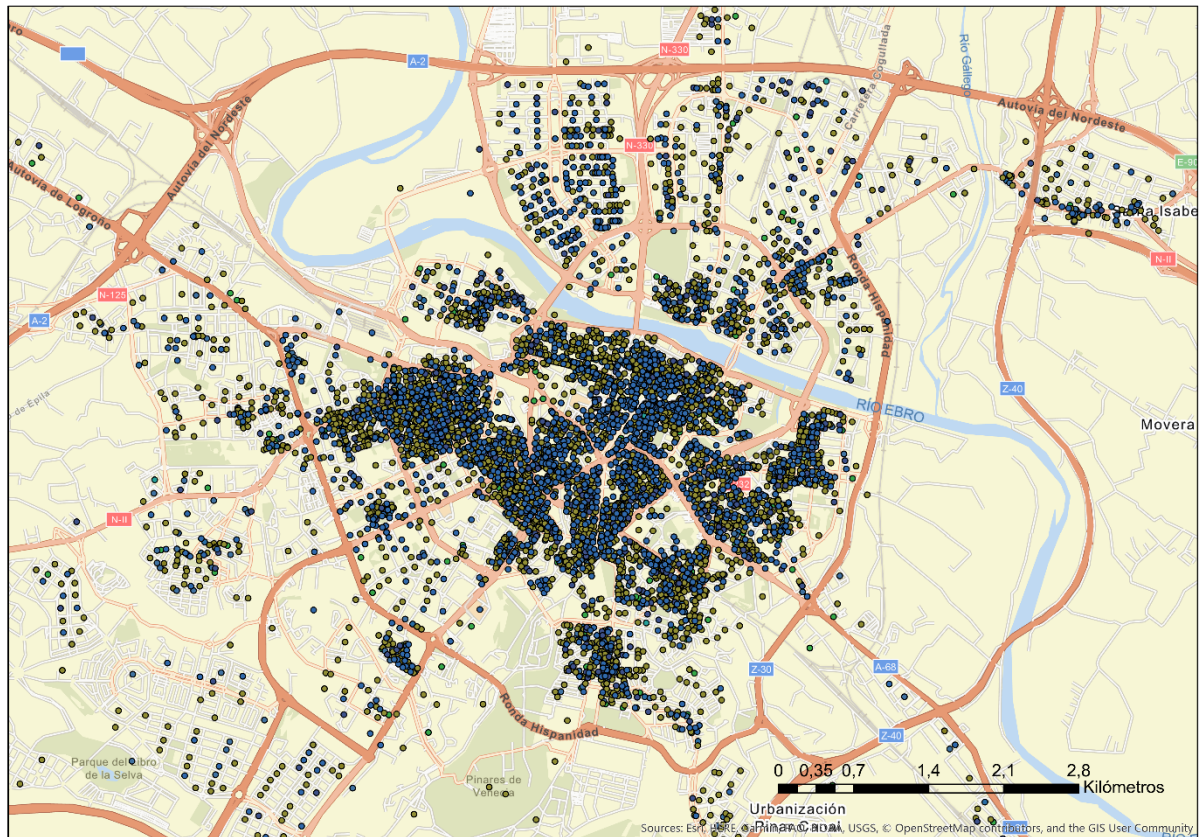


Figura 34. Representación comercios SIG

Una vez obtenidos todos los puntos, tendremos que realizar un conteo exacto de número de locales para cada código. Este conteo se realiza mediante una herramienta que cuenta las entidades, en este caso locales, dentro de un polígono dado. La siguiente figura muestra cómo se obtuvieron los locales en el código 50008_A.

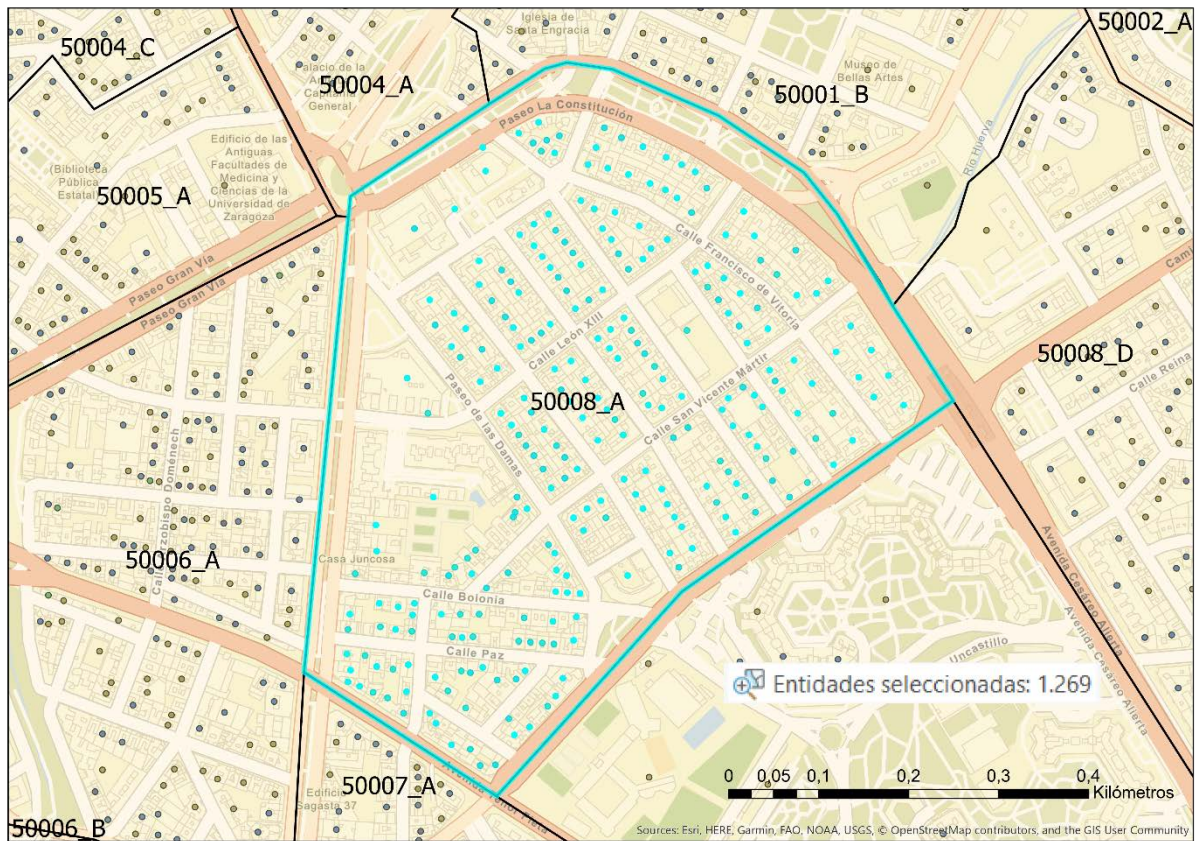


Figura 35. N° locales comerciales 50008_A

Este mismo proceso de conteo se realizando obteniendo el número exacto de locales en todos los códigos postales. Después de obtenerlos, dividiremos el número total de comercios en cada división entre dicha área. De esta manera obtendremos en ArcGis una tabla de información exacta a la mostrada a continuación.

CODIGO POSTAL	Nº DE COMERCIOS	HECTAREAS	<i>Nº de comercios</i> <i>Hectárea</i>
50001_A	484	28,653	16,892
50001_B	716	27,634	25,910
50002_A	315	59,474	5,296
50002_B	828	108,049	7,663
50002_C	1	324,922	0,003
50003_A	1058	74,499	14,201
50003_B	522	177,813	2,936
50003_C	0	231,563	0,000
50004_A	936	51,912	18,031
50004_B	50	17,505	2,856
50004_C	327	20,726	15,777
50005_A	460	17,807	25,833
50005_B	476	19,616	24,265
50005_C	390	19,443	20,058
50006_A	624	30,283	20,606
50006_B	408	63,333	6,442
50006_C	28	51,615	0,542
50007_A	827	116,434	7,103
50007_B	290	124,160	2,336
50007_C	248	112,219	2,210
50007_D	6	69,999	0,086
50008_A	1269	35,785	35,434
50008_B	192	35,246	5,447
50008_C	137	17,544	7,809
50008_D	435	24,804	17,537
50009_A	219	66,683	3,284
50009_B	476	117,699	4,044
50009_C	145	79,563	1,822
50010_A	108	11,395	9,478
50010_B	760	32,569	23,335
50010_C	369	32,490	11,357
50011_A	406	398,882	1,018
50011_B	46	531,839	0,086
50011_C	51	2938,058	0,017
50012_A	134	249,186	0,538
50012_B	91	155,875	0,584
50012_C	121	300,387	0,403
50012_D	6	295,867	0,020
50012_E	0	3395,188	0,000

50013_A	631	82,489	7,650
50013_B	14	283,387	0,049
50013_C	32	323,635	0,099
50014_A	297	91,666	3,240
50014_B	326	236,935	1,376
50014_C	192	255,959	0,750
50015_A	279	76,065	3,668
50015_B	373	183,588	2,032
50015_C	91	787,604	0,116
50016_A	221	407,295	0,543
50016_B	121	451,402	0,268
50017_A	707	26,208	26,976
50017_B	400	50,749	7,882
50017_C	256	63,498	4,032
50018_A	76	49,765	1,527
50018_B	1338	229,166	5,839
50018_C	43	219,725	0,196
50018_D	39	202,597	0,193
50019_A	129	131,483	0,981
50019_B	45	164,806	0,273
50021_A	352	380,826	0,924
50021_B	0	372,560	0,000
50022_A	9	358,743	0,025

Tabla 5. Densidad de comercio

Por último, procedemos a representar dicha densidad de comercio como se ha comentado en la simbología de las capas, obteniendo la siguiente distribución de comercios:

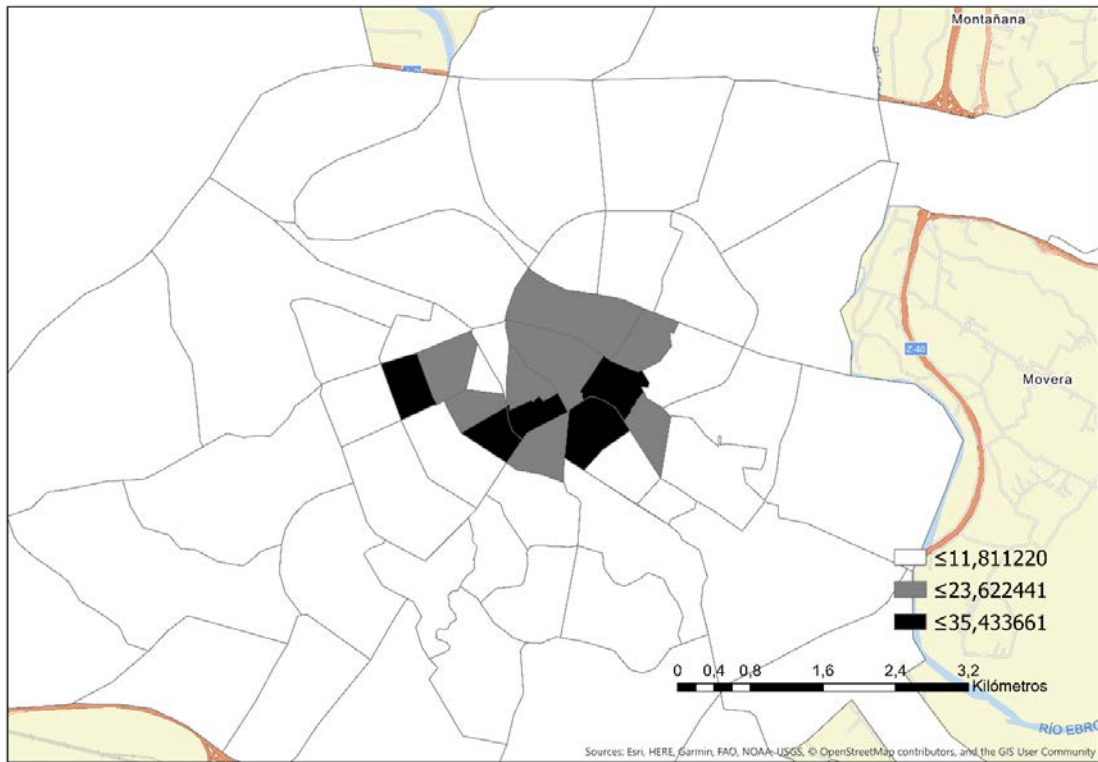


Figura 36. Capa densidad de comercio

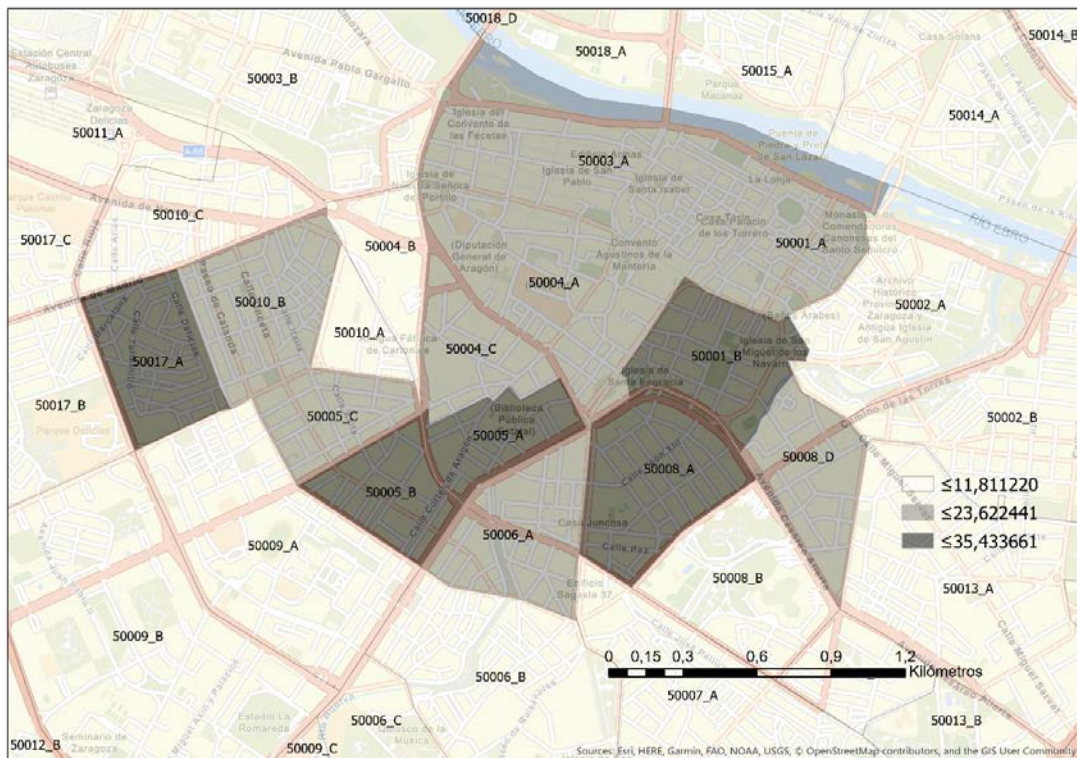


Figura 37. Capa densidad comercio en zona de interés

4.4 Resultados caracterización SIG

Para obtener los resultados de la caracterización de la zona urbana, vamos a proceder a realizar una ponderación de ambas capas obtenidas y explicadas anteriormente. De esta manera, podemos obtener una ponderación de las zonas con diferentes densidades de comercio y de población, pudiendo así realizar una identificación de las 3 densidades propuestas en códigos postales reales. El resultado obtenido se muestra en la siguiente imagen.

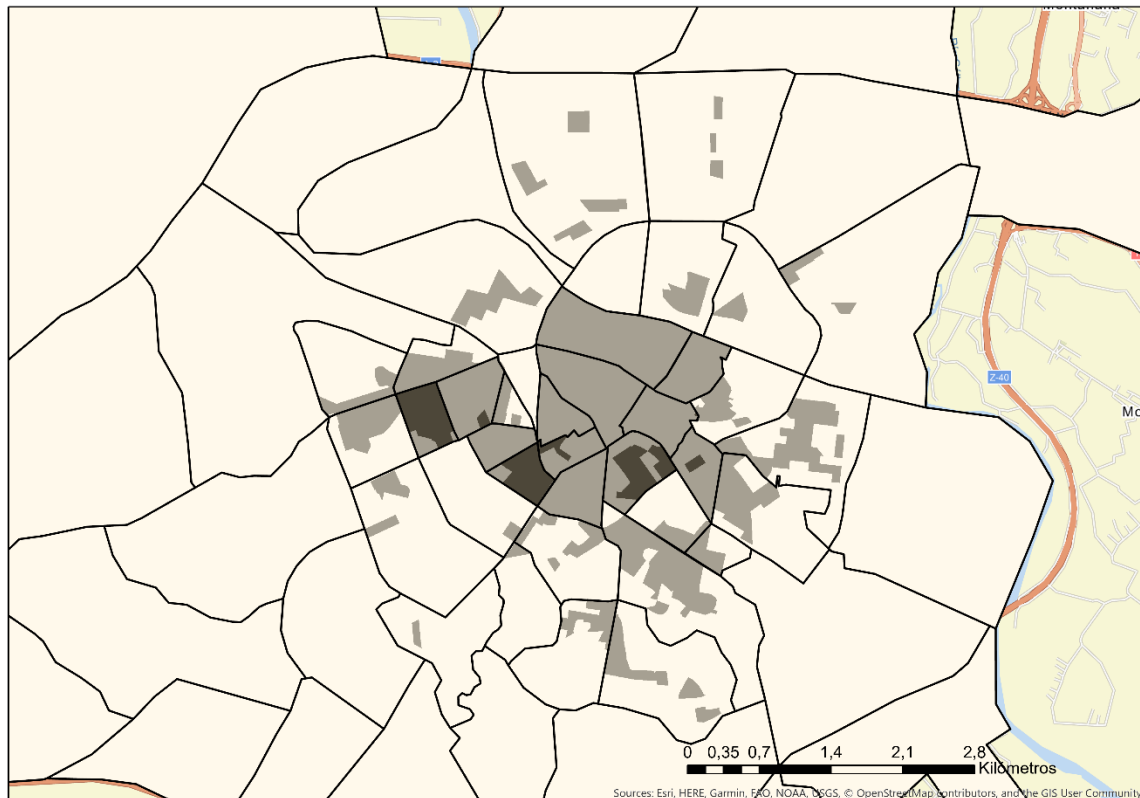


Figura 38. Caracterización zona urbana

Podemos observar como en nuestro centro urbano, los códigos postales que cumplirían con la especificación de alta densidad serían los códigos 50017_A, 50005_B y 50008_A. También podemos observar los códigos con media densidad y baja densidad. A continuación, mostramos imágenes de tres códigos que cumplen a la perfección con su especificación de densidad.

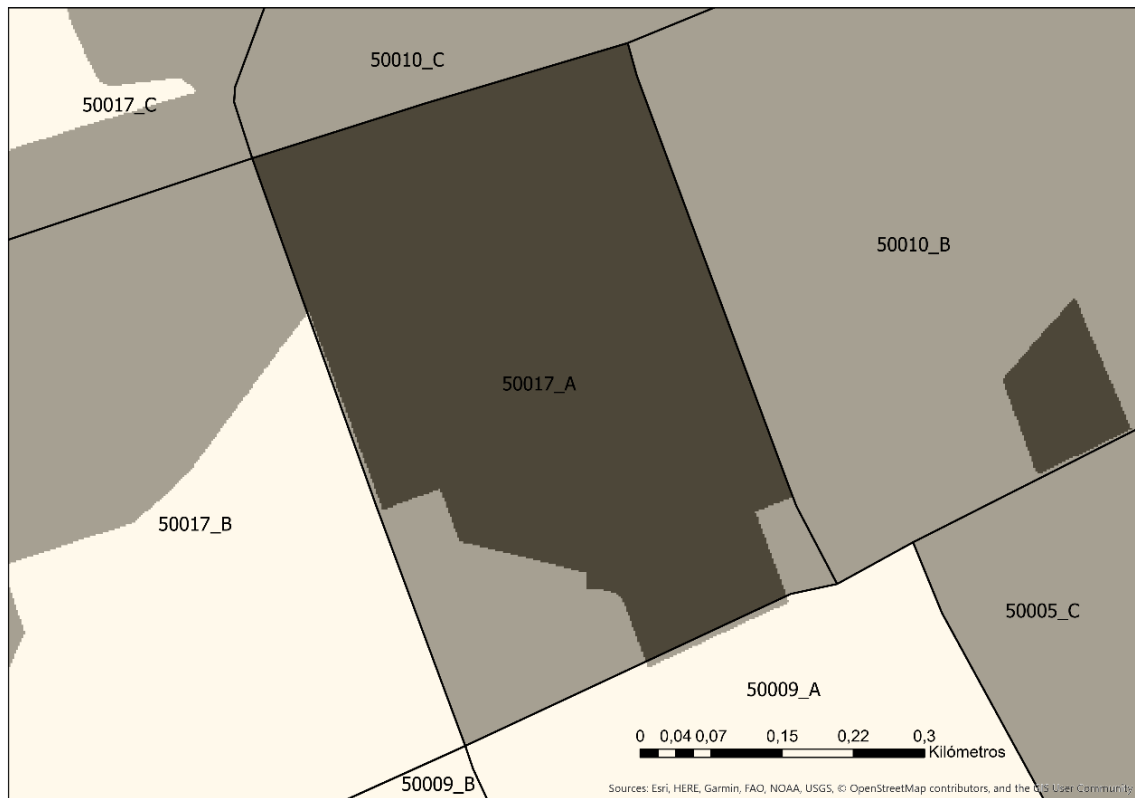


Figura 39. Zona urbana alta densidad. Código 50017_A



Figura 40. Zona urbana media densidad. Código 50004_A

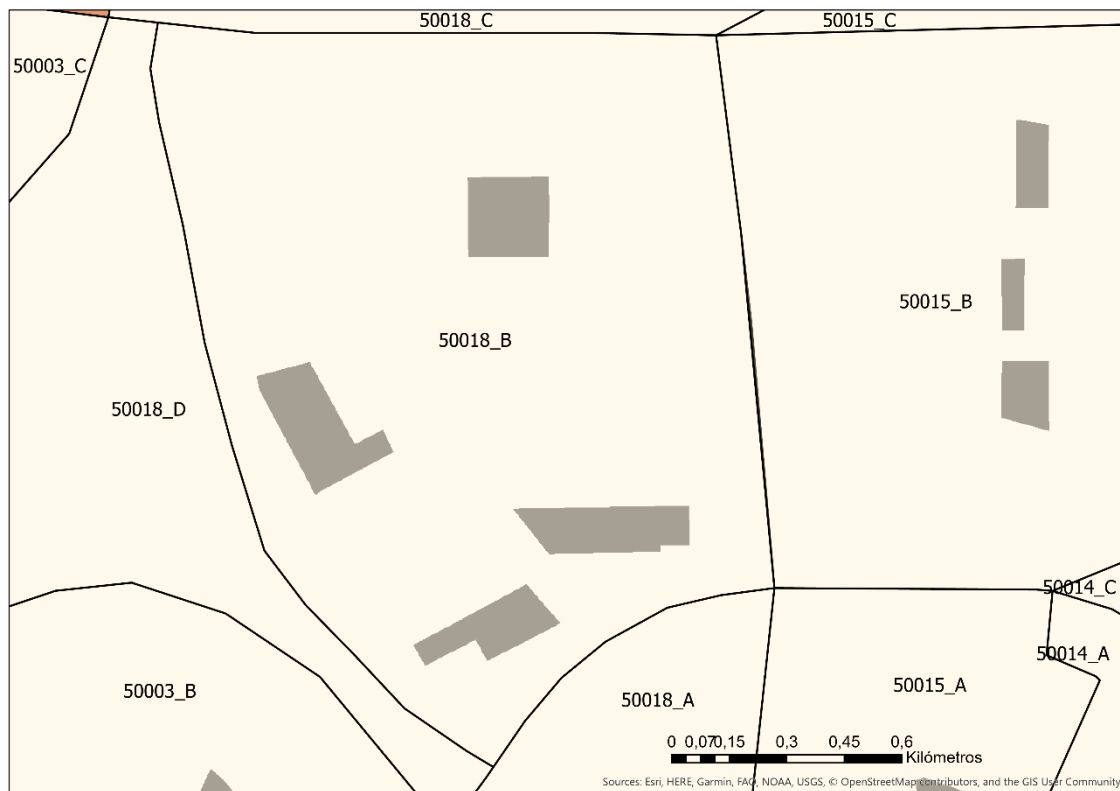


Figura 41. Zona urbana baja densidad. Código 50018_B

4.5 Resultados Superdecisiones

En cuanto al estudio del método jerárquico, tendremos un vector propio de los criterios mostrado en el Capítulo 3, y 11 vectores propios de las alternativas para cada subcriterio con los que formamos la matriz de vectores propios de alternativas. Dichos 11 vectores los mostramos a continuación. Esta matriz de vectores de las alternativas también se ha obtenido mediante una encuesta a expertos, llegando a un consenso común.

ALTERNATIVAS	INVERSION INICIAL	MANTENIMIENTO	COSTE EMPLEADOS
CDUM GRANDE	7,82%	7,27%	5,45%
CDUM PEQUEÑO	17,14%	20,50%	17,34%
LOCKER	75,04%	72,23%	77,21%

Tabla 6. Ponderación alternativas respecto criterios económicos

ALTERNATIVAS	VOLUMEN DE TRABAJO	TAMAÑO DE PAQUETERIA	VELOCIDAD DE OPERACIÓN
CDUM GRANDE	72,19%	68,71%	11,11%
CDUM PEQUEÑO	22,71%	24,37%	11,11%
LOCKER	5,10%	6,92%	77,78%

Tabla 7. Ponderación alternativas respecto criterios operativos

ALTERNATIVAS	DISPONIBILIDAD HORARIA	ATENCION AL PUBLICO	CREACION PUESTOS TRABAJO
CDUM GRANDE	12,50%	72,19%	71,88%
CDUM PEQUEÑO	12,50%	22,71%	22,33%
LOCKER	75,00%	5,10%	5,79%

Tabla 8. Ponderación alternativas respecto criterios sociales

ALTERNATIVAS	EMISIONES	IMPACTO VISUAL
CDUM GRANDE	71,07%	20,21%
CDUM PEQUEÑO	24,31%	9,72%
LOCKER	4,62%	70,07%

Tabla 9. Ponderación alternativas respecto criterios medioambientales

Con todo esto, podemos obtener finalmente el resultado del estudio con *SuperDecisions*, un vector solución que nos indica el peso de cada alternativa, y que por lo tanto nos permite elegir la mejor de ellas.

Vamos a tener 3 soluciones, una para el estudio de alta densidad, otra para densidad media y una para baja densidad.

- Alta densidad de mercancías y paquetería.

Alternativas	Peso final
CDUM grande	0,595
CDUM pequeño	0,212
Locker	0,193

Tabla 10. Ponderación final alternativas para alta densidad

Para este caso, el método nos dice que la alternativa a elegir es el CDUM grande con una diferencia de peso muy significativa respecto a las otras dos alternativas.

- Densidad media de mercancías y paquetería.

Alternativas	Peso final
CDUM grande	0,476
CDUM pequeño	0,198
Locker	0,326

Tabla 11. Ponderación final alternativas para media densidad

Para el caso de una densidad media, la alternativa preferida sigue siendo el CDUM grande, pero podemos observar como su peso es inferior al anterior y que el Locker coge importancia.

- Baja densidad de mercancías y paquetería.

Alternativas	Peso final
CDUM grande	0,17
CDUM pequeño	0,169
Locker	0,661

Tabla 12. Ponderación final alternativas para baja densidad

Por último, en la situación de baja densidad, el modelo adoptado nos muestra como la mejor alternativa para este caso es el Locker.

Interesante comentar como en ninguno de los casos el centro de distribución mediano es la alternativa preferida.

Capítulo 5

Conclusiones y líneas futuras

El presente TFG de investigación pretende sentar las bases para obtener un procedimiento de estudio en zonas urbanas para satisfacer la demanda de distribución de la manera más directa y eficiente. Para ello se ha dispuesto de unas herramientas de caracterización de las zonas y una metodología de toma de decisiones, las cuales nos han permitido por zonas de la ciudad obtener la distribución urbana óptima.

Con esto hemos intentado comenzar una línea de estudio para poder resolver los problemas actuales de logística en las grandes zonas urbanas. Esta guía de estudio sienta solamente las bases del problema real, siendo necesaria una serie de consideraciones que hagan la solución cada vez más precisa para una correcta implementación en la vida real.

La conclusión obtenida acerca de la caracterización urbana es que de una forma directa y visual podemos saber de manera objetiva las zonas del centro urbano en las que vamos a tener mucho movimiento de paquetería y zonas en las que vamos a tener menos. La conclusión acerca de la accesibilidad como capa SIG para el estudio es que resulta muy complejo la correcta caracterización por parte del usuario y del repartidor, teniendo en cuenta demasiadas variables que darían para un proyecto único.

La conclusión acerca de la toma de decisión multicriterio es que, de una forma completamente objetiva, sin presuponer que centro logístico sería el mejor para cada zona, hemos podido obtener una solución acerca de la mejor de las alternativas para cada una de las zonas.

Como anteriormente se ha comentado, este trabajo intenta crear un punto de partida acerca del estudio de la idoneidad en la distribución urbana de mercancías, teniendo muchas continuaciones y mejoras para futuras líneas de investigación. A continuación, se proponen algunas de ellas:

- Estudio en profundidad acerca de la accesibilidad por parte de los usuarios y por parte de la logística de la distribución.
- Estudio de mercado para determinar el consumo de mercancía por sectores de comercios, existiendo sectores con un mayor consumo de mercancías y paquetería.

- Consideración de interrelación entre los criterios y subcriterios de diferentes niveles de la jerarquía. Para ello emplear la metodología multicriterio Analytic Network Process (ANP)

Como valoración personal, creo que los resultados obtenidos en este TFG han sido de gran satisfacción personal, debido a los conocimientos alcanzados en una materia desconocida para mi antes de este proyecto.

Capítulo 6

Bibliografía

Desarrollador ESRI. Software ArcGis Pro.

Enlace: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/>

Creative Decisions Foundation. Software Superdecisions.

Enlace: <http://www.superdecisions.com>

Ayuntamiento de Zaragoza. Datos abiertos.

Enlace: <https://www.zaragoza.es/sede/portal/datos-abiertos/>

Fontana Viñuales, Manuel. 2015. *Métodos de decisión multicriterio AHP y PROMETHEE aplicados a la elección de un dispositivo móvil*. Sevilla, España.

Yepes Piqueras, Víctor. *Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP)*.

Enlace web: victoryepes.blogs.upv.es/

Yepes Piqueras, Víctor. *Clasificación de los métodos de toma de decisión multicriterio multiatributo*. Enlace web: victoryepes.blogs.upv.es/

Ministerio Transición Económica Cartografía y SIG.

Enlace: <https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/>

Consejo Económico y Social de España (CES).

Fundación FEDEA 'Fundación de Estudios de Economía Aplicada' *Atascos y contaminación en grandes ciudades: Análisis y soluciones*

Servicio de Informática y Comunicaciones de la Universidad de Zaragoza. Gestión de software corporativo ArcGIS.

Saaty, T.L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw-Hill.

Editor datos mapa. Mapshaper. Enlace: <https://mapshaper.org>

Servicio Citypaq Correos España. Documento en línea:

<http://www.formacion.sindicatolibre.org/ejecutivo/temario/unidad03/CITYPAQ.pdf>

Lista de Figuras

Figura 1. Construcción básica de AHP.....	16
Figura 2. Códigos Postales Zaragoza.....	17
Figura 3. Visor demográfico IDEZar	19
Figura 4. Representación comercios SIG.....	20
Figura 5. Modelo jerárquico a estudiar	23
Figura 6. Locker citypaq.....	29
Figura 7. Mapa Logístico de España.....	30
Figura 8. Código postal 50020.....	32
Figura 9. Código postal 50020 respecto ciudad de Zaragoza.....	32
Figura 10. División código 50001	33
Figura 11. División código 50002	33
Figura 12. División código 50003	34
Figura 13. División código 50004	34
Figura 14. División código 50005	35
Figura 15. División código 50006	35
Figura 16. División código 50007	36
Figura 17. División código 50008	36
Figura 18. División código 50009	37
Figura 19. División código 50010	37
Figura 20. División código 50011	38
Figura 21. División código 50012	38
Figura 22. División código 50012 (ampliación).....	39
Figura 23. División código 50013	39
Figura 24. División código 50014	40
Figura 25. División código 50015	40
Figura 26. División código 50016	41
Figura 27. División código 50017	41
Figura 28. División código 50018	42
Figura 29. División código 50019	42
Figura 30. División código 50021	43
Figura 31. División código 50022	43
Figura 32. Capa densidad de población.....	45
Figura 33. Capa densidad de población con apariencia 50%.....	46
Figura 34. Representación comercios SIG.....	47
Figura 35. Nº locales comerciales 50008_A.....	48
Figura 36. Capa densidad de comercio	51
Figura 37. Capa densidad comercio en zona de interés.....	51
Figura 38. Caracterización zona urbana.....	52

Figura 39. Zona urbana alta densidad. Código 50017_A.....	53
Figura 40. Zona urbana media densidad. Código 50004_A	53
Figura 41. Zona urbana baja densidad. Código 50018_B.....	54
Figura 42. Modelo jerárquico AHP	64
Figura 43. Matriz de comparación de criterios A	67
Figura 44. Matriz de comparación de criterios A normalizada	68
Figura 45. Clusters SuperDecisions	73
Figura 46. Nodos SuperDecisions.....	74
Figura 47. Conexiones SuperDecisions	74
Figura 48. Cuestionario criterios	75
Figura 49. Resultado cuestionario criterios	75
Figura 50. Resultado cuestionario subcriterios económicos.....	76
Figura 51. Resultado cuestionario subcriterios operativos.....	76
Figura 52. Resultado cuestionario subcriterios sociales.....	76
Figura 53. Resultado cuestionario subcriterios medioambientales.....	76
Figura 54. Cuestionario alternativas respecto 'Volumen de trabajo'	77
Figura 55. Resultado Cuestionario alternativas respecto 'Volumen de trabajo'	77
Figura 56. Ponderación final densidad alta	77

Lista de Tablas

Tabla 1. Escala fundamental de comparación por pares (Saaty, 1980)	25
Tabla 2. Ponderación local y global para alta densidad.....	26
Tabla 3. Ponderación local y global para media densidad	26
Tabla 4. Ponderación local y global para baja densidad.....	27
Tabla 5. Densidad de comercio.....	50
Tabla 6. Ponderación alternativas respecto criterios económicos	54
Tabla 7. Ponderación alternativas respecto criterios operativos	55
Tabla 8. Ponderación alternativas respecto criterios sociales	55
Tabla 9. Ponderación alternativas respecto criterios medioambientales.....	55
Tabla 10. Ponderación final alternativas para alta densidad	55
Tabla 11. Ponderación final alternativas para media densidad.....	56
Tabla 12. Ponderación final alternativas para baja densidad.....	56
Tabla 13. Índices aleatorios	66
Tabla 14. Ratios de consistencia	66
Tabla 15. Encuesta criterios y subcriterios	70
Tabla 16. Encuesta alternativas respecto subcriterios	72

Anexos

Anexo A

Fundamentos Teóricos del AHP

Introducción.

Muchas veces nos encontramos en unos entornos complejos donde los problemas que se plantean y que queremos resolver son cada vez más difíciles. La dificultad aumenta además cuando los criterios y justificaciones son en su mayoría aspectos cualitativos difíciles de cuantificar.

Para solucionar este tipo de problemas muy comunes en las situaciones reales, el profesor Thomas L.Saaty propuso en la década de 1970 un método llamado Analytic Hierarchy Process (AHP), traducido al español como Proceso Analítico Jerárquico. Este método multiatributo nació como respuesta a problemas concretos de toma de decisiones en el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, y a día de hoy se aplica en numerosos ámbitos de empresa, economía o investigación.

Resumidamente, el AHP es un método que selecciona alternativas en función de una serie de criterios o variables, normalmente jerarquizados, los cuales suelen entrar en conflicto. En esta estructura jerárquica, el objetivo final se encuentra en el nivel más elevado, y los criterios y subcriterios en los niveles inferiores, tal y como se muestra en la siguiente imagen.

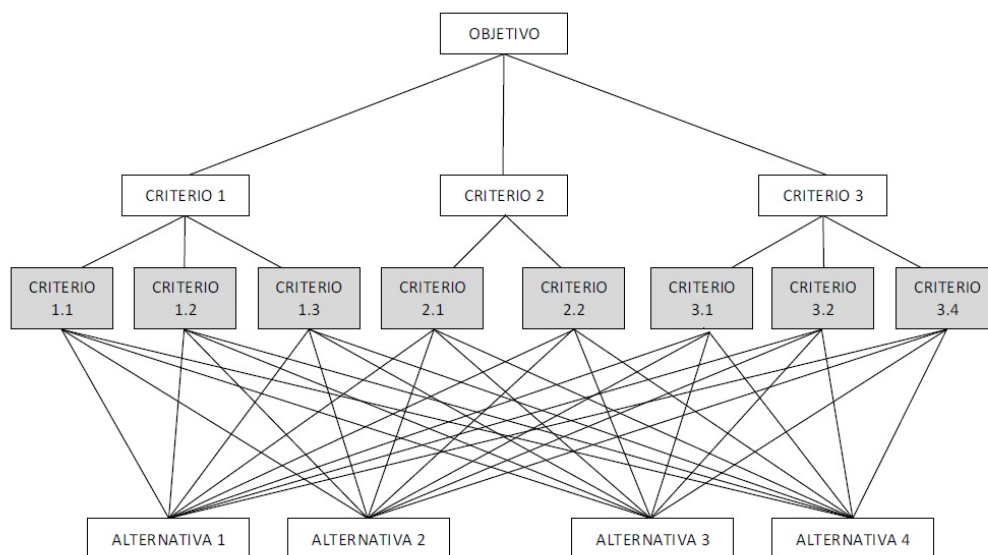


Figura 42. Modelo jerárquico AHP

Para que este método sea efectivo, es importante elegir bien los criterios y los subcriterios, los cuales deben estar bien definidos, ser relevantes e independientes entre ellos. También es importante que el número de criterios y subcriterios en cada nivel no sea superior a 7, para evitar excesivas comparaciones a pares. Para entender el funcionamiento del modelo hay que resaltar que algunos criterios pueden estar en oposición, por lo que la mejor alternativa no será la que maximice cada uno de los criterios, sino la que ofrezca un mejor equilibrio entre estos.

Funcionamiento del modelo.

Para la correcta explicación del modelo matemático del método nos hemos ayudado del proyecto de fin de carrera de D. Manuel Fontana Viñuales acerca del método de decisión multicriterio AHP, donde profundiza en la raíz matemática del método.

El método AHP genera un peso para cada criterio acorde con la comparación entre los criterios realizada por el *decisión-maker*. El criterio que mayor peso tenga, mayor importancia se le otorga.

A continuación, para cada uno de los criterios, el método asigna una puntuación a cada alternativa basándose en las comparaciones de estas para el criterio asignado. Esta puntuación también es acorde a la evaluación realizada por el *decisión-maker*.

Por último, el método combina los pesos de los criterios y las puntuaciones de las alternativas para obtener un peso global de cada alternativa, creando así un ranking de preferencia entre todas las alternativas posibles para nuestro objetivo. Esta puntuación global es una suma ponderada de las puntuaciones con respecto a todos los criterios.

Los cálculos realizados por el método AHP siempre van ligados a la experiencia del que toma las decisiones y relaciones entre variables.

Para realizar la comparación pareada se utiliza la **Escala Fundamental de Saaty** (ver Tabla 1). Esto es una de las claves del éxito de este método, ya que esta escala nos permite transformar aspectos cualitativos en cuantitativos, facilitando notablemente la comparación por pares y la comparación de alternativas. Los valores con los que se rellena el método, es decir, las matrices, serán números enteros extraídos de las comparaciones realizadas para el estudio. Estos valores comprenden una escala desde 1 hasta 9, cuyos valores tienen un significado en términos de importancia relativa entre pares.

Esta es la clave del método, usar una escala de comparación por pares, ya que el cerebro humano está especialmente diseñado para comparar dos alternativas entre sí, pero funciona peor cuando tiene que hacer comparaciones de muchos criterios a la vez.

La comparación de las alternativas respecto al criterio del nivel inferior, como la comparación de los diferentes criterios de un mismo nivel jerárquico dan lugar a una matriz cuadrada denominada **matriz de decisión**. Esta matriz cumple con las propiedades de reciprocidad (si $a_{ij}=x$, entonces $a_{ji}=1/x$), homogeneidad (si i y j son igualmente importantes, $a_{ij}=a_{ji}=1$, y además, $a_{ii}= 1$ para todo i), y consistencia (la matriz no debe contener contradicciones en la valoración realizada). La consistencia se obtiene mediante el índice de consistencia (*Consistency Index*, CI) donde λ_{max} es el máximo autovalor y n es la dimensión de la matriz de decisión. Un índice de consistencia igual a cero significa que la consistencia es completa. Una vez obtenido CI, se obtiene la proporción de consistencia (*Consistency Ratio*, CR) siendo aceptado siempre que no supere los valores indicados en la Tabla 14. Si en una matriz se supera el CR máximo, hay que revisar las ponderaciones.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Siendo *RI* el índice aleatorio que indica la consistencia de una matriz aleatoria (ver tabla).

Tamaño de la matriz	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice aleatorio	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Tabla 13. Índices aleatorios

Los porcentajes máximos de las ratios de consistencia CR se muestran en la siguiente tabla.

Tamaño de la matriz (n)	Ratio de consistencia
3	5%
4	9%
≥ 5	10%

Tabla 14. Ratios de consistencia

Los pasos de este método de toma de decisiones son, como en otros, definición del problema, definición de las alternativas y definición/ponderación de los criterios. Para implementar este modelo matemático es necesario realizar los siguientes pasos:

- Calculo del vector de pesos de criterios
- Calculo de la matriz de puntuación de las alternativas
- Obtención de la clasificación de las alternativas.

Este modelo matemático se podría realizar analíticamente calculando todas las matrices, los vectores propios y las ponderaciones. Esto resultaría muy complejo para un problema grande, y para ello existen softwares desarrollados donde introduces las relaciones de los criterios y ponderación de las alternativas, y el propio programa te saca la clasificación de las alternativas.

Cálculo del vector de pesos de criterio.

Comenzamos creando **la matriz de comparación de criterios A**. Esta matriz que a partir de ahora llamaremos A por la simplicidad, es una matriz $n \times n$ donde n es el número de criterios de nuestro problema. Cada valor de la matriz a_{jk} representa la importancia relativa del criterio j con respecto al k . Si $a_{jk} > 1$, entonces el criterio j tiene más importancia que el k . Por el contrario, si $a_{jk} < 1$, entonces el criterio j tiene menos importancia que el k . Para criterios con la misma importancia $a_{jk} = 1$, y cuando $j = k$, es decir comparando un criterio consigo mismo (diagonal de la matriz) $a_{jj} = a_{kk} = 1$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \vdots & 1 \end{pmatrix}$$

Figura 43. Matriz de comparación de criterios A

Como hemos comentado anteriormente, esta matriz debe cumplir el axioma de reciprocidad, por tanto, debe cumplir que:

$$a_{jk} * a_{kj} = 1$$

También sabemos que el número de comparaciones que el usuario va a tener que realizar para construir esta matriz serán:

$$\frac{n^2 - n}{2}$$

Los valores con los que se rellenara esta matriz son los valores correspondientes a la Escala fundamental de Saaty comentada anteriormente.

Una vez construida la matriz A, el paso siguiente para la sintetización de los datos es obtener a partir de ella la matriz normalizada A_{norm} , igualando a la unidad la suma de los valores de cada columna. Cada valor de la matriz se calcula como:

$$\hat{a}_{jk} = \frac{a_{jk}}{\sum_{i=1}^n a_{ik}}$$

$$\begin{matrix}
 & \begin{matrix} C1 & C2 & \dots & Cm \end{matrix} \\
 \begin{pmatrix}
 1/\Sigma C1 & a_{12}/\Sigma C2 & \dots & a_{1n}/\Sigma Cm \\
 a_{21}/\Sigma C1 & 1/\Sigma C2 & \dots & a_{2m}/\Sigma Cm \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 a_{m1}/\Sigma C1 & a_{m2}/\Sigma C2 & \dots & 1/\Sigma Cm
 \end{pmatrix}
 \end{matrix}$$

Figura 44. Matriz de comparación de criterios A normalizada

Una vez calculada esta matriz, el vector de pesos de criterio w , lo calculamos haciendo el valor medio de cada columna de la matriz A_{norm} :

$$w_j = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ji}}{n}$$

El **vector propio** w nos indica la importancia ponderada de cada uno de los criterios de nuestro problema.

Cálculo de la matriz de puntuación de las alternativas.

Ahora pasamos a calcular la **matriz de comparación ponderada B**, en la cual evaluamos por pares todas las alternativas de nuestro problema en función de cada uno de los criterios. Esto quiere decir que evaluaremos las importancias relativas de las alternativas si solo tuviésemos ese criterio, repitiéndolo para todos los criterios. Por tanto, habrá que construir tantas matrices B como criterios tengamos.

Estas matrices cuadradas son de dimensión $m \times m$ siendo m el número de alternativas que tengamos. Cada termino $b_{lh}^{(j)}$, de una matriz $B^{(j)}$, corresponde a la evaluación de la alternativa l respecto a la h para el j .

La manera de formar esta matriz B sigue las mismas reglas que la matriz A. Por tanto, el número de comparaciones que un usuario deberá realizar (por criterio) será:

$$\frac{m^2 - m}{2}$$

Una vez obtenidas todas las matrices $B^{(j)}$, presentará una estructura similar a la matriz de la figura 42. El siguiente paso será aplicar la misma normalización para dicha matriz del modo:

$$b'_{lh}^{(j)} = \frac{b_{lh}^{(j)}}{\sum_{i=1}^m b_{ih}^{(j)}}$$

Para continuar, aplicaremos también el siguiente paso, para dar lugar a m vectores $s^{(j)}$ (vector columna de dimensión m), que contendrá las evaluaciones de las m alternativas para cada criterio j .

$$s_l^{(j)} = \frac{\sum_{i=1}^m b_{li}^{(j)}}{m}$$

Finalmente, la **matriz de puntuación de alternativas S**, se construye adicionando los vectores $s^{(j)}$

$$S = [s^{(1)}, \dots, s^{(l)}, \dots, s^{(m)}]$$

Clasificación de las alternativas

Una vez ya tenemos el vector w y la matriz S , para obtener el vector v de puntuaciones globales, se realiza la siguiente sencilla operación, donde en i -ésimo valor de v_i del vector v representa la puntuación global asignada de la alternativa i .

$$v = S * w$$

Anexo B

Encuesta a expertos

Primera encuesta para los expertos. Cuestionario acerca de los criterios y subcriterios en las tres situaciones caracterizadas del centro urbano, obteniendo así las ponderaciones locales y globales de nuestro trabajo. A continuación, mostramos la valoración correspondiente a una sola situación, entregando tres copias como estas a los expertos para su correcta valoración.

CRITERIOS										
CRITERIOS	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	Igual	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	CRITERIOS
Criterios económicos										Criterios operativos
Criterios económicos										Criterios sociales
Criterios económicos										Criterios medioambientales
Criterios operativos										Criterios sociales
Criterios operativos										Criterios medioambientales
Criterios sociales										Criterios medioambientales

SUBCRITERIOS ECONOMICOS										
CRITERIOS	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	Igual	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	CRITERIOS
Coste empleados										Inversión inicial
Coste empleados										Mantenimiento
Inversión inicial										Mantenimiento

SUBCRITERIOS SOCIALES										
CRITERIOS	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	Igual	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	CRITERIOS
Atención al público										Disponibilidad horaria
Atención al público										Creación de puestos de trabajo
Creación de puestos de trabajo										Disponibilidad horaria

SUBCRITERIOS OPERATIVOS										
CRITERIOS	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	Igual	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	CRITERIOS
Volumen de trabajo										Tamaño de paquetería
Volumen de trabajo										Velocidad operación
Tamaño de paquetería										Velocidad operación

SUBCRITERIOS MEDIOAMBIENTALES										
CRITERIOS	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	Igual	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	CRITERIOS
Emissiones										Impacto visual

Tabla 15. Encuesta criterios y subcriterios

Segunda encuesta para los expertos. Cuestionario acerca de todos los subcriterios respecto a las tres alternativas. Esta encuesta, a diferencia de la anterior, solo se realiza una vez ya que no depende de la caracterización urbana a la que nos estemos refiriendo.

COSTE EMPLEADOS										
ALTERNATIVAS	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	Igual	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	ALTERNATIVAS
CDUM GRANDE										CDUM PEQUEÑO
CDUM GRANDE										LOCKER
CDUM PEQUEÑO										LOCKER

INVERSION INICAL										
ALTERNATIVAS	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	Igual	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	ALTERNATIVAS
CDUM GRANDE										CDUM PEQUEÑO
CDUM GRANDE										LOCKER
CDUM PEQUEÑO										LOCKER

MANTENIMIENTO										
ALTERNATIVAS	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	Igual	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	ALTERNATIVAS
CDUM GRANDE										CDUM PEQUEÑO
CDUM GRANDE										LOCKER
CDUM PEQUEÑO										LOCKER

ATENCIÓN AL PÚBLICO										
ALTERNATIVAS	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	Igual	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	ALTERNATIVAS
CDUM GRANDE										CDUM PEQUEÑO
CDUM GRANDE										LOCKER
CDUM PEQUEÑO										LOCKER

DISPONIBILIDAD HORARIA										
ALTERNATIVAS	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	Igual	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	ALTERNATIVAS
CDUM GRANDE										CDUM PEQUEÑO
CDUM GRANDE										LOCKER
CDUM PEQUEÑO										LOCKER

CREACION DE PUESTOS DE TRABAJO										
ALTERNATIVAS	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	Igual	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	ALTERNATIVAS
CDUM GRANDE										CDUM PEQUEÑO
CDUM GRANDE										LOCKER
CDUM PEQUEÑO										LOCKER

VOLUMEN DE TRABAJO										
ALTERNATIVAS	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	Igual	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	ALTERNATIVAS
CDUM GRANDE										CDUM PEQUEÑO
CDUM GRANDE										LOCKER
CDUM PEQUEÑO										LOCKER

TAMAÑO DE PAQUETERIA										
ALTERNATIVAS	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	Igual	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	ALTERNATIVAS
CDUM GRANDE										CDUM PEQUEÑO
CDUM GRANDE										LOCKER
CDUM PEQUEÑO										LOCKER

VELOCIDAD DE OPERACIÓN										
ALTERNATIVAS	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	Igual	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	ALTERNATIVAS
CDUM GRANDE										CDUM PEQUEÑO
CDUM GRANDE										LOCKER
CDUM PEQUEÑO										LOCKER

EMISIONES										
ALTERNATIVAS	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	Igual	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	ALTERNATIVAS
CDUM GRANDE										CDUM PEQUEÑO
CDUM GRANDE										LOCKER
CDUM PEQUEÑO										LOCKER

IMPACTO VISUAL										
ALTERNATIVAS	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	Igual	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	ALTERNATIVAS
CDUM GRANDE										CDUM PEQUEÑO
CDUM GRANDE										LOCKER
CDUM PEQUEÑO										LOCKER

Tabla 16. Encuesta alternativas respecto subcriterios

Anexo C

Funcionamiento SuperDecisions

Vamos a proceder a explicar en este anexo el funcionamiento de la herramienta informática *SuperDecisions*, mediante un ejemplo de nuestro trabajo. Los tres estudios se realizan de forma análoga por lo que la explicación de uno de ellos ya expone toda la casuística de esta materia. La explicación se va a realizar sobre la densidad alta de mercancías.

Vamos a comenzar creando el modelo jerárquico propuesto por los expertos que se muestra de forma esquemática en la Figura 5 de esta memoria. En nuestro modelo contamos con 4 niveles de jerarquía, los cuales se denominan 'Cluster' en el programa. Nuestros Clusters serán: Objetivo, Criterios, Subcriterios y Alternativas. Como sabemos que vamos a tener 4 tipos de subcriterios, vamos a tener que crear un Cluster diferente para cada uno de ellos. Una vez creados, nos queda una red de la siguiente manera:

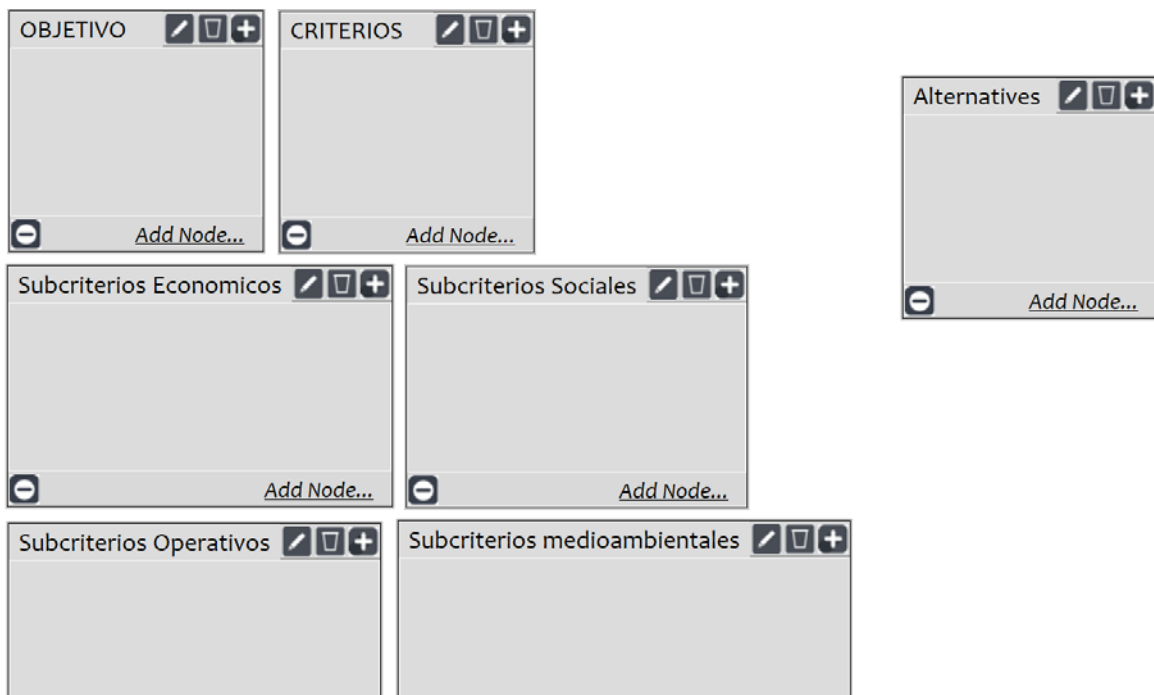


Figura 45. Clusters SuperDecisions

Nota importante: Para la creación del Cluster de Alternativas es obligatorio poner 'Alternatives' para que el programa reconozca ese Cluster como las alternativas de nuestro modelo jerárquico.

Después de crear los Clusters, tenemos que llenarlos de nodos. Estos nodos serán donde estableceremos las conexiones de nuestra jerarquía. Por ejemplo, el nodo del objetivo será seleccionar el Centro de Distribución Urbana de Mercancías (CDUM). En las siguientes imágenes se muestra como quedan los distintos Clusters llenos de los nodos de nuestro modelo

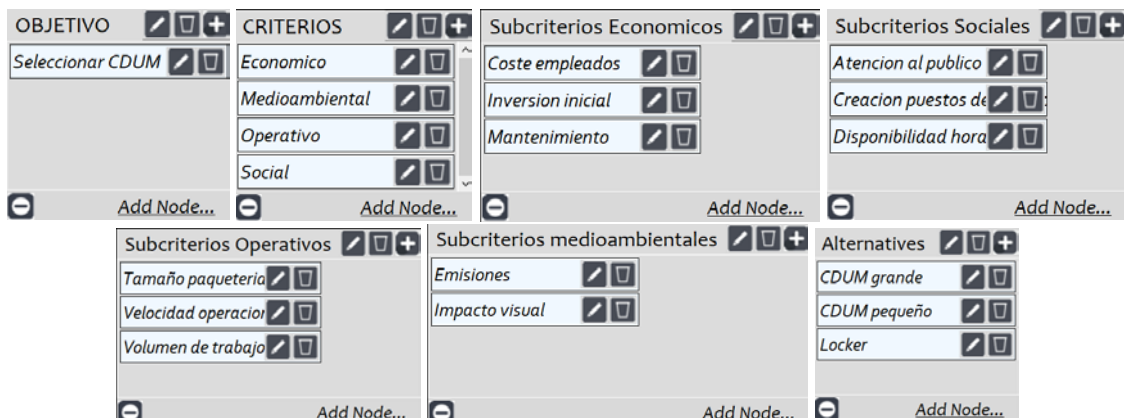


Figura 46. Nodos SuperDecisions

Finalmente, lo que nos queda es establecer las conexiones en AHP, las cuales son descendientes desde el objetivo de seleccionar CDUM.

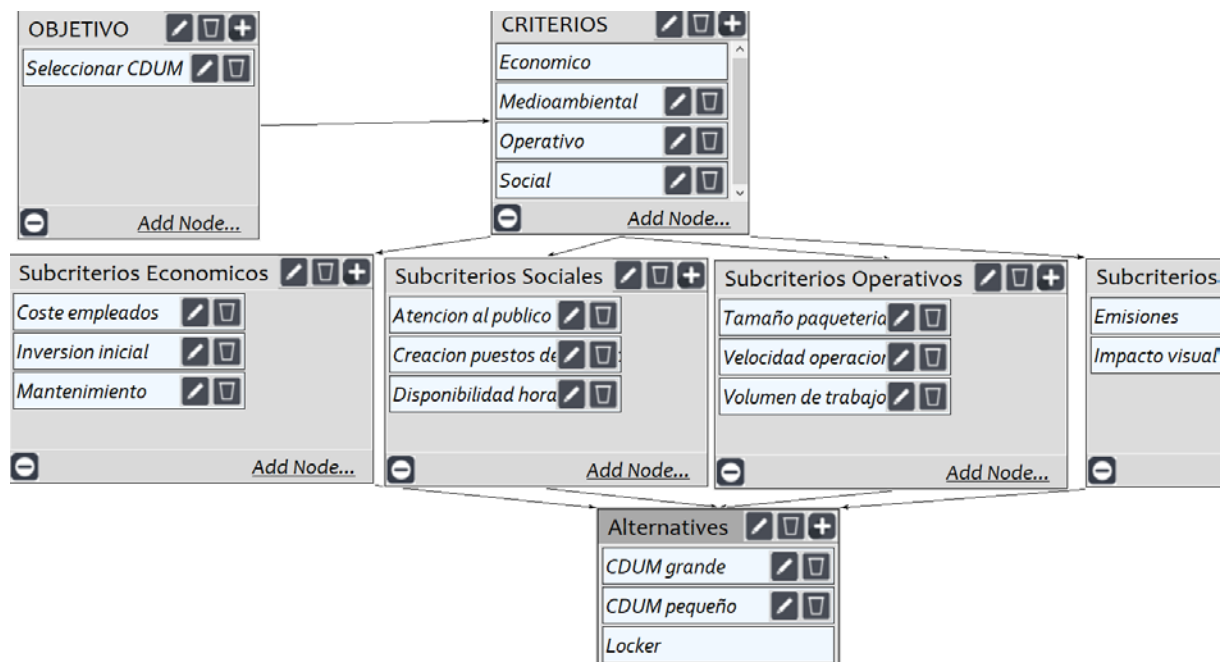


Figura 47. Conexiones SuperDecisions

Una vez realizada nuestra jerarquía, tenemos que empezar a realizar la comparación por pares. Como ya hemos comentado, nosotros vamos a usar la Escala Fundamental de Saaty para realizar las comparaciones. Como se ve en la siguiente imagen, esta comparación se puede realizar de diferentes formas, como la directa, la matriz, la verbal y el cuestionario. Todas estas formas están relacionadas y solamente con rellenar una de ellas todas las demás se autocompletan.

Vamos a comenzar realizando la comparación a nuestros criterios. Como se observa en la siguiente imagen, el programa no deja ver el criterio de la derecha debido a un fallo del propio programa. Sin embargo, en la línea encima de las comparaciones se puede observar en azul la columna de la izquierda que se está comparando con el criterio de la columna de la derecha.

		Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct																	
		Comparisons wrt "Seleccionar CDUM" node in "CRITERIOS" cluster																					
		Economico is moderately to strongly more important than Medioambiental																					
1.	Economico	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.		
2.	Economico	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.		
3.	Economico	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.		
4.	Medioambiental	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.		
5.	Medioambiental	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.		
6.	Operativo	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.		

Figura 48. Cuestionario criterios

Los resultados de dicha comparación se observan a la derecha del mismo panel anterior, obteniendo las ponderaciones locales para los criterios. Estos valores se encuentran recogidos en esta memoria en la tabla 2. Comprobamos también que el valor de inconsistencia está dentro del rango admisible comentado en el anexo A, tabla 13.

Inconsistency: 0.11530		
Economico		0.09076
Medioambi~		0.04036
Operativo		0.61223
Social		0.25666

Figura 49. Resultado cuestionario criterios

Ahora vamos a realizar todas las comparaciones para cada uno de nuestros criterios de la misma forma explicada anteriormente. A continuación, se muestran los resultados de la comparación de los cuatro subcriterios de nuestro modelo a modo de justificación de los resultados obtenidos mostrados en la tabla 2

- Subcriterios económicos

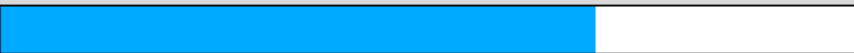


Inconsistency: 0.07348		
Coste emp~		0.69552
Inversion~		0.22905
Mantenimi~		0.07543

Figura 50. Resultado cuestionario subcriterios económicos

- Subcriterios operativos




Inconsistency: 0.00000		
Tamaño pa~		0.12500
Velocidad~		0.12500
Volumen d~		0.75000

Figura 51. Resultado cuestionario subcriterios operativos

- Subcriterios sociales



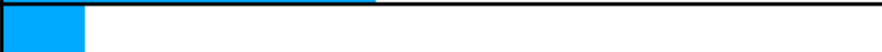
Inconsistency: 0.01759		
Atencion ~		0.48441
Creacion ~		0.42317
Disponibi~		0.09242

Figura 52. Resultado cuestionario subcriterios sociales

- Subcriterios medioambientales

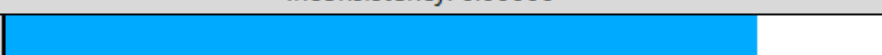

Inconsistency: 0.00000		
Emisiones		0.85714
Impacto v~		0.14286

Figura 53. Resultado cuestionario subcriterios medioambientales

Finalmente vamos a realizar las comparaciones de las alternativas para todos los subcriterios de nuestro modelo. En la siguiente imagen mostramos como ejemplo dicha comparación para el subcriterio operativo de 'Volumen de trabajo' al ser el más importante de todos en nuestro modelo para alta densidad.

Comparisons wrt "Volumen de trabajo" node in "Alternatives" cluster																				
CDUM grande is strongly more important than CDUM pequeño																				
1. CDUM grande	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.
2. CDUM grande	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.
3. CDUM pequeño	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.

Figura 54. Cuestionario alternativas respecto 'Volumen de trabajo'

Los resultados obtenidos se observan en la siguiente figura, que corresponden a los valores recogidos en esta memoria en la tabla 7.




Inconsistency: 0.20045		
CDUM gran~		0.72193
CDUM pequ~		0.22706
Locker		0.05101

Figura 55. Resultado Cuestionario alternativas respecto 'Volumen de trabajo'

Una vez ya hemos realizado todas las comparaciones solo tenemos que calcular nuestro modelo. Para obtener estos resultados, tenemos que desplazarnos a la pestaña de *Computations; Synthesize*. El programa realiza los cálculos y se despliega una pestaña con el vector solución con la ponderación de las alternativas. El resultado normalizado en tanto por uno se encuentra en la columna 'Normals'.



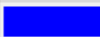
Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
CDUM grande		1.000000	0.594685	0.198229
CDUM pequeño		0.356068	0.211749	0.070583
Locker		0.325493	0.193566	0.064522

Figura 56. Ponderación final densidad alta