

Trabajo Fin de Grado

OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE TRANSPORTE DE
LA EUPLA

OPTIMIZATION OF EUPLA TRANSPORT ROUTES

Autor

ELENA FERNÁNDEZ-GIRO TORRADO

Director

Luis Mariano Esteban Escaño

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia

Junio 2025

Página intencionadamente en blanco.



**Escuela Universitaria
Politécnica** - La Almunia
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

MEMORIA

**OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE TRANSPORTE DE
LA EUPLA**

OPTIMIZATION OF EUPLA TRANSPORT ROUTES

425.25.68

Autor: Elena Fernández-Giro Torrado

Director: Luis Mariano Esteban Escaño

Fecha: Junio 2025

Página intencionadamente en blanco.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera agradecer a la Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia por brindarme la oportunidad de desarrollar este proyecto tras cuatro años de formación en el grado de Ingeniería de Organización Industrial. Agradezco también el haberme facilitado el acceso a los datos necesarios para la realización de este trabajo.

En segundo lugar, quiero dar las gracias a mi tutor de TFG, Luis Mariano Esteban Escaño, por su apoyo, orientación, paciencia y confianza durante todo el proceso. Su implicación ha sido clave para que este trabajo llegase a buen puerto.

A mis padres y a mis hermanos, Santiago y Sara, gracias por acompañarme en cada uno de mis proyectos, tanto personales como profesionales. Por ser mi mayor pilar, por confiar en mí incluso en los momentos de duda, y por estar siempre ahí.

A mi mejor amiga Balma, gracias por estar siempre al pie del cañón, por acompañarme sin juzgar, por tu apoyo constante y por creer en mí incondicionalmente. Tu presencia ha sido esencial en este camino.

Y, por último, a mi amiga Carmen, gracias por encontrar siempre un momento para mí, incluso en medio de tus propios retos. Eres un ejemplo a seguir, y en muy poco tiempo te has convertido en una de mis personas favoritas. Gracias por nuestra amistad y por tantas lecciones compartidas.

INDICE DE CONTENIDO BREVE

1. RESUMEN	9
2. ABSTRACT	11
3. INTRODUCCIÓN	13
4. DESARROLLO	14
5. RESULTADOS	35
6. CONCLUSIONES	39
7. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	40
8. BIBLIOGRAFÍA	41

INDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN	9
1.1. PALABRAS CLAVE	10
2. ABSTRACT	11
2.1. KEY WORDS	12
3. INTRODUCCIÓN	13
4. DESARROLLO	14
4.1. ESTUDIO COORDENADAS Y UBICACIONES	14
4.1.1. CLUSTERIZACIÓN	16
4.1.1.1. APLICACIÓN DE LA CLUSTERIZACIÓN	17
4.2. CREACIÓN DE PARADAS	20
4.2.1. PARADAS	20
4.3. ORGANIZACIÓN DE LAS RUTAS	23
4.4. DISTANCIA DE LAS RUTAS.	27
4.4.1. DOMICILIOS A PARADAS	27
4.4.2. DISTANCIAS RUTAS	28
4.5. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN.	29
5. RESULTADOS	35

6. CONCLUSIONES	39
7. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	40
8. BIBLIOGRAFÍA	41

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Dirección de domicilio	14
Ilustración 2: Google Maps.....	15
Ilustración 3: Coordenadas en Maps.....	15
Ilustración 4: Código RStudio coordenadas	17
Ilustración 5: Muestra ubicaciones eliminadas	18
Ilustración 6: Código RStudio funciones kmeans y fviz_nbclust.....	18
Ilustración 7: Gráfico número óptimo de clusters	19
Ilustración 8: Gráfico para 30 clusters	19
Ilustración 9: Clusters	20
Ilustración 10: Código para centroides	21
Ilustración 11: Nº usuarios por cluster	21
Ilustración 12: Coordenadas centroides	22
Ilustración 13: Código para crear mapa	23
Ilustración 14: Código para mapa ubicaciones usuarios	24
Ilustración 15: Código para ubicaciones paradas propuestas	24
Ilustración 16: Mapa ubicaciones usuarios	24
Ilustración 17: Mapa paradas propuestas.....	25
Ilustración 18: Rutas propuestas iniciales	26
Ilustración 19: Parada Camino del Pilon.....	26
Ilustración 20: Distancias totales de rutas propuestas	29
Ilustración 21: Paradas actuales	30

Ilustración 22: Paradas propuestas	31
Ilustración 23: Comparativa de paradas	31
Ilustración 24: Distancias de rutas actuales (A)	32
Ilustración 25: Distancia de las rutas actuales (B)	32
Ilustración 26: Comparativa paradas Miralbueno y Parque Goya	34
Ilustración 27: RUTA 1	35
Ilustración 28: RUTA 2	36
Ilustración 29: RUTA 3	37
Ilustración 30: RUTA 4	38

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Distancias domicilios a parada 1	28
Tabla 2: Comparativa de distancias: Rosales del Canal	33

1. RESUMEN

Este Trabajo Final de Grado (TFG) plantea y comprende la creación de un sistema de optimización de rutas de transporte de la Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia (EUPLA), incluyendo como elemento diferenciador en la generación de rutas la agrupación jerárquica y la utilización de la clusterización para la optimización de paradas de subida a la EUPLA.

En la EUPLA, el servicio de autobús siempre ha estado presente para acudir a las clases, contando con dos rutas (A y B), para subir a La Almunia. Estas dos rutas constan de 11 y 10 paradas respectivamente, en las que la última de ambas coincide.

Año tras año, la cantidad de alumnos que utilizan el servicio de autobús de la EUPLA es cada vez mayor, siendo así, un incremento del número de ubicaciones a coordinar para las paradas de autobús. Observando las paradas actuales y comparándolas con todas las ubicaciones de los usuarios del servicio de autobús, observamos que hay varias zonas que no se tienen en cuenta para la cantidad de personas que habitan en dichas zonas y si utilizan el servicio de bus.

Es por ello por lo que con este sistema se pretende coordinar todas estas ubicaciones, teniendo en cuenta las nuevas zonas en las que abarcan de manera más realista a todos los alumnos y usuarios del bus de la EUPLA, logrando optimizar las rutas de autobús, el número de paradas en cada una de ellas, así como el estudio de la viabilidad de crear una tercera o incluso una cuarta ruta para poder satisfacer a todos los usuarios del autobús.

Para ello utilizaremos la herramienta RStudio, Google Maps y distintas páginas de coordenadas para la ubicación, coordinación y optimización de las rutas de autobuses.

Se observará la necesidad de crear cuatro rutas que lleguen a todos los puntos de Zaragoza donde las paradas estén a un alcance cercano de todos los alumnos de la Escuela. Se trazarán dichas rutas y se compararán con las rutas originales para ver cuál es la diferencia real de las dos rutas de autobuses.

1.1. PALABRAS CLAVE

Palabras clave:

- Clusterización
- Rutas
- Autobús
- EUPLA
- Paradas

2. ABSTRACT

This Final Degree Project (TFG) proposes and includes the creation of a transport route optimisation system for the Polytechnic University School of La Almunia (EUPLA), including as a differentiating element in the generation of routes the hierarchical grouping and the use of clustering for the optimisation of stops on the way up to the EUPLA.

In the EUPLA, the bus service has always been an option to go to classes, with two routes (A and B), to go up to La Almunia. These two routes consist of 11 and 10 stops respectively, with the last stop on both routes coinciding.

Year after year, the number of students using the EUPLA bus service is increasing, thus increasing the number of locations to be coordinated for the bus stops. Looking at the current bus stops and comparing them with all the locations of the users of the bus service, we observe that there are several areas that are not taken into account for the number of people who live in these areas and if they use the bus service.

That is why this system is intended to coordinate all these locations, taking into account the new areas in which more realistically cover all students and bus users of the EUPLA, managing to optimize the bus routes, the number of stops in each of them, as well as studying the feasibility of creating a third or even a fourth route to satisfy all users of the EUPLA bus.

For this we will use the RStudio tool, Google Maps and different coordinate pages for the location, coordination, and optimisation of bus routes.

The need to create four routes that reach all points in Zaragoza, with stops within easy reach of all the school's students, will be considered. These routes will be mapped out and compared with the original routes to determine the actual differences between the two bus routes.

2.1. KEY WORDS

Key words:

- Clustering
- Routes
- Bus
- EUPLA
- Stops

3. INTRODUCCIÓN

La temática de este TFG surge del interés personal del autor y de la creciente relevancia que está adquiriendo la optimización de las rutas de autobús de la EUPLA. Este interés se combina con el uso de herramientas como R Studio para la clusterización y mejora de dichas rutas, lo que permite un enfoque analítico y basado en datos.

La planificación y optimización de rutas de transporte es una actividad en auge debido a los múltiples beneficios que aporta, como la reducción de costes y el aumento de la eficiencia en el uso de recursos materiales, humanos y de tiempo. Este proceso requiere una inversión significativa de tiempo y un análisis detallado de diversas variables y situaciones. Por ello, resulta fundamental recopilar datos clave como las ubicaciones de los alumnos, el número y localización de las paradas existentes, entre otros.

Una vez recopilados, estos datos se procesan mediante un software que permite tener en cuenta todas las variables relevantes para generar rutas más eficientes. En el caso de la EUPLA, el principal incentivo para replantearse la optimización de las rutas es el ahorro de combustible, lo que puede marcar la diferencia en la rentabilidad anual de la empresa subcontratada. Además, una mejora en las rutas puede aumentar la satisfacción del alumnado, favoreciendo así una mayor utilización del servicio y, en consecuencia, generando beneficios tanto para la EUPLA como para la empresa encargada del transporte.

Actualmente, existen zonas de Zaragoza con presencia de estudiantes que no están contempladas en las rutas disponibles, lo que representa una oportunidad de mejora significativa. No obstante, se debe tener en cuenta que alcanzar todas las ubicaciones posibles es una tarea muy difícil; siempre habrá una pequeña proporción de alumnos cuya ubicación sea demasiado lejana como para ser incluida de manera eficiente en las rutas.

Este TFG se estructura en las siguientes etapas:

- Estudio de las localizaciones del alumnado y análisis de las rutas actuales para identificar zonas desatendidas.
- Clusterización de las ubicaciones mediante R Studio, agrupando coordenadas en zonas comunes.
- Visualización y ajuste de las paradas propuestas en un mapa.
- Propuesta de nuevas rutas considerando un mayor rango de cobertura y comparación con las rutas actuales.
- Muestra de los resultados del proyecto de optimización.

4. DESARROLLO

A continuación se desarrollará el proceso de análisis y mejora de las rutas de autobús de la EUPLA.

En primer lugar, debemos conseguir la ubicación de todos los usuarios del servicio de autobús de la EUPLA. Para ello, recopilamos las direcciones de los domicilios de residencia de estos usuarios con ayuda de la secretaría de la EUPLA. Aclarar que dicha información no se ha difundido y se ha utilizado única y exclusivamente para el desarrollo y análisis de este trabajo.

4.1. ESTUDIO COORDENADAS Y UBICACIONES

Como hemos comentado anteriormente, para obtener las coordenadas de los domicilios de los usuarios del servicio de autobuses, hemos tenido que primeramente conseguir las direcciones de domicilio. Dichas direcciones nos las han podido aportar la secretaría de la EUPLA con el consentimiento del tutor del TFG.

Para conseguir cada coordenada, con su latitud y longitud, hemos utilizado la herramienta de Google Maps. A continuación enseñamos cómo hemos encontrado cada una con un ejemplo real de dirección:

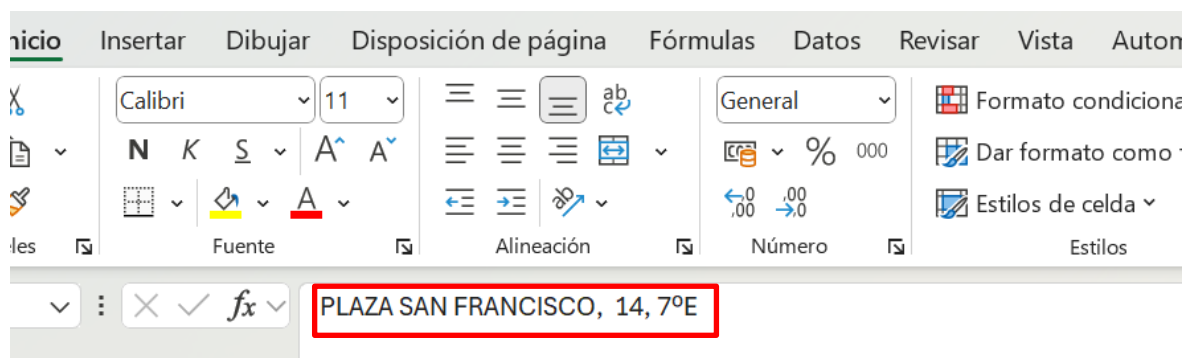


Ilustración 1: Dirección de domicilio

Tomamos como ejemplo real la dirección mostrada en la imagen, Plaza San Francisco 14, 7ºE. Dicha dirección la metemos en Google Maps y comprobamos si cuadra la ubicación insertada con la recibida.

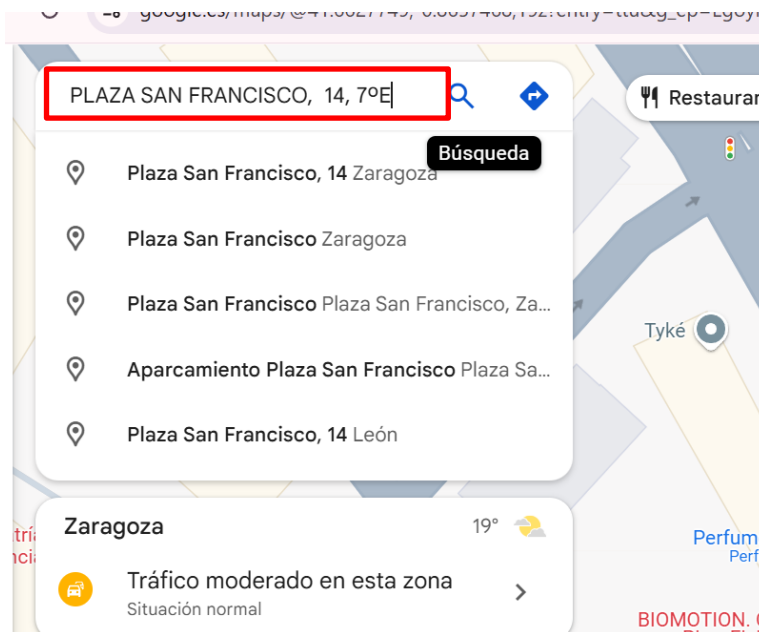


Ilustración 2: Google Maps



Ilustración 3: Coordenadas en Maps

Una vez buscada la dirección y comprobado que tiene sentido, damos "click" derecho a nuestro ratón y observamos que nos da las coordenadas exactas del domicilio. Una vez, conseguida la dirección podemos pasar a realizar el resto de las direcciones. En concreto realizamos 205 direcciones de domicilio, que son el número de alumnos que utilizan el servicio de autobús de la escuela.

En total son 206 direcciones de domicilio. Una vez más, reafirmamos que el uso de estas direcciones de domicilio ha sido única y exclusivamente para la realización de este trabajo. En el Anexo 1 aparecerán todas las ubicaciones utilizadas para la realización de este trabajo.

4.1.1. CLUSTERIZACIÓN

Una vez conseguidas todas las coordenadas de los domicilios de los usuarios del servicio de autobús, comenzamos a utilizar la herramienta RStudio para la clusterización de las direcciones. El propósito de crear agrupaciones en las direcciones es identificar los centroides de cada grupo como localización representativa de los individuos de manera que pasen a ser un punto de recogida en la ruta del autobús.

El análisis clúster es una técnica que crea agrupaciones dentro de un conjunto de datos. Dichas agrupaciones se basan en la similitud entre individuos medidas a partir de una métrica o distancia, en este caso según la zona común de domicilio. El número de grupos es prefijado o determinado de forma que se minimice la distancia entre individuos pertenecientes al grupo.

El algoritmo K-means y la agrupación jerárquica son las metodologías más utilizadas.

En primer lugar, el algoritmo k-means minimiza la distancia entre individuos pertenecientes al grupo de medida sobre el centroide del grupo. Se generan los centroides de los grupos iniciales mediante una semilla aleatoria y el algoritmo va incluyendo a cada individuo por la minimización de la distancia a los centroides que son el promedio del grupo. Dicho método se puede aplicar prefijando el número de grupos y repitiendo el proceso de agrupación para diversas semillas aleatorias de forma que se selecciona las agrupaciones con menor distancia a los centroides. La normalización de variables es necesaria.

En un análisis no supervisado resulta difícil tener la capacidad de prefijar el número de clusters. Se pueden explorar diversos valores para el número de clusters y utilizar una metodología para su optimización. Los métodos de Elbow, Shiloutte y Gap statistics son las metodologías más comúnmente utilizadas para optimizar el número de clusters. En este caso, existe una diversidad de funciones de R para la aplicación del algoritmo k-means, la librería "factoextra" contiene la función "fviz_nbclust" para optimizar el número de clusters.

El método de Elbow (method= "wss") minimiza la suma de distancia de cada punto a los centroides de los clusters. El método de la silueta proporciona una medida de cuan bien están separados los clusters y qué tan similar es un objeto a su propio cluster en comparación con otros clusters. La silueta de un objeto se calcula utilizando la distancia media intra-cluster (a) y la distancia media inter-cluster (b) para ese objeto
$$s = \frac{b-a}{\max(a,b)}$$
 donde a es la distancia media entre el objeto y los demás puntos en el mismo cluster y b es la distancia media más pequeña entre el objeto y los puntos en otro cluster al que no pertenece. El coeficiente de silueta varía entre -1 y 1. Un valor alto indica que el objeto está bien emparejado con su propio cluster y mal emparejado con clusters vecinos.

El método Gap-statistics o estadísticas de brecha es comparar la métrica del ajuste del modelo de un Clustering específico con la métrica que se esperaría en un conjunto de datos aleatorio sin estructura aparente. El proceso general consiste en calcular la métrica de ajuste del modelo, generar varios conjuntos de datos aleatorios que conserven características como la dimensionalidad y la dispersión, calcular la métrica de ajuste del modelo en los conjuntos de datos aleatorios y obtener la media y la desviación estándar de estas métricas. Después se calcula la brecha o gap entre la métrica de ajuste del modelo en el conjunto de datos real y la métrica promedio en los conjuntos de datos aleatorios, como la diferencia entre la métrica de ajuste observada y la esperada bajo la hipótesis nula de que no hay estructura de clustering en los datos.

4.1.1.1. APLICACIÓN DE LA CLUSTERIZACIÓN

En este trabajo la clusterización se realizó mediante la ayuda de la herramienta de RStudio, realizando las funciones explicadas anteriormente para obtener los cluster de las ubicaciones.

En primer lugar, debemos cargar la librería "readxl" para comunicar que vamos a integrar un archivo desde la aplicación Excel, para que la pueda leer y podamos transferir las coordenadas de las ubicaciones. A continuación, debemos eliminar aquellas ubicaciones que se encuentren demasiado lejos de los clúster que se van a formar y que se encuentran aislados por su lejanía respecto a la ciudad de Zaragoza. En este caso, eliminamos 4 ubicaciones que se encuentran a las afueras y no tiene sentido incluirlas en las rutas.

```
library(readxl)
listado_direcciones<- read_excel("C:/Users/elefe/Desktop/listado usuarios bus direcciones")
listado_direcciones<-listado_direcciones[,-1]
listado_direcciones[169,c(3)]<-41.676937
listado_direcciones[169,c(2)]<--0.884616
listado_direcciones[118,3]<-41.667364
listado_direcciones[118,2]
```

Ilustración 4: Código RStudio coordenadas

Para justificar más claramente porqué eliminamos dichas ubicaciones, lo mostraremos en un mapa realizado con RStudio.

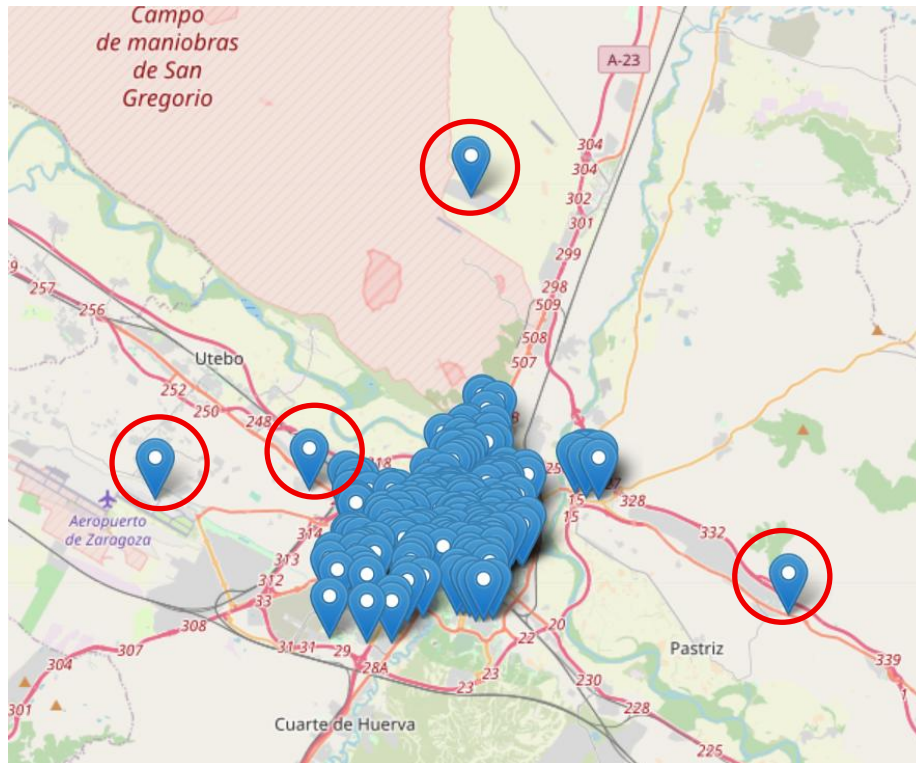


Ilustración 5: Muestra ubicaciones eliminadas

Se puede observar claramente que se alejan bastante del resto de ubicaciones de la ciudad.

A continuación, realizamos un pequeño análisis para observar cual es el número óptimo de clusters a establecer en función de las ubicaciones. Lo realizamos creando una matriz con las coordenadas que hemos recopilado y utilizamos la función "**fviz_nbclust**" y la función "**kmeans**" explicadas anteriormente. Ponemos como límite de cluster 20 en un primer lugar para observar si varía mucho o poco con esa cantidad.

```
z<-listado_direcciones[,c(2,3)]
z<-as.matrix(z)
c1<- fviz_nbclust(z,FUNcluster = kmeans, method = "silhouette",k.max=20)
# c1<- fviz_nbclust(z,FUNcluster = kmeans, method = "gap_stat")
c1
num_cluster=20 #el valor lo pongo en funcion del gr?fico (su max)
listado_paradas<- read_excel("C:/Users/elefe/Desktop/CLUSTERMEANS.xlsx")
```

Ilustración 6: Código RStudio funciones kmeans y fviz_nbclust

Con ello obtenemos lo siguiente:

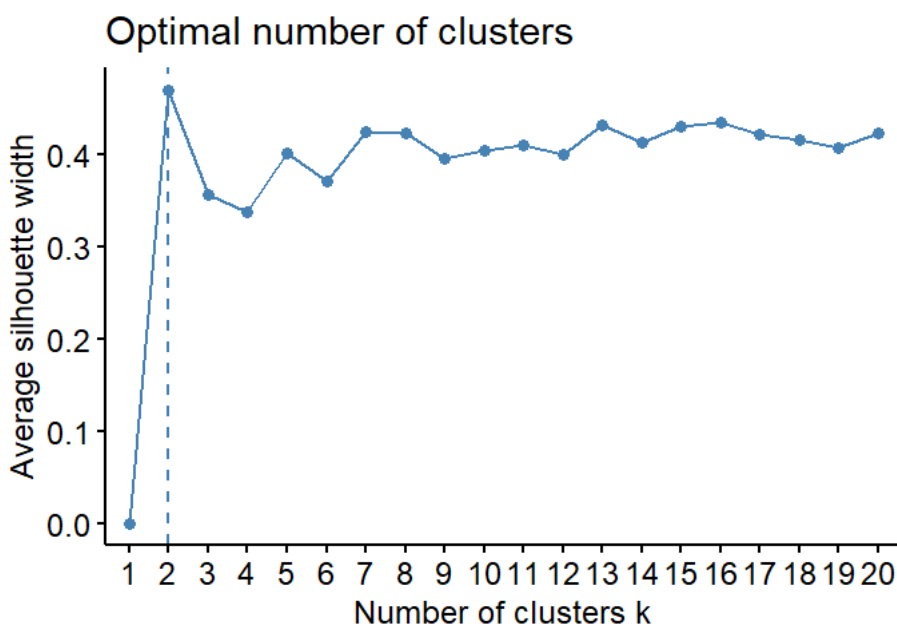


Ilustración 7: Gráfico número óptimo de clusters

Observamos que el número óptimo de clusters serían trece, pues es el valor más alto de dicha tabla. Observamos que se mantiene bastante constante desde el cluster trece, por lo que probamos una vez más con treinta, para observar si existe más variación. Con treinta clusters quedaría lo siguiente:

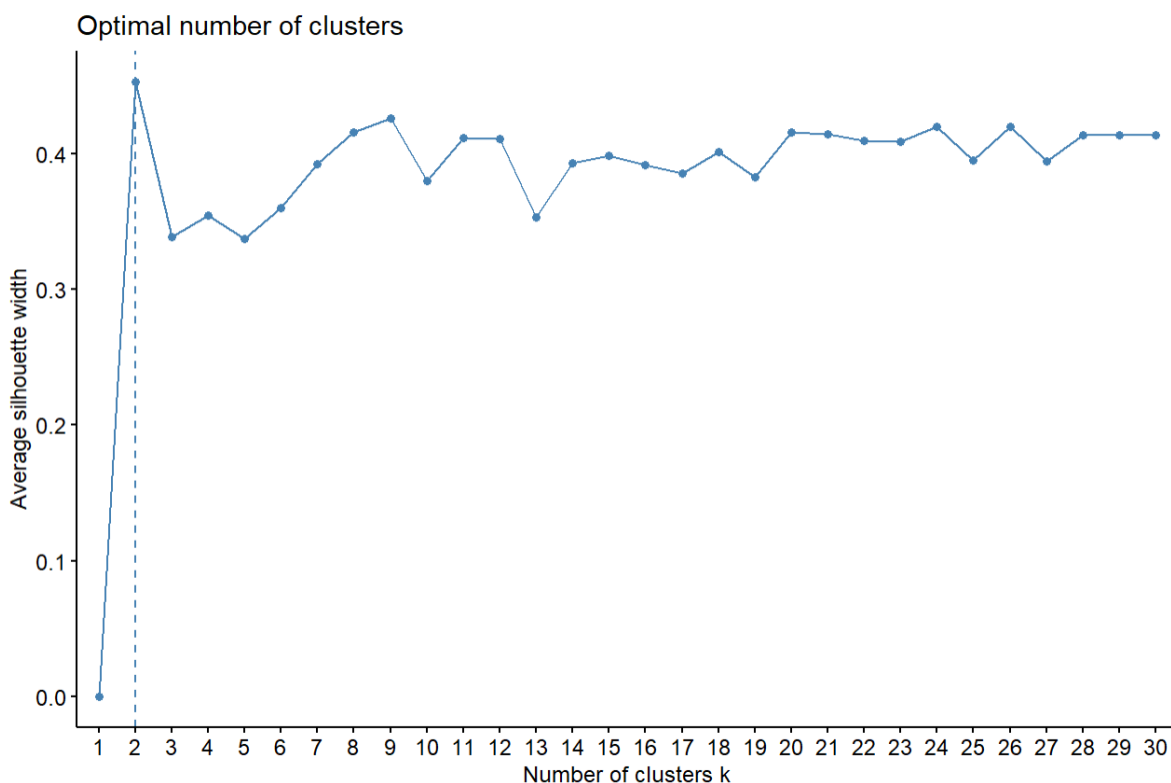


Ilustración 8: Gráfico para 30 clusters

Observamos que varía bastante al cambiar de veinte a treinta clusters, por lo que en vez de trece clusters como óptimo, tomaremos 20 clusters, siendo los siguientes:



Ilustración 9: Clusters

Una vez conocido el número de clusters óptimo y cuales son, podemos pasar a analizar qué paradas se realizan y el número de usuarios por parada.

4.2. CREACIÓN DE PARADAS

A continuación explicaremos como se crea el número de paradas y la adjudicación de todos los usuarios del autobús en cada parada.

4.2.1. PARADAS

Para crear las paradas, primero asociamos con el nombre "listado_paradas" al archivo Excel donde se encuentran los clusters que hemos obtenido anteriormente. Posteriormente, creamos un nuevo

objeto en RStudio llamado cl2 donde insertamos la función Kmeans definiendo que el número de centroides que tenemos son veinte, y posteriormente le pedimos que nos muestre el número de usuarios para cada parada con la función "table". Para observarlo de una manera más clara insertamos a continuación el propio código:

```
cl1
num_cluster=20 #el valor lo pongo en funcion del gr?fico (su max)
listado_paradas<- read_excel("C:/Users/elefe/Desktop/CLUSTERMEANS.xlsx")
cl2<-kmeans(z,centers=20,nstart = 1000)
num_cluster=20
table(cl2$cluster)
```

Ilustración 10: Código para centroides

Esta última función nos permite obtener el número de usuarios adjudicados a cada una de las paradas propuestas.

```
> table(kcont$cluster)
```

```
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
9 4 11 5 4 7 8 7 3 12 5 1 1 11 5 6 1 11 1 6 4 10 5 16 7 12 10 10 8 5
```

Ilustración 11: Nº usuarios por cluster

Ahora lo interesante es analizar el número que nos sale para cada parada de la ruta. Como podemos observar, encontramos que en las paradas 12, 13, 17 y 19 sólo se encuentra una única persona en la parada, ya que esas paradas son las que están demasiado lejos de la ciudad de Zaragoza, por lo que serán redirigidos a otras paradas.

Para observar las coordenadas de las paradas, utilizaremos la función "fviz_cluster" para visualizar las paradas:

```
png("Clusters.png",width=12,height=10,pointsize = 1/300,units="in",res=300)
fviz_cluster(kcont, data = z)
dev.off()
print(kcont)
```

De tal manera que nos dan las siguientes coordenadas:

	LONGITUD	LATITUD
1	-0.8724920	41.65161
2	-0.8756651	41.63073
3	-0.9080622	41.64206
4	-0.8865726	41.62913
5	-0.9450633	41.63051
6	-0.8321323	41.66921
7	-0.9345132	41.64047
8	-0.8643010	41.64608
9	-0.9221169	41.62097
10	-0.8769598	41.64363
11	-0.8993727	41.66099
12	-0.9551987	41.67056
13	-0.8834915	41.76645
14	-0.8918673	41.65694
15	-0.8626596	41.65849
16	-0.8757025	41.67466
17	-1.0229590	41.66736
18	-0.9143874	41.65304
19	-0.7435740	41.62954
20	-0.9289630	41.63428
21	-0.8765361	41.68644
22	-0.9347735	41.65683
23	-0.9096382	41.63050
24	-0.8887525	41.67222
25	-0.8819371	41.63759
26	-0.8715813	41.66142
27	-0.9015068	41.65406
28	-0.8874733	41.65102
29	-0.8934083	41.64162
30	-0.9204592	41.64650

Ilustración 12: Coordenadas centroides

Las paradas que nos saldrían serían las siguientes:

- 1: Echegaray-Puente de Hierro
- 2: Parque de la memoria.
- 3: Gómez Laguna-Ibercaja
- 4: Avenida América
- 5: Rosales del Canal- C/Gracia Iberus
- 6: Santa Isabel-Gasolinera
- 7: Alcampo-Valdefierro
- 8: Compromiso Caspe
- 9: Valdespartera-Avda. Séptimo Arte
- 10: Camino Las Torres-Cesáreo Alierta
- (11 se une a la 14 y 12 y 13 se eliminan)
- 14: Plaza Europa
- (15 va a la 26 que coincide y 17 se elimina)
- 16: Salvador Allende-Zalfonada

- 18: Avenida Navarra-C/Rioja
- (19 se elimina)
- 20: Montecanal-Avda. Ilustración
- 21: Parque Goya
- 22: Ronda Ibon de Plan- Camino del Pilón
- 23: Vía Hispanidad-Casablanca
- 24: Ruiz Picasso- Gran Casa
- 25: Tenor Fleta
- 26: Plaza Mozart
- 27: Avda. Madrid-Avda. Navarra
- 28: Paseo M^a Agustín-Pablo Serrano
- 29: Goya-Fernando El Católico
- 30: Vía Hispanidad-Correos

4.3. ORGANIZACIÓN DE LAS RUTAS

A continuación se expondrá la organización y creación de las rutas nuevas de transporte.

Primeramente, debemos visualizar las paradas en un mapa para poder crear más fácilmente las rutas. Es por ello, que utilizamos una vez más la herramienta RStudio para ello.

Para crear un mapa en RStudio debemos tener cargada en la librería el paquete "leaflet" y "openrouteservice", los cuales vamos a utilizar para la creación de este mapa. Asignamos "coordenadas" con el archivo donde tenemos todas las direcciones tanto de las ubicaciones de los usuarios como de las paradas propuestas. Utilizamos la función "rownames" para establecer nombres de fila para data frames y la denominamos como ID1.

```
library(leaflet)
library(openrouteservice)
coordenadas<-as.data.frame(listado_direcciones)
ID1=rownames(coordenadas)
#leaflet()%>%
```

Ilustración 13: Código para crear mapa

A continuación utilizamos la función leaflet para crear el mapa interactivo en el cuál podremos ampliar y disminuir para ver de la forma deseada el mapa. Introducimos en la función lo mostrado a continuación:


```
leaflet(data= coordenadas) %>%
  addTiles() %>%
  setView(lng= coordenadas$LONGITUD[1], lat=coordenadas$LATITUD[1], zoom = 10) %>%
  addMarkers(lng= ~LONGITUD, lat=~LATITUD, popup= ~as.character(ID1), label= ~as.character(ID1)) #>%
  addMarkers(lng= ~LONGITUD, lat=~LATITUD, popup= ~as.character(ID1), label= ~as.character(ID1)) #>%
  #####
```

Ilustración 14: Código para mapa ubicaciones usuarios

La imagen anterior para definir y mostrar en el mapa las ubicaciones de los usuarios, y la imagen a continuación las ubicaciones de las paradas propuestas.

```
coordenadas_paradas<-as.data.frame(listado_paradas)
ID1=rownames(coordenadas_paradas)
leaflet(data=coordenadas_paradas)
leaflet(data= coordenadas_paradas) %>%
  addTiles() %>%
  setView(lng= coordenadas$LONGITUD[1], lat=coordenadas$LATITUD[1], zoom = 10) %>%
  addMarkers(lng= ~LONGITUD, lat=~LATITUD, popup= ~as.character(ID1), label= ~as.character(ID1)) #>%
  addMarkers(lng= ~LONGITUD, lat=~LATITUD, popup= ~as.character(ID1), label= ~as.character(ID1)) #>%
```

Ilustración 15: Código para ubicaciones paradas propuestas

Habiendo introducido dichas funciones nos aparecen los mapas interactivos:

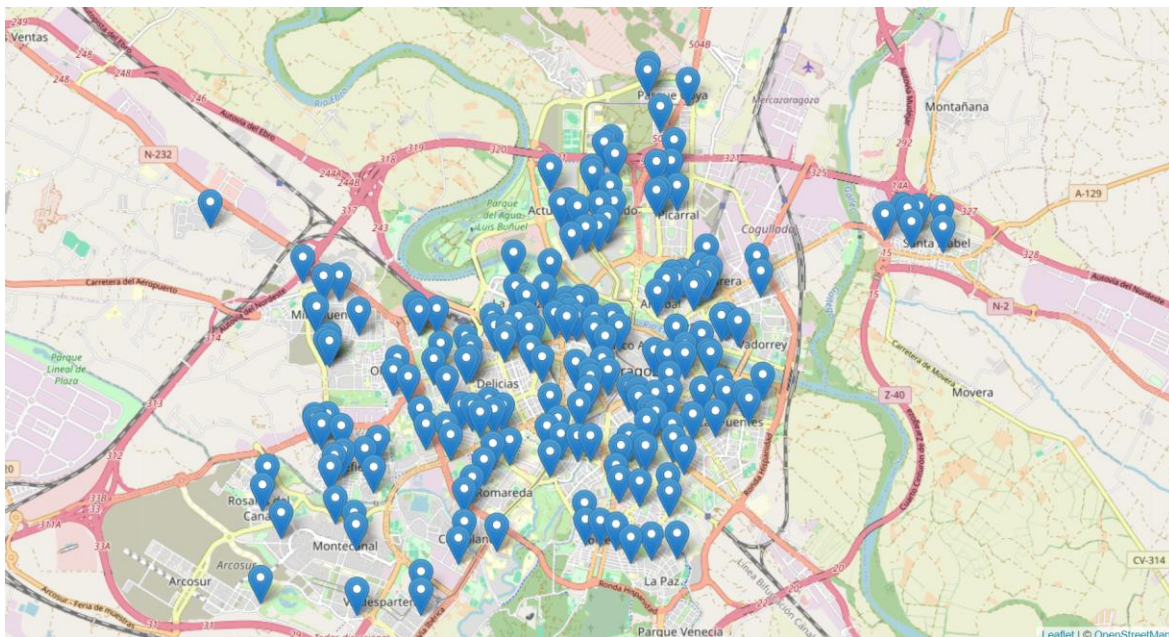


Ilustración 16: Mapa ubicaciones usuarios

Y este para los centroides de los clusters y paradas propuestas:

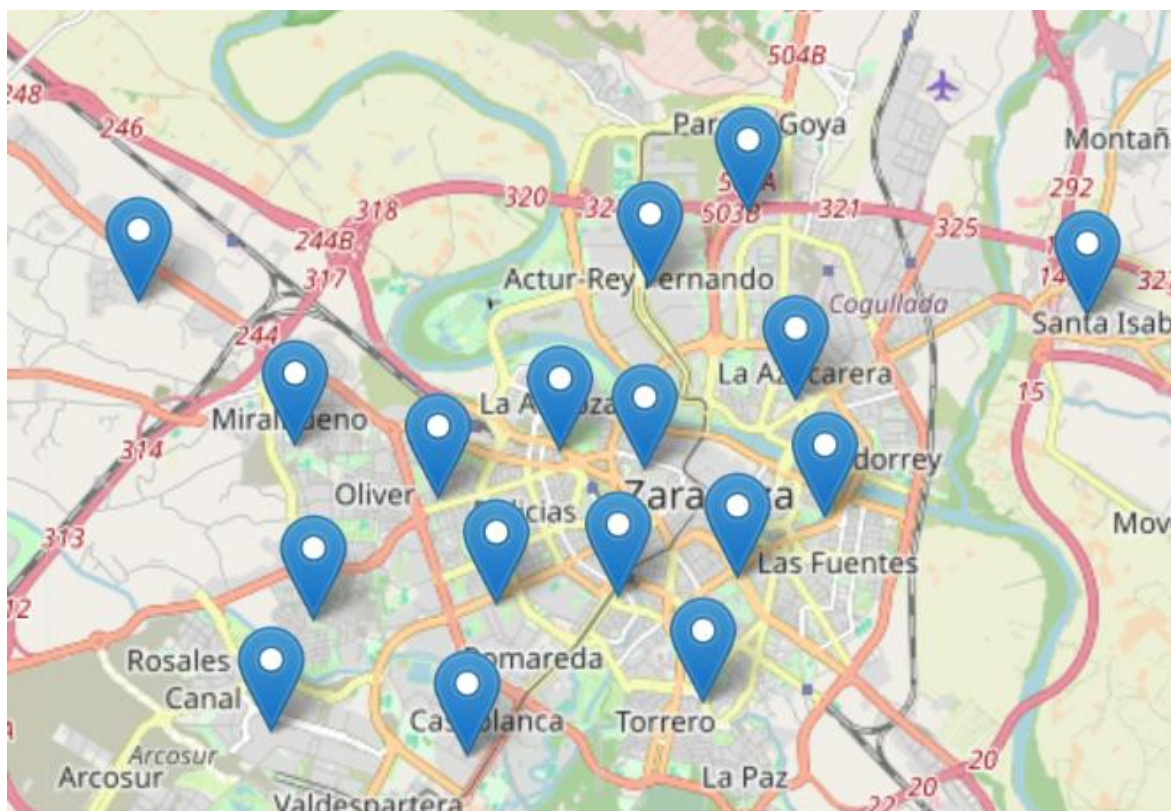


Ilustración 17: Mapa paradas propuestas

Con estos dos mapas ya podemos empezar a trabajar creando las rutas. Aquí ya no utilizamos la herramienta de RStudio, sino que con el propio mapa intentamos guiarnos por las zonas de Zaragoza para intentar cuadrar las rutas, teniendo en cuenta el número de paradas y la cantidad de usuarios para cada ruta, ya que los buses tienen un aforo limitado de unos 54 usuarios.

Las primeras rutas que planteamos fueron las siguientes:

- RUTA 1 (SUR): 2-4-23-9-20-5-7-22 (51 personas Y 8 paradas)
- RUTA 2 (NORTE): 6-26-14-24-16-21 (6 paradas y 2 buses posiblemente).
- RUTA 3: 25-29-3-30-18 (48 personas y 5 paradas)
- RUTA 4: 1-8-10-28-27 (5 paradas y 48 personas)

Esta fueron las primeras rutas creadas para ver si cuadraban con las personas y el número de buses. El problema como podemos ver es que para que sea una auténtica optimización debemos exprimir nuestros recursos intentando utilizar el menor número de buses posible. Es por ello que la RUTA 2 debía cambiar y debíamos redirigir alguna parada en otras rutas. Por ello, movimos la parada 14 a la RUTA 3 y la parada 30 de la RUTA 3 a la RUTA 4. De este modo las rutas nos quedarán de la siguiente manera (mostramos las rutas desde un archivo Excel ya que se ve más ordenado y claro):

	RUTA 1 (va a la Muela)		
2	joaquin Sorolla 19 p bus- parque memoria	-0,878603393	41,6334026
4	Avenida América	-0,885443584	41,6311177
23	Vía Iberica en frente H. Militar	-0,906110278	41,6309738
9	Avda Septimo Arte	-0,925272202	41,6219358
20	Avda Ilustración Montecanal	-0,931393279	41,6295116
5	C/ Piot Tchaikovsky	-0,943008174	41,6344591
7	Crta Madrid Valdefierro rotonda frente agreda automovil	-0,934450766	41,6453462

	RUTA 2 (NORTE)		
6	Santa Isabel-Gasolinera	-0,839483396	41,6701600
15	Plaza Mozart	-0,865664462	41,6624209
26	Valle de Broto con bomberos	-0,875048802	41,6666659
24	Ruiz Picasso	-0,888433657	41,6729656
16	Salvador Allende	-0,873968809	41,6774388
21	Parque Goya	-0,871075783	41,6865762

	RUTA 3		
14	Plaza Europa	-0,892959903	41,6593826
25	Tenor Fleta	-0,883171449	41,6408660
29	Goya - Fdo catolico	-0,892187821	41,6441758
3	Gomez laguna	-0,906944143	41,6428847
30	Correos-via hispanidad	-0,917998750	41,6487735

	RUTA 4		
1	Echegaray/ puente de hierro	-0,872108313	41,6545155
8	Compromiso caspe	-0,864948731	41,6462716
10	Camino las torres con cesareo aliarta	-0,877682932	41,6454903
28	Pablo serrano Paseo m ^a agustin	-0,890374187	41,6513197
27	avenida navarra-avenida madrid	-0,901880587	41,6548571
18	avenida navarra-c/rioja	-0,910726824	41,6563692

Ilustración 18:Rutas propuestas iniciales

Como podemos observar la parada 22 no la hemos añadido como tal en la ruta 1 ya que hemos decidido eliminarla y que el autobús de la RUTA 1 sea el que pasa por La Muela. Es por ello por lo que cualquiera de los buses de la ruta 3 o 4 que tenga espacio tomará como última parada la parada 22.

22	Camino del pilon- miralbueno	-0,93740762	41,65893157
----	------------------------------	-------------	-------------

Ilustración 19:Parada Camino del Pilon

Estas rutas quedarían de la siguiente forma si no fuese porque encontramos un problema de fluidez en la ruta 3. En esta ruta podemos observar que comienza en la parada de Plaza Europa y la siguiente parada es Tenor Fleta. Vemos que el autobús podría tener complicaciones a la hora de atravesar todo el centro de la ciudad, y no observamos la lógica de cruzar el centro hasta Tenor Fleta para volver a la parada de Goya. Como se perdería bastante tiempo y buscamos ser eficientes con este

decidimos eliminar dicha parada y redirigir a los usuarios que principalmente iban allí a Camino las Torres con Cesáreo Alierta.

Es por ello por lo que la Ruta 3 se quedará en un inicio con 4 paradas, contando con la posibilidad de incluir la parada 22 de Miralbueno ya que puede haber hueco en dicho autobús y no deberá realizar el conductor recorrido excesivo.

4.4. DISTANCIA DE LAS RUTAS.

4.4.1. DOMICILIOS A PARADAS

Otro factor importante a la hora de crear unas nuevas rutas de autobús es conocer la distancia real de todos los usuarios del autobús desde su ubicación de domicilio hasta la parada más cercana. Es por eso por lo que como al inicio de este trabajo, hemos utilizado la herramienta web de cálculo de distancias de coordenadas para conocer las distancias reales de domicilios a paradas.

A continuación mostraremos como ejemplo las distancias reales desde la parada 1 a todos los domicilios próximos. El resto de las paradas las podremos observar en el Anexo 2 de distancias reales.

	1
	Echegaray/puente hierro
nº usuarios	9
COORDENADAS	41.65451545501971, -0.87210831298688
DIPUTADOS, 15 4B - 0.8891000,41.64880	1550 m
ANDADOR REINA ESTER, 1, 7C, -0.8679138,41.65110	520 m
COSO, 126 3A,41.65152470087524, -0.8755562661577366	460 m
C/ JUSEPILLO DE OLLETA, 3, 5 C,41.65236038383722, -0.8723426622847212	240m
DR. BLANCO CORDERO 6 1E,41.651634435916364, -0.868302733449032	450m
COSO, 85, 3B,41.6520335456023, -0.8772446864565725	530m

SAN VICENTE DE PAUL, 48 2D,41.65457029577386, - 0.8739492776274578	150m
PLAZA HERRERA DE LOS NAVARROS, 3 P06 B,41.65377633041981, - 0.8694663046131594	230m
CANTIN Y GAMBOA, 11, 1 D,41.65115220433787, - 0.8723546604347311	370m
LEOPOLDO ROMEO, 9,4 C,41.64765031299821, - 0.8662035892706842	890m

Tabla 1: Distancias domicilios a parada 1

Hemos marcado en rojo la mayor distancia de domicilio a parada.

4.4.2. DISTANCIAS RUTAS

Debemos tener en cuenta además las distancias de las rutas en su totalidad, ya que la optimización de estas rutas no es sólo a nivel de distancias, sino además de tiempo, por lo que cuanto menos distancia tengan cada ruta, mayor tiempo ahorran los autobuses y mejor se podrán organizar para subir a La Almunia. En concreto, las distancias totales de las rutas serían las siguientes:

		RUTA 1 (va a la Muela)			
	2	joaquin Sorolla 19 p bus- parque memoria	-0,878603393	41,6334026	METROS
	4	Avenida América	-0,885443584	41,6311177	620
R1 7010	23	Vía Iberica en frente H. Militar	-0,906110278	41,6309738	1720
	9	Avda Septimo Arte	-0,925272202	41,6219358	1890
	20	Avda Ilustración Montecanal	-0,931393279	41,6295116	530
	5	C/ Piot Tchaikovsky	-0,943008174	41,6344591	1110
	7	Crta Madrid Valdefierro rotonda frente agreda automovil	-0,934450766	41,6453462	1140
		RUTA 2 (NORTE)			
R2 6920	6	Santa Isabel-Gasolinera	-0,839483396	41,6701600	METROS
	15	Plaza Mozart	-0,865664462	41,6624209	2340
	26	Valle de Broto con bomberos	-0,875048802	41,6666659	910
	24	Ruiz Picasso	-0,888433657	41,6729656	1320
	16	Salvador Allende	-0,873968809	41,6774388	1300
	21	Parque Goya	-0,871075783	41,6865762	1050
R3 3210		RUTA 3			
	14	Plaza Europa	-0,892959903	41,6593826	METROS
	29	Goya - Fdo catolico	-0,892187821	41,6441758	840
	3	Gomez laguna	-0,906944143	41,6428847	1240
	30	Correos-via hispanidad	-0,917998750	41,6487735	1130

		RUTA 4			
R4	1	Echegaray/ puente de hierro	-0,872108313	41,6545155	METROS
5170	8	Compromiso caspe	-0,864948731	41,6462716	1090
	10	Camino las torres con cesareo aliarta	-0,877682932	41,6454903	1060
	28	Pablo serrano Paseo m ^a agustin	-0,890374187	41,6513197	1240
	27	avenida navarra-avenida madrid	-0,901880587	41,6548571	1030
	18	avenida navarra-c/rioja	-0,910726824	41,6563692	750

Ilustración 20: Distancias totales de rutas propuestas

En las ilustraciones mostramos tanto las distancias en metros de una parada respecto a la siguiente como la distancia total de la ruta. Como hemos aclarado anteriormente, la parada 22 de Ronda de Ibón de Plan con Camino del Pilón se añadirá al autobús de la ruta 3 o 4 que esté menos lleno.

4.5. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN.

En el siguiente punto a continuación se expondrá un pequeño análisis comparativo entre la propuesta de estas nuevas rutas con las rutas actuales de la Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia.

Para poder realizar una comparación real, hemos analizado las rutas actuales de autobús de la Escuela. En primer lugar, hemos ubicado en un mapa las paradas actuales para conocer el área que abarcan todas las paradas y qué posibles zonas quedan sin tenerse en cuenta. Para ello, hemos buscado las coordenadas de las paradas de autobús que aparecen en la página web de la EUPLA y con ayuda de la herramienta de RStudio las hemos plasmado en el mapa.

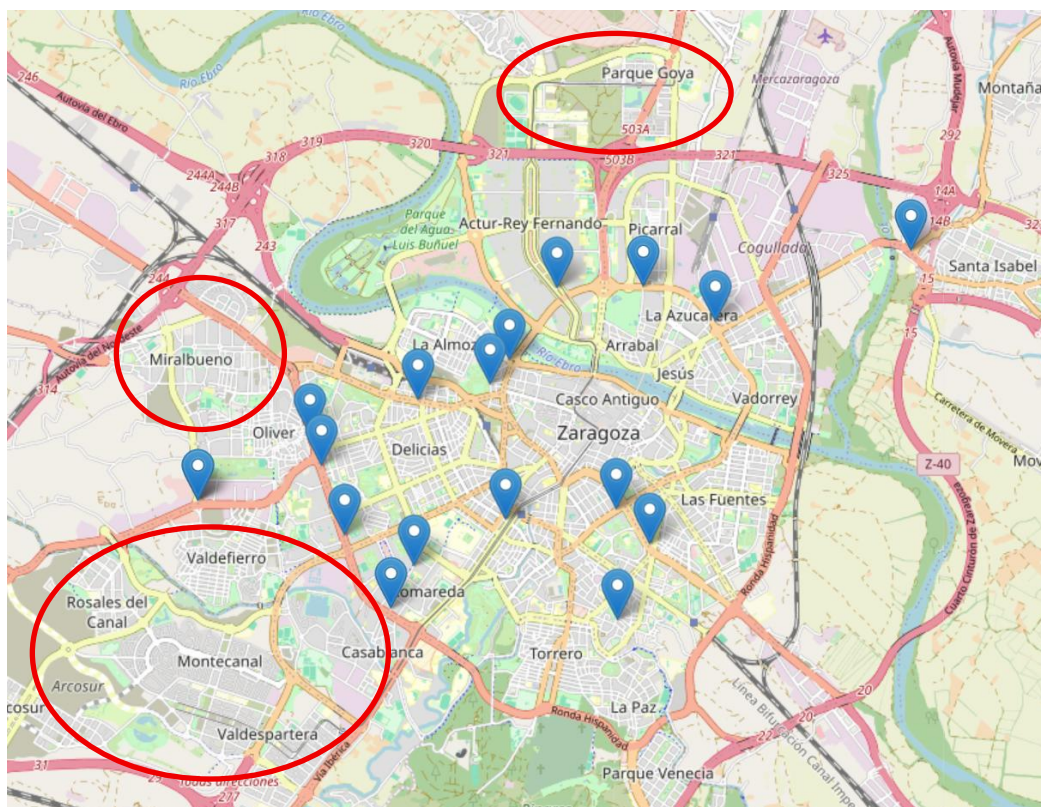


Ilustración 21: Paradas actuales

Como podemos observar, las paradas actuales abarcan sobre todo el norte y centro de la ciudad, pero vemos que no se abarca para nada sobre todo la zona sur de Valdespartera, Rosales del Canal y Montecanal, así como Miralbueno y Parque Goya. Estas son zonas que no se toman en cuenta y si observamos el número de usuarios que residen en dichas zonas, deberían incluirse.

Es por eso que con nuestras nuevas rutas llegaríamos a todas estas zonas no abarcadas anteriormente.

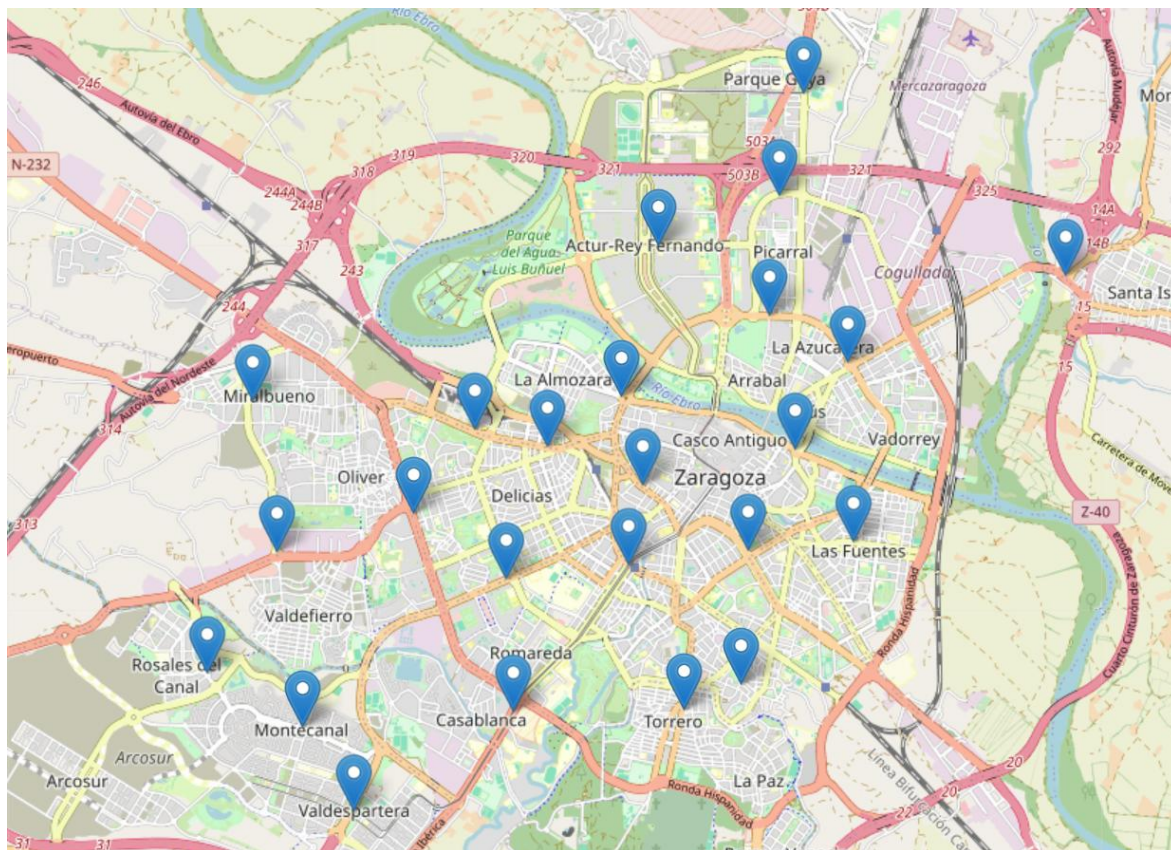


Ilustración 22: Paradas propuestas

La comparativa es clara. En las nuevas rutas, observamos que las paradas abarcan toda la ciudad, incluyendo nuevas zonas en las que antes no llegaban los autobuses. Para que se observe más fácilmente las pondremos a continuación:

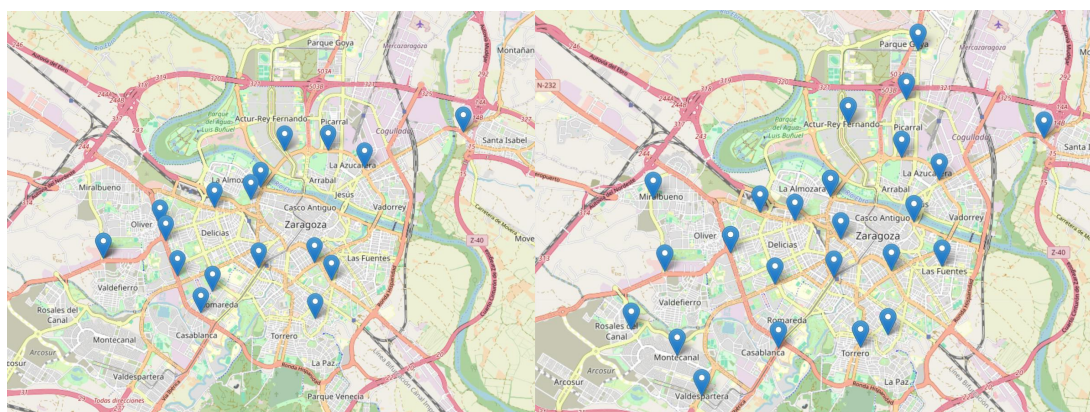


Ilustración 23: Comparativa de paradas

Como podemos observar hay una diferencia considerable entre las rutas propuestas de las actuales, vemos claramente que las paradas que proponemos abarcan mucho más y mejor las zonas de Zaragoza.

En segundo lugar, debemos comparar las distancias. Hemos realizado una comparativa tanto de la distancia total de las rutas actuales, que son

dos, como las distancias de los usuarios con las paradas actuales, sobre todo en estas zonas donde no se llega con los autobuses.

Primero observaremos las distancias totales de las rutas:

Las rutas actuales son las siguientes:

UBICACIÓN	LONGITUD	LATITUD			
Santa isabel-gasolinera(p bus 28,32,60)	-0,839483396	41,6701600			
Avenida Cataluña-Plaza mozart(P bus 50, 44)	-0,865582929	41,6632172		2300	
Valle Broto-Bomberos (Bar la Parada)	-0,875048802	41,6666659		880	R1
Maria Zambrano, 21(intercambiador Actur)	-0,886566133	41,6665498		960	9380
Plaza Europa (P bus 23)	-0,892959903	41,6593826		960	
Calle los diputados (P bus 34)	-0,895486325	41,6568892		350	
Avenida Navarra, 38, mercadona	-0,905190802	41,6553324		830	
Via hispanidad frente bar 212- rotonda)	-0,920763568	4,1655016		1300	
Via Hispanidad , 97 p bus 22	-0,919511740	41,6518754		360	
Crta Madrid Valdefierro rotonda frente agreda automovil	-0,934450766	41,6453462		1440	

Ilustración 24: Distancias de rutas actuales (A)

joaquin Sorolla 19 p bus- parque memoria	-0,878603393	41,6334026			R2
Cesáreo Alierta 57 bbva	-0,874204915	41,6410006		920	7550
Camino las torres esquina francisco vitoria	-0,878717321	41,6443999		530	
Bretón esquina baltasar gracion	-0,893431975	41,6434308		1230	
Condes de Aragón frente Luis bermejo p bus 42	-0,905741155	41,6387625		1150	
condes de Aragón esq. Via hispanidad (frente gasolinera)	-0,908749132	41,6345403		530	
Via Hispanidad 54 p. bus 22, 53	-0,914945206	41,6418669		960	
Via hispanidad 100 correos	-0,917998750	41,6487735		810	
Crta Madrid Valdefierro rotonda frente agreda automovil	-0,934450766	41,6453462		1420	

Ilustración 25: Distancia de las rutas actuales (B)

Es decir, la ruta 1 es de 9380 metros y la ruta 2 es de 7550 metros.

Las rutas propuestas las hemos mostrado en el punto anterior, pero en resumen contamos con cuatro rutas, siendo de 7010 metros, 6920 metros, 3210 metros y 5170 metros respectivamente. Si añadimos la parada 22 de Miralbueno a la ruta 3 quedaría en 5180 metros. Incluso así, ninguna ruta supera las distancias de las rutas actuales.

Además las rutas que proponemos no cuentan con muchas paradas, son: 7, 6, 5 (incluido Miralbueno) y 6 respectivamente. No son muchas paradas si lo comparamos con las actuales que cada son de 9 y 8 paradas. No es una gran diferencia, pero al no ser tantas paradas y no aumentar las distancias optimizamos los tiempos y los utilizamos de una manera más eficiente abarcando más área de recogida de usuarios de autobús.

En segundo lugar mostraremos las diferencias que se observan en ciertas paradas como en Parque Goya, Valdespartera, Miralbueno, Rosales del Canal, etc. Respecto a las distancias actuales de los usuarios de estas zonas con las paradas a las que acuden actualmente, comparado con las paradas propuestas.

	rosales C/ gracia iberus	valdefierro alcampo
	4	RUTA ACTUAL
	41.6344591 14466715, - 0.94300817 37811826	41.645346233 0479, - 0.9344507662 97455
A C/ BEETHOVEN ,44 6b, - 0.9451119,4 1.63627	270m	1340 m
ERMESINDA DE ARAGÓN 4 CASA 3,41.630296 29842188, - 0.94283563 34503808	460m	1810 m
JOHANN SEBASTIAN BACH, 11 BAJO A,41.634042 56403892, - 0.94606175 09631937	260m	1590m

Tabla 2: Comparativa de distancias: Rosales del Canal

En esta tabla comparamos las distancias de los usuarios que viven por Rosales del Canal, a los que les correspondería la parada actual de Valdefierro. Observamos que respecto a la parada propuesta de Rosales, las distancias son mucho mayores en comparativa.

	Valdesparte ra avda 7* arte	valdefierro alcampo	Via Hispanidad 54 p. bus 22, 53		Montecanal Avda ilustr.	valdefierro alcampo
	3	RUTA, AC	RUTA ACTUAL		6	RUTA ACTUAL
	41.62193577 646848, - 0.925272201 8879698	41.645346 2330479, - 0.9344507 66297455	41.641866933808, 0.9149452057395 28		41.6295116 21835626, - 0.93139327 87466204	41.6453462 330479, - 0.93445076 6297455
C/ LA QUIMER A DEL ORD. 38, 4*B 41.6204103 80770416, - 0.9184576	600m	3080m	2401m	AVDA. ILUSTRACIÓ N, 39 CASA 73,41.63216 ,-0.9332945	330m	1470m
AVDA. CASABL ANCA 18, 3*B 41.6203810 41102505, - 0.9295185	390m	2810m	2680m	AVDA.ILUST RACION (MONTECA NAL) 31,CASA 22,41.63026 ,-0.9301298	130m	1720m
CALLE SALOMÓ N Y LA REINA DE SABA 18 2°C,41.622 43246780	1780 m	2750m	3410m	AVD. ILUSTRACIÓ N 11 CASA 13,41.62871,- 0.9297820	160m	1890m
LOS OLVIDAD OS 7/5*A,41.6 230110578 7282, - 0.91830613	590 m	2830m	2120m			

Tabla 3: Comparativa de distancias: Valdespartera-Montecanal

En estas tablas a la izquierda se muestran las ubicaciones de los usuarios, en la siguiente columna las distancias con las paradas propuestas y por último las distancias con las paradas actuales.

	Parque goya	Valle Broto-Bomberos (Bar la Parada)		Ronda ibon Plan Camino Pilon	valdefierro alcampo			
	4	PARADA ACTU		10	RUTA ACTUAL			
	41.686576 19155107,- 0.8710757 826241137	41.666665947 7553,- 0.8750488024 4776		41.658931 56567002 4,- 0.937407	41.645346233 0479,- 0.9344507662 97455			
C/LA LECTURA, 8, 4ª A, 41.687102 99327755, - 0.8717792 22011507	60m	2290m	IBON DE ASTÚN, 26 ESC. 1- 4ª D, - 0.936896 8, 41.6572 1	200 m	1340m	C/SAN BARTOLO MÉ 5, CASA, 41.665269 20285832 6, -	720 m	2250m
C/ JOSEFA BAYEU, 18 41.683532 08258099, - 0.8765604 40283296	590m	1880m	SERGIO LÓPEZ SAZ, 18, 3ª B, 41.6566 2,- 0.929239 9	730 m	1330m	C/PASEO LAGOS DE ALBA, 60 CASA 96, 41.661 43811293 375, - 0.932562	490m	1800m
GALLEGO, JULIAN 11 6ª B 41.688712 2586967, - 0.8788177 19278070	690m	2470m	IBÓN DE ASTÚN, 25, ESC. 6, 4ª C, 41.657375 48704913, -	180 m	1350m	C/LAGOS DE CORONA S 44, 1ª A, 41.6540 08592512 94, - 0.9343155	610m	960m
GASSIER, 13, 1ª A, 41.6879 84309203 54, - 0.8789432 77625279	670m	2390m	CALLE LAGOS DE CORONA S, 46, 5ª B, 41.6537 38503622	640 m	930m	P/LAGOS DE ALBA, 90, CASA 5, 41.66096 -	290m	1740m
						IBÓN DE ESCALAR 37 7ª B, 41.6531 49543788 49, - 0.934364	740m	870m
						RONDA IBON DE PLAN, 26 ESC 2 1ª A, 41.6531 319914761 9, - 0.934933	680m	870m

Ilustración 26: Comparativa paradas Miralbueno y Parque Goya

Con ello demostramos de tres formas distintas la mejora y la optimización de las rutas del servicio de autobús de la EUPLA.

5. RESULTADOS

En el siguiente apartado realizaremos la presentación definitiva de las rutas propuestas incluyendo las paradas de cada una de ellas. Estas rutas son el fruto de un exhaustivo análisis e investigación utilizando como base las paradas y rutas actuales pero optimizándolas de la mejor forma posible.

RUTA 1

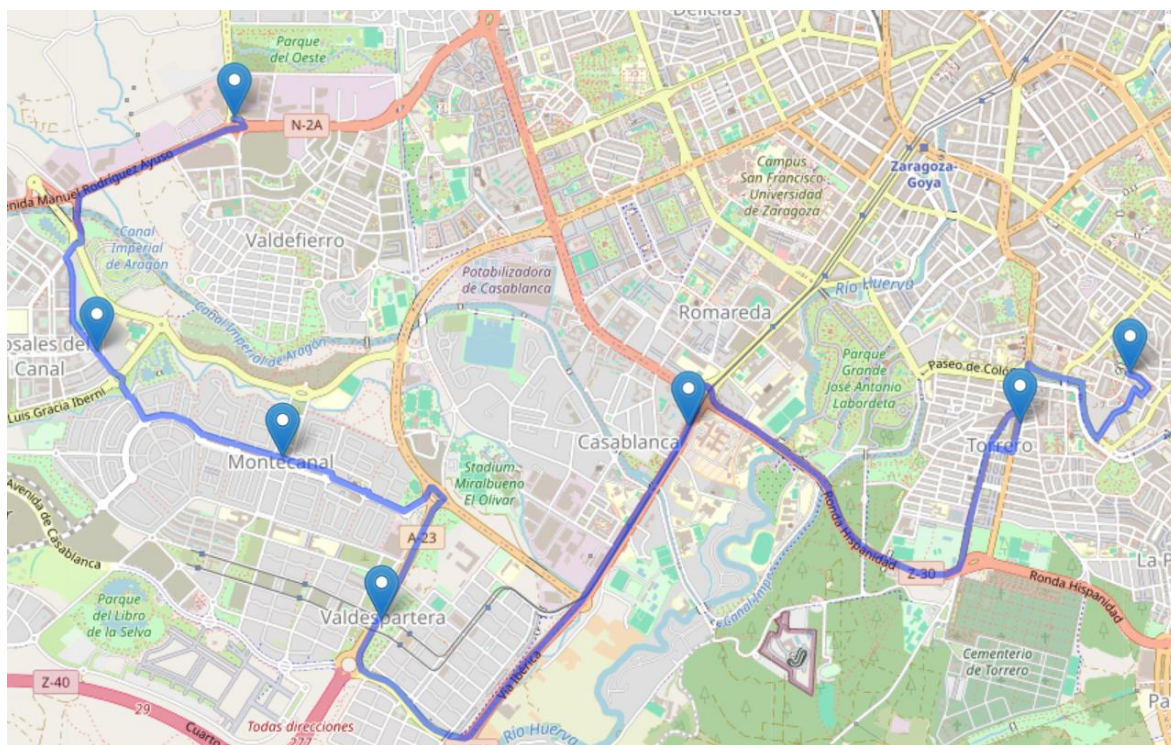


Ilustración 27: RUTA 1

Paradas ruta 1:

- Joaquín Sorolla 19 parada bus- parque memoria
- Avenida América
- Vía Ibérica (En frente del Hospital Militar)
- Avenida del Séptimo Arte
- Avenida de la Ilustración parada bus del Jena
- Rosales del Canal C/ Piot Tchaikovsky
- Crta Madrid Valdefierro rotonda frente agreda automóvil

La ruta 1 realizará la parada de La Muela

RUTA 2

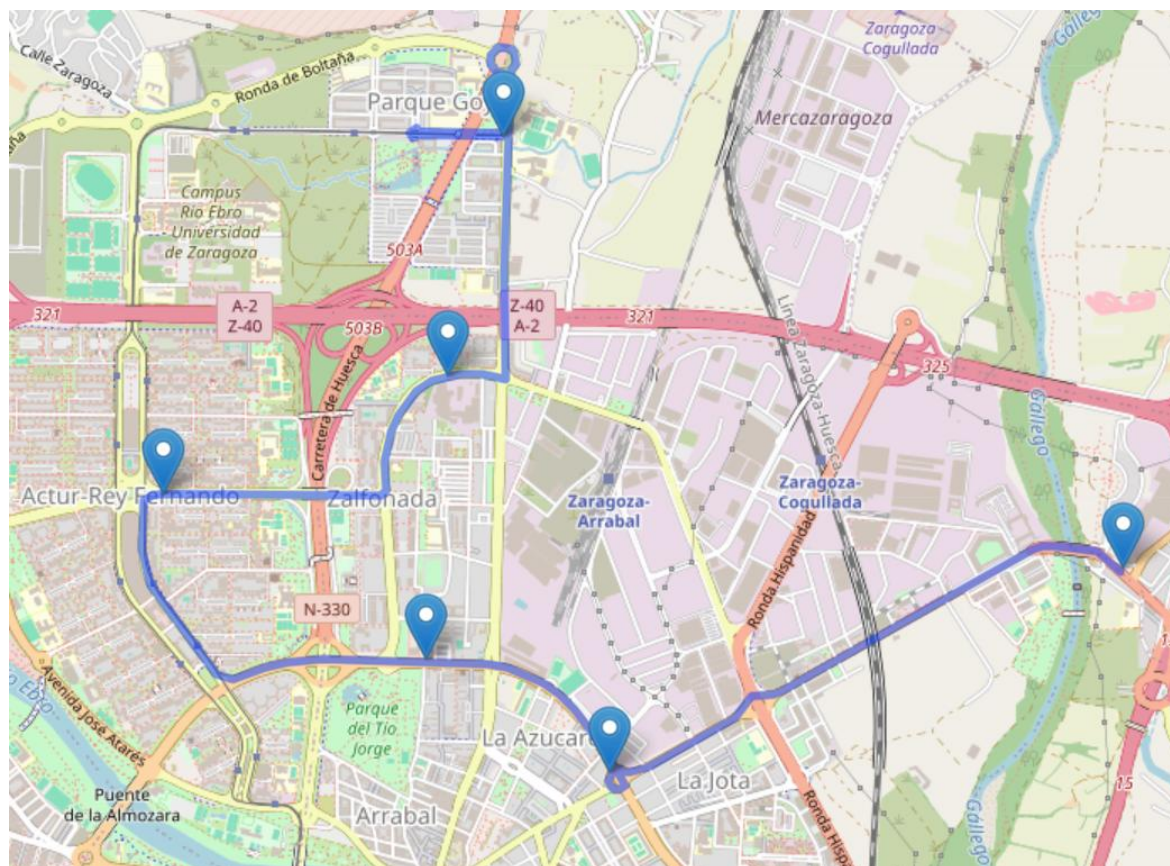


Ilustración 28: RUTA 2

Paradas ruta 2:

- Santa Isabel-Gasolinera
- Plaza Mozart
- Valle de Broto con bomberos
- Ruiz Picasso con Rey Fernando
- Salvador Allende con la Zalfonada
- Parque Goya

RUTA 3

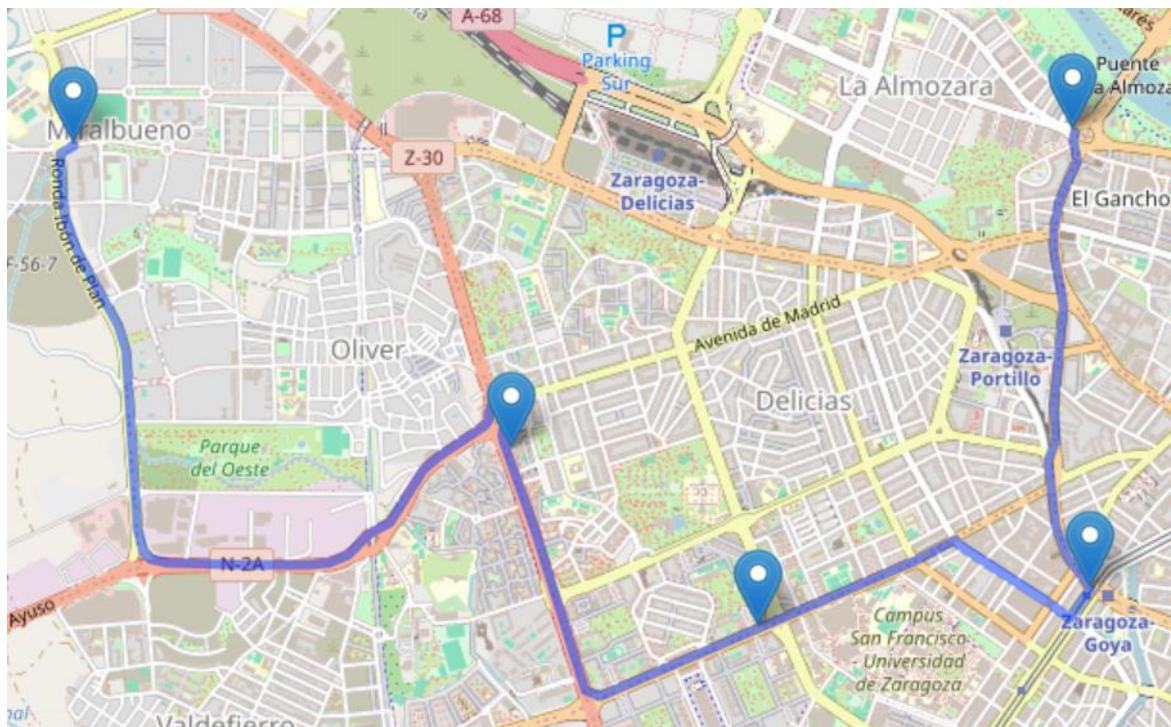


Ilustración 29: RUTA 3

Paradas ruta 3:

- Plaza Europa
- Goya – Fernando el Católico
- Avenida Gómez Laguna
- Correos-Vía Hispanidad
- Camino del pilón- C/Ibón de Plan (Miralbueno)

Una vez más aclaramos que añadimos la última parada (Camino del Pilón) en la ruta 3 ya que al contar con menos paradas probablemente haya más huecos de asientos. En caso contrario se encontraría con el autobús de la ruta 4 para dividir los pasajeros.

RUTA 4

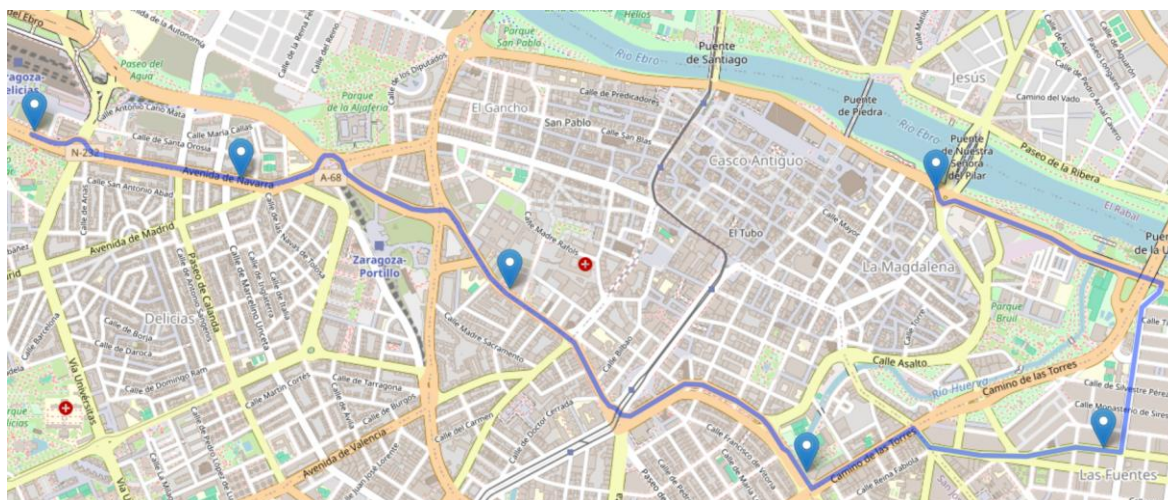


Ilustración 30: RUTA 4

Paradas ruta 4:

- Echeagaray/ Puente de hierro
- Compromiso de Caspe
- Camino las Torres con Cesáreo Alierta
- Pablo serrano-Paseo Mª Agustín
- Avenida Navarra-Avenida Madrid
- Avenida Navarra-C/Rioja

El código para crear dichos mapas se puede observar en el Anexo 3, aunque podemos destacar el uso de las funciones "openrouteservice", "gdata", "leaflet" y "readxl" para dichas rutas.

6. CONCLUSIONES

Tras el desarrollo del presente Trabajo Fin de Grado, se puede concluir que se han alcanzado satisfactoriamente los objetivos planteados al inicio. Se ha logrado diseñar un sistema de optimización de rutas de autobús para la EUPLA que mejora la cobertura geográfica, reduce distancias recorridas y optimiza el número de paradas y usuarios por ruta, todo ello mediante el uso de técnicas de clusterización en RStudio y herramientas cartográficas.

Gracias a esta propuesta, se ha podido evidenciar que el sistema actual presenta limitaciones importantes en cuanto a cobertura y eficiencia, especialmente en zonas como Rosales del Canal, Parque Goya o Montecanal, las cuales han sido adecuadamente integradas en las nuevas rutas. Además, se ha demostrado que es posible distribuir la demanda de usuarios en cuatro rutas eficientes, sin superar las distancias de las rutas actuales y manteniendo un equilibrio razonable en el número de paradas.

A nivel metodológico, el uso de RStudio y los algoritmos de clusterización han permitido un enfoque riguroso y fundamentado, dotando al proyecto de una base analítica sólida que puede servir como referencia para futuras decisiones organizativas.

Como visión a futuro, se podrían plantear las siguientes líneas de trabajo:

- Implementación real de las rutas propuestas para analizar su viabilidad operativa y recepción por parte del alumnado.
- Inclusión de horarios y tiempos de parada para optimizar también el tiempo total de trayecto.
- Incorporación de restricciones adicionales como accesibilidad, tiempo máximo de recorrido o condiciones del tráfico.
- Desarrollo de una aplicación o sistema dinámico de gestión de rutas en función del número de usuarios por curso académico.

Este trabajo representa una base sólida para una mejora real del servicio de transporte universitario, combinando análisis de datos con aplicaciones prácticas.

7. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los objetivos de este Trabajo Fin de Grado están alineados con los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y metas, de la Agenda 2030:

- Objetivo 7- Energía asequible y no contaminante.
- Meta 7.3 De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de eficiencia energética.
- Objetivo 12- Producción y consumo responsables.
- Meta 12.6 Alentar a las empresas, en especial las grandes empresas y las empresas transnacionales, a que adopten prácticas sostenibles e incorporen información sobre la sostenibilidad en su ciclo de presentación de informes.
- Objetivo 13 – Acción por el clima.
- Meta 13.3 Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.



8. BIBLIOGRAFÍA

AprendizajeNoSupervisado.pdf. (s. f.).

Autobús | Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia. (s. f.).

Recuperado 16 de junio de 2025, de
<http://eupla.unizar.es/servicios/autobus>

Cheng, J., Schloerke, B., Karambelkar, B., Xie, Y., Wickham, H., Russell, K., Johnson, K., library), V. A. (Leaflet, library), C. (Leaflet, library), L. contributors (Leaflet, plugin), B. C. (leaflet-measure, plugin), J. D. (Leaflet T., plugin), B. B. (Leaflet M., plugin), N. A. (Leaflet M., plugin), L. V. (Leaflet awesome-markers, plugin), D. M. (Leaflet E., plugin), K. A. (Proj4Leaflet, plugin), R. K. (leaflet-locationfilter, plugin), M. (leaflet-omnivore, ... PBC. (2024). *leaflet: Create Interactive Web Maps with the JavaScript «Leaflet» Library* (Versión 2.2.2) [Software]. <https://cran.r-project.org/web/packages/leaflet/index.html>

Create Interactive Web Maps with the JavaScript Leaflet Library. (s. f.).

Recuperado 4 de junio de 2025, de
<https://rstudio.github.io/leaflet/>

Foto_bus_560x230_actual | Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia. (s. f.). Recuperado 16 de junio de 2025, de
<https://eupla.unizar.es/taxonomy/term/47>

Google Maps. (s. f.). Google Maps. Recuperado 16 de junio de 2025, de <https://www.google.es/maps?hl=es>

Interactive maps with leaflet in R. (2022, octubre 29). R CHARTS | A Collection of Charts and Graphs Made with the R Programming Language. <https://r-charts.com/spatial/interactive-maps-leaflet/>

Introduction to leaflet • leaflet. (s. f.). Recuperado 16 de junio de 2025, de <https://rstudio.github.io/leaflet/articles/leaflet.html>

R: Get and Set Row Names for Data Frames. (s. f.). Recuperado 4 de junio de 2025, de <https://stat.ethz.ch/R-manual/R-devel/library/base/html/row.names.html>

RPubs—Análisis de Cluster en R. (s. f.). Recuperado 16 de junio de 2025, de <https://rpubs.com/lhromeroj/analisisdeclusterR>

RPubs—Chapter 4 “K-means clustering”—Informe final AEST. (s. f.). Recuperado 16 de junio de 2025, de <https://rpubs.com/Dariel1102/1046632>

RPubs—Introducción a los Modelos de Agrupamiento en R. (s. f.). Recuperado 16 de junio de 2025, de <https://rpubs.com/rdelgado/399475>

RPubs—Mapas Interactivos con R. (s. f.). Recuperado 16 de junio de 2025, de https://rpubs.com/Grett_7/mapa

Salidas de Zaragoza | Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia.

(s. f.). Recuperado 16 de junio de 2025, de

<http://eupla.unizar.es/servicios/autobus/salidas-de-zaragoza>

S.L, T. N. (s. f.). *Calcular la distancia entre dos puntos de la tierra.*

www.tut tiempo.net. Recuperado 16 de junio de 2025, de

<https://www.tut tiempo.net/calcular-distancias.html>

Relación de documentos

(X) Memoria 44 páginas

(_) Anexos 33 páginas

La Almunia, a 24 de Junio de 2025



Firmado: Elena Fernández-Giro Torrado