

Trabajo Fin de Máster
Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Análisis de la demanda y diseño de estrategias de
promoción del uso de la bicicleta en Sevilla

Autor: Alejandra García Sánchez

Tutor: Luis Miguel Romero Pérez

Dpto. de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019



Trabajo Fin de Máster
Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Análisis de la demanda y diseño de estrategias de promoción del uso de la bicicleta en Sevilla

Autor:

Alejandra García Sánchez

Tutor:

Luis Miguel Romero Pérez

Dpto. de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2019

Trabajo Fin de Máster: Análisis de la demanda y diseño de estrategias de promoción del uso de la bicicleta en Sevilla

Autor: Alejandra García Sánchez

Tutor: Luis Miguel Romero Pérez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

Tras una dura travesía, hoy termino mi Trabajo Fin de Máster, con ello también termina una etapa de 2 años de duro trabajo que he superado, en gran parte, gracias a todos aquellos que de una forma u otra me ha transmitido fuerza, amor y ganas de levantarme cada día y pelear por mi sueño.

En primer lugar, agradecer a mi tutor, Luis Miguel, por luchar a mi lado para vencer todas las adversidades que se han presentado durante la redacción de este trabajo.

Sólo puedo expresar mi sincero más agradecimiento a mi familia por apoyarme durante esta etapa académica, en especial a mi hermano, por aportar su granito de arena en la realización de este Trabajo Fin de Máster.

Alejandra García Sánchez

Sevilla, 2019

Resumen

Sevilla, gracias al Plan Director de la Bicicleta aprobado en 2007, consiguió impulsar el uso de la misma hasta alcanzar un 6% de reparto modal, valor que no ha sido actualizado hasta la fecha dada la escasez de estudios de movilidad. A raíz del *Programa de la Bicicleta Sevilla 2020* aprobado en el Excmo. Ayuntamiento Pleno en diciembre de 2017 se establece la necesidad de continuar avanzando, de tal forma que se consiga alcanzar al menos un 15% de reparto modal en 2020.

Con el fin de evaluar la situación de la bicicleta de Sevilla y promocionar su uso, surge este Trabajo Fin de Máster, en el cual se actualizan los datos de movilidad disponibles de tal forma que se consigan obtener volúmenes de demanda parecidos a los observados en las diferentes vías que conforman la infraestructura de la bicicleta. A esto le sigue un posterior análisis de la demanda para concluir con un mapa esquemático de la red de bicicleta de Sevilla, en el que se define un conjunto de líneas, sintetizando las rutas principales obtenidas, representando la bicicleta como un modo de transporte moderno y eficiente.

La creación de líneas de bicicleta no solo busca atraer a la población hacia el modo de transporte en estudio, sino conocer la importancia de cada una de ellas en función de su demanda con el fin de priorizar las posibles futuras actuaciones sobre la infraestructura.

Abstract

Thanks to the Spanish “Plan Director de la Bicicleta”, which was sanctioned in 2007, Seville drove its use until reaching a 6% in the modal split. This value has not been updated until today given the lack of mobility studies. In light of the “Programa de la Bicicleta Sevilla 2020”, which was approved in the City Council of Seville in 2017, the necessity to advance is established in such a way that at least a 15% in the modal split could be reached in 2020.

In order to assess the situation of bicycles in Seville and with the aim of promoting its use, this thesis updates the available mobility data so as to get demand volumes in their resemblance of the ones observed in the different routes that contribute to the bicycle’s infrastructure. This is followed by a subsequent analysis of the demand to conclude with a schematic map of Sevillian’s bicycle’s net. In it, a combination of lines is defined encapsulating the main routes obtained in the study and representing the bicycle as a latest and efficient transport mode.

The creation of bicycle lines not only seeks to attract the population so as to use the transport mode in the study, but also to know the importance of each one depending on their demand with the final aim of prioritising the possible future interventions on the infrastructure.

Agradecimientos	vii
Resumen	ix
Abstract	xi
Índice	xiii
Índice de Tablas	xv
Índice de Figuras	xvii
Notación	xxi
1. Justificación, Objetivos y Herramientas de Trabajo	1
1.1. <i>Justificación del tema de estudio</i>	1
1.1.1. Círculo vicioso del automóvil	1
1.1.2. La bicicleta como modo de transporte	2
1.2. <i>Objetivos</i>	3
1.3. <i>Herramientas de trabajo</i>	4
1.4. <i>Organización del Trabajo Fin de Máster</i>	4
2. Proceso de Encuestación	7
2.1. <i>Descripción de los modelos de encuestas utilizados</i>	7
2.2. <i>Descripción y participación en el proceso de encuestación</i>	7
2.2.1. Motivos de elección del punto 1	8
2.2.2. Motivos de elección del punto 2	9
2.3. <i>Descripción de las variables</i>	9
2.3.1. Variables en la encuesta de usuarios en bicicleta	9
2.3.2. Variables en la encuesta de peatones	11
2.4. <i>Análisis cualitativo de resultados</i>	11
2.4.1. Peatones – Análisis de datos	11
2.4.2. Peatones – Estadística inferencial	15
2.4.3. Usuarios en bicicleta – Análisis de datos	17
2.4.4. Usuarios en bicicleta – Estadística inferencial	22
3. Matriz Origen-Destino	31
3.1. <i>Matriz OD base</i>	31
3.1.1. Matriz OD extraída de encuestas	32
3.1.2. Actualización de la matriz OD base	33
3.2. <i>Ajuste de la Matriz OD</i>	34
3.2.1. Elección del método de ajuste de la matriz	34
3.2.2. Restricciones del ajuste	35
3.2.3. Algoritmo de ajuste	45
3.2.4. Resultado del ajuste	53
4. Asignación	57
4.1. <i>Introducción al problema de asignación</i>	57
4.2. <i>Componentes de la red</i>	59

4.2.1.	Red de bicicleta en Sevilla	59
4.2.2.	Zonas de análisis de transporte	62
4.2.3.	Centroides	63
4.3.	<i>Método de asignación</i>	63
4.4.	<i>Asignación: resultados</i>	64
5.	Estrategias para fomentar el transporte en bicicleta	65
5.1.	<i>La bicicleta como modo de transporte</i>	65
5.2.	<i>Estrategia para promover el uso de la bicicleta</i>	67
5.2.1.	Estudio de la población	67
5.2.2.	Políticas de actuación	69
5.3.	<i>Sevilla como bicycle-friendly city</i>	72
5.4.	<i>Promoción de la bicicleta: mapa esquemático</i>	75
5.4.1.	Determinación de puntos de interés	75
5.4.2.	Elección de los arcos principales	75
5.4.3.	Determinación de líneas principales	76
5.4.4.	Elaboración del mapa esquemático	79
6.	Conclusiones y Líneas Futuras	81
6.1.	<i>Conclusiones</i>	81
6.1.1.	Proceso de encuestación	81
6.1.2.	Ajuste de la matriz y asignación de viajes	81
6.1.3.	Promoción de la bicicleta	81
6.2.	<i>Líneas futuras de investigación</i>	82
Anexo A.-	Modelos de Encuestas	83
Anexo B.	Matriz extraída del Proceso de Encuestación	85
Anexo C.-	Tablas utilizadas en el ajuste de la Matriz OD	89
Anexo D.-	Puntos de interés	91
Anexo E.-	Análisis de Demanda	93
Anexo F.-	Mapa esquemático de la Red de Bicicleta de Sevilla	109
	Referencias	111
	Glosario	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Reparto modal de bicicleta en España [2]	2
Tabla 2-1. Tabla cruzada entre sexo y uso de bicicleta	15
Tabla 2-2. Tabla cruzada motivo no uso y sexo. Recuento	15
Tabla 2-3. Tabla cruzada entre el sexo y si saben usar la bicicleta	16
Tabla 2-4. Tabla cruzada entre actividad y uso	16
Tabla 2-5. Tabla cruzada edad y uso de la bicicleta	17
Tabla 2-6. Tipo de bicicleta empleada	22
Tabla 2-7. Tabla cruzada edad y tipo de bicicleta	23
Tabla 2-8. Pruebas de chi-cuadrado Edad vs Tipo Bicicleta	23
Tabla 2-9. Tabla cruzada sexo y tipo de bicicleta	23
Tabla 2-10. Pruebas de chi-cuadrado Sexo VS Tipo de Bicicleta	24
Tabla 2-11. Tabla cruzada actividad y tipo de bicicleta	24
Tabla 2-12. Pruebas de chi-cuadrado Actividad vs Tipo Bicicleta	24
Tabla 2-13. Descriptivos – Tiempo de trayecto y tipo de bicicleta	25
Tabla 2-14. Pruebas de normalidad Tipo Bicicleta y Tiempo de trayecto	25
Tabla 2-15. Estadísticos de prueba con variable de agrupación Tipo de Bicicleta	26
Tabla 2-16. Descriptivos – Tiempo de trayecto y Sexo	26
Tabla 2-17. Pruebas de normalidad Tipo Bicicleta y Sexo	26
Tabla 2-18. Estadísticos de prueba con variable de agrupación Sexo	27
Tabla 2-19. Resumen de procesamiento de casos Tiempo de Trayecto y Edad	27
Tabla 2-20. Descriptivos – Tiempo de trayecto y Edad	27
Tabla 2-21. Pruebas de normalidad Tipo Bicicleta y Edad	28
Tabla 3-1. Conteos realizados por la clase de 2º MUICCP 2018-2019	35
Tabla 3-2. Promedio de los volúmenes aforados utilizados para el ajuste de la matriz OD. [5]	38
Tabla 3-3. Datos aforados en el Eco-contador 3 año 2013	38
Tabla 3-4. Proporción obtenida para cada rango de la información extraída del proceso de encuestación	39
Tabla 3-8. Empleo de empresas por tramo de asalariados en Sevilla (2017) [26]	41
Tabla 3-6. Coeficientes en función del rango de asalariados	43
Tabla 3-6. Coeficientes en función del rango de asalariados y universidades	44
Tabla 3-7. Pares compartidos entre aforos	47
Tabla 3-9. Errores asociados a las restricciones	52
Tabla 3-10. Volúmenes y error asociado al eco-contador 8	52
Tabla 3-11. Errores asociados a las restricciones	53

Tabla 3-12. Distribución de la demanda de la matriz base y ajustada	54
Tabla 4-1. Error relativo de volúmenes aforados	64
Tabla 5-1. Reparto modal de la bicicleta de algunas ciudades europeas [40]	72
Tabla 5-2. Población y densidad de algunas ciudades europeas [40]	74
Tabla 5-3. Volúmenes asignados en los arcos principales	76
Tabla 5-4. Demanda recogida con las consultas realizada	78
Tabla 5-5. Prioridad y demanda asociada a cada línea propuesta	79
Tabla Anexo B-0-1. Matriz OD extraída de encuestas	85
Tabla Anexo C-0-1. Población asociada a cada centroide	89
Tabla Anexo C-0-2. Empresas asociadas a cada centroide	90
Tabla Anexo C-0-3. Universidades asociadas a cada centroide	90
Tabla Anexo D-0-1. Puntos de interés incluidos en el mapa esquemático	91
Tabla Anexo E-0-1. Análisis de la demanda por macrosectorización	99
Tabla Anexo E-0-2. Matriz de demanda PAR-LINEA propuesta	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Círculo vicioso del automóvil	1
Figura 1-2. Clasificación de las ciudades según el nivel de desarrollo ciclista [1]	2
Figura 1-3. Clasificación de Copenhagenize Index 2013	3
Figura 2-1. Situación del eco-contador y puntos de encuestación	8
Figura 2-2: Punto de encuestación nº 1. Eduardo Dato - Luis de Morales	8
Figura 2-3: Punto de encuestación nº 2. Gran Plaza	9
Figura 2-4: Zonas de transporte (TAZ) de Sevilla	10
Figura 2-5: Uso de bicicleta según sexo	11
Figura 2-6: Actividad vs Motivo	12
Figura 2-7: Porcentaje de encuestados que no saben utilizar la bicicleta	12
Figura 2-8: Distribución de sexo de los encuestados	13
Figura 2-9: Encuestados que no saben montar en bicicleta según sexo	13
Figura 2-10: Edad de los encuestados	13
Figura 2-11: Edad de encuestados que no saben montar en bicicleta	14
Figura 2-12: Edad de las personas que no saben utilizar bicicleta	14
Figura 2-13: Frecuencia de uso de bicicleta	14
Figura 2-14: Sexo de los encuestados	17
Figura 2-15: Tipo de bicicleta utilizado	17
Figura 2-16: Edad de los usuarios encuestados	18
Figura 2-17: Edad de los usuarios de Sevici	18
Figura 2-18: Actividad de los usuarios de Sevici	18
Figura 2-19: Actividad de los usuarios de bicicleta	19
Figura 2-20: Motivo del viaje de los encuestados	19
Figura 2-21: Frecuencia de viajes de los encuestados	19
Figura 2-22: Histograma de viajes en tiempo	20
Figura 2-23: Motivo de uso de bicicleta	20
Figura 2-24. Modo que usaba con anterioridad a la bicicleta	21
Figura 2-25. Modo alternativo a la bicicleta	21
Figura 2-26: Anterior modo y modo alternativo para realizar el mismo trayecto	21
Figura 2-27: Mejoras del Carril bici	22
Figura 2-28. Resumen de contrastes de hipótesis	29
Figura 3-1. Histograma de viajes en distancia (km) extraído de encuestas	31

Figura 3-2. Distribución de las matrices OD de las que se dispone	32
Figura 3-3. Evolución de la población en Sevilla Capital [15]	33
Figura 3-4. Evolución de los desplazamientos en bicicleta entre los años 2006 y 2017 [17]	33
Figura 3-5. Ejemplo de datos de eco-contadores (Año 2017). [5]	36
Figura 3-6. Eco-contadores y Puntos de conteo de encuestas	36
Figura 3-7. Volúmenes aforados en 2016. Fuente: datos extraídos de la Gerencia de urbanismo de Sevilla	37
Figura 3-8. Volúmenes aforados en 2016. Tratamiento de datos	37
Figura 3-9. Datos de Eco-contadores del primer semestre de 2013. [5]	38
Figura 3-10. Histograma unitario de distancia de viajes	39
Figura 3-11. Población 2017 [7]	40
Figura 3-12. Geolocalización de los establecimientos de más de 50 asalariados (Actualización 2018) [7]	42
Figura 3-13. Gráfico: repeticiones de cada tipo de empresa en cada centroide	43
Figura 3-14. Universidades asociadas a cada centroide	43
Figura 3-15. Localización de las universidades en la ciudad de Sevilla [5]	44
Figura 3-16. Volumen aforado y volumen obtenido de la matriz del 6%	47
Figura 3-17. Histograma extraído de encuestas e histograma obtenido de la matriz del 6%	48
Figura 3-18. Diagrama de flujo del proceso de ajuste de la matriz	49
Figura 3-19. Matriz OD antes y después del ajuste	53
Figura 3-20. Distribución de la demanda de la matriz base y ajustada	54
Figura 3-21. Diferencia entre matrices	54
Figura 3-22. Histogramas extraídos de encuestas, de la matriz ajustada y la del 6% actualizada (apartado 3.1.2)	55
Figura 4-1. Evolución de los Km de carril bici en Sevilla (2006-2010) [34]	60
Figura 4-2. Problemas de conectividad de la red	60
Figura 4-3. Red bici utilizada en la asignación	61
Figura 4-4. Sentido de circulación de la Red de Bicicleta	61
Figura 4-5. Pendientes de la Red de Bicicleta	62
Figura 4-6. Macrozonificación de Sevilla	62
Figura 4-7. Red de transporte y Centroides	63
Figura 4-8. Resultado de la asignación	64
Figura 5-1. Estrategias para alcanzar la movilidad sostenible [1]	66
Figura 5-2. Teoría del Comportamiento Planeado	67
Figura 5-3. Reevaluación de algunos prejuicios por automovilistas obligados a recurrir a la bicicleta [1]	68
Figura 5-4. Modificación del modo de transporte habitual [1]	68
Figura 5-5. Tipología de estrategias a implementar según la etapa de desarrollo ciclista [1]	69
Figura 5-6. Acciones palanca para el fomento de la bicicleta [1]	70
Figura 5-7. Síntesis de la contribución de la bicicleta pública a la promoción de la bicicleta	71
Figura 5-8. Comparación de la probabilidad diaria de precipitación [41]	73
Figura 5-9. Comparación de la precipitación de lluvia mensual promedio [41]	73

Figura 5-10. Comparación de las temperaturas promedios entre Sevilla y Copenhague [41]	73
Figura 5-11. Copenhagen Left [42]	74
Figura 5-12. Arcos y centroides principales	76
Figura 5-13. Líneas de deseo principales (demanda>350) de la matriz ajustada	77
Figura 5-14. Líneas propuestas para la realización del plano esquemático	78
Figura 5-15. Logo <i>Metro-Bici SEVILLA</i>	79
Figura Anexo A-0-1. Modelo de encuesta de bicicleta 2016-2017	83
Figura Anexo A-0-2. Modelo de encuesta de bicicleta 2018-2019	84
Figura Anexo A-0-3. Modelo de encuesta de peatón 2018-2019	84
Figura Anexo E-0-1. Líneas de deseo principales. Amate	93
Figura Anexo E-0-2. Líneas de deseo principales. Los Bermejales – Bellavista	93
Figura Anexo E-0-3. Líneas de deseo principales. Cerro del Águila	94
Figura Anexo E-0-4. Líneas de deseo principales. Estadio Olímpico	94
Figura Anexo E-0-5. Líneas de deseo principales. Los Remedios	95
Figura Anexo E-0-6. Líneas de deseo principales. Miraflores	95
Figura Anexo E-0-7. Líneas de deseo principales. Pino Montano	96
Figura Anexo E-0-8. Líneas de deseo principales. Polígono Sur	96
Figura Anexo E-0-9. Líneas de deseo principales. San Jerónimo	97
Figura Anexo E-0-10. Líneas de deseo principales. Sevilla Este	97
Figura Anexo E-0-11. Líneas de deseo principales. Triana	98
Figura Anexo E-0-12. Líneas de deseo principales. Universidad Pablo Olavide	98

Notación

\mathcal{P}	Conjunto de pares Origen - Destino
p	Par Origen-Destino perteneciente al conjunto \mathcal{P}
\mathcal{A}	Conjunto de arcos
a	Arco perteneciente al conjunto \mathcal{A}
\mathcal{B}	Conjunto de intervalos del histograma de viajes
b	Intervalo perteneciente al conjunto \mathcal{B}
\mathcal{Z}	Conjunto de zonas de transporte
z	Zona de transporte perteneciente al conjunto \mathcal{Z}
\mathcal{D}	Conjunto de Destinos
d	Destino perteneciente al conjunto \mathcal{D}
\mathcal{O}	Conjunto de Orígenes
O	Origen perteneciente al conjunto \mathcal{O}
$-$	Valor conocido
g	Matriz Origen Destino en formato matricial
g_p	Flujo de viajes correspondientes al par p de los Orígenes-Destinos
h	Vector de flujo en los caminos de la red
v	Volúmenes en arcos
v_a	Volumen a través del arco a
Σ	Matriz de varianzas-covarianzas
Γ^T	Matriz de incidencia que relaciona los Pares OD con los arcos aforados
Δ	Matriz de incidencia que relaciona el Histograma con los Pares OD
Θ	Matriz de incidencia que relaciona los Orígenes con los Pares OD
Φ	Matriz de incidencia que relaciona los Destinos con los Pares OD
Λ	Matriz de incidencia que relaciona los Arcos con los Caminos
P_b	Proporción del número total de viajes asociada a cada intervalo b que conforma el Histograma
X_{pob}	Proporción, en función de la población, del número total de viajes asociada a cada TAZ
b^{at}	Vector de atracción
g_{50}	Flujo de viajes correspondientes a los asalariados asociados a empresas de más de 50 empleados y estudiante en facultades y centros universitarios
$g_{restante}$	Flujo de viajes correspondiente a viajes de movilidad no obligada y trabajadores en empresas de menos de 50 asalariados
W_{50}	Número de asalariados de empresas de más de 50 empleados y estudiantes en facultades y centros universitarios
P_{50}	Proporción de trabajadores y estudiantes asociada a cada TAZ con $W_{50} > 0$
b^{50}	Vector de atracción asociada a trabajadores de empresas de más de 50 asalariados y estudiantes

$A=B$	Operador lógico de igualdad
U	Coste mínimo de los pares OD
c	Coste de las diferentes rutas
s	Coste de los arcos
K	Conjunto de rutas
k	Ruta perteneciente al conjunto K
E^{Hist}	Vector que contiene los coeficientes de escala asociados a cada uno de los intervalos del histograma
α	Coefficiente de escala perteneciente a E^{Hist}
E^{Aforo}	Vector que contiene los coeficientes de escala asociados con la restricción de aforos
κ	Coefficiente de escala perteneciente a E^{Aforo}
E_j^{Gen}	Vector que contiene los coeficientes de escala asociados con la restricción de generaciones de la zona j
β	Coefficiente de escala perteneciente a E_j^{Gen}
E_j^{At}	Vector que contiene los coeficientes de escala asociados con la restricción de atracciones de la zona j
γ	Coefficiente de escala perteneciente a E_j^{At}
H_b^{EDM}	Número de viajes correspondientes al intervalo b del histograma
H_b^i	Suma de viajes del intervalo b en el histograma que se forma con la matriz de la iteración i

1. JUSTIFICACIÓN, OBJETIVOS Y HERRAMIENTAS DE TRABAJO

1.1. Justificación del tema de estudio

1.1.1. Círculo vicioso del automóvil

En la actualidad, existe una gran preocupación por la acción del ser humano sobre el medio ambiente. En especial, se han comenzado a desarrollar y aplicar políticas contra la contaminación con el fin de reducir las emisiones que genera la población. Se contabiliza que el transporte participa en un 25% aproximadamente de esas emisiones, valores que han ido aumentando con el paso de los años cada vez con mayor rapidez.

España, condicionada por las ideas capitalistas de la época, en los años 60's lanza una serie de políticas las cuales se identificaban como pro-automovilística. Años más tarde, aparece una preocupación global por los efectos colaterales de dichas decisiones que ha ido creciendo hasta la actualidad.

A día de hoy, en España y otros países, se están sufriendo las consecuencias de este error basado en impulsar el uso del automóvil, que afectan, no solo al medioambiente (contaminación), sino también al bienestar social (congestión, ruido, ocupación de suelo urbano, coste de mantenimiento). [1]

Esta es una situación que cada vez alcanza una mayor magnitud, pues al ser menos atractivas las ciudades dada las malas condiciones anteriormente mencionadas, los usuarios se trasladan a la periferia, fomentando la expansión urbana. Esto lleva asociada la modificación de las infraestructuras de transporte de las ciudades afectadas para intentar mejorar su accesibilidad, y, lo que conlleva a los usuarios a realizar trayectos más largos.

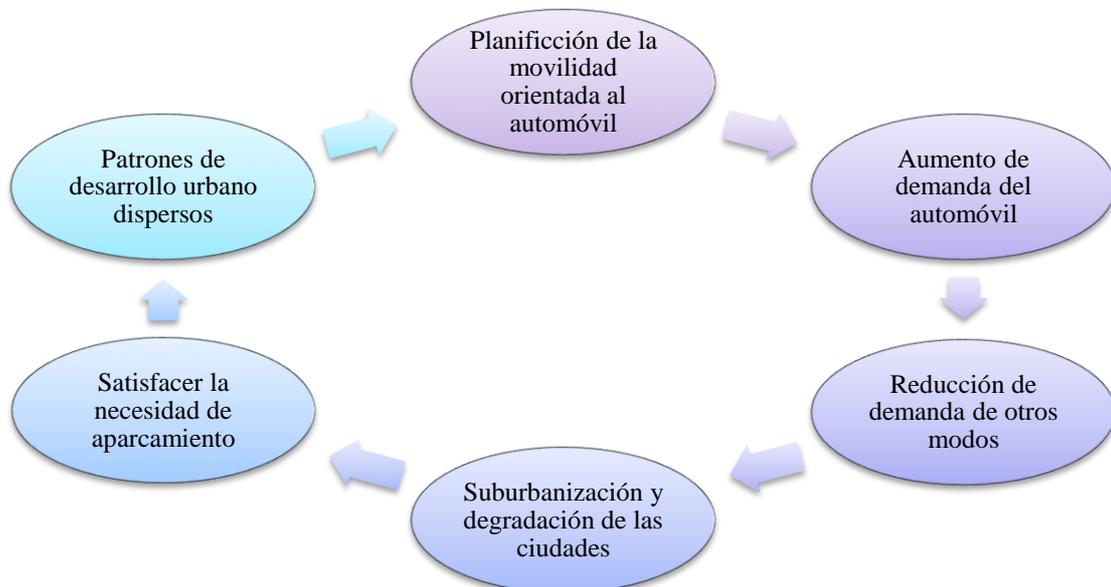


Figura 1-1. Círculo vicioso del automóvil

Actualmente, se ha extendido la preocupación global por la situación, lo que ha llevado a la implantación de diferentes normativas y Planes Directores que buscan romper con este círculo vicioso, ya sea poniendo trabas a este modo de desplazamiento o incentivando otros modos que permitan la reducción de los efectos asociados al automóvil. El transporte público es uno de estos modos que buscan sustituir al modo privado, sin embargo, se encuentran algunas limitaciones como son líneas fijas y los horarios preestablecidos, lo que lleva al usuario a optar por otros métodos más directos que sean capaces de satisfacer plenamente sus necesidades de movilidad. Aquí surge la posibilidad del uso de la bicicleta, un modo de transporte que permite total libertad en cuanto horarios y rutas y con bajo impacto ambiental, lo que permite reducir la huella de carbono de cada individuo.

1.1.2. La bicicleta como modo de transporte

La bicicleta es un modo de transporte urbano el cual se ha intentado incentivar en muchos países desarrollados con el fin de solucionar los problemas de contaminación y de tráfico.

En España, cabe destacar el éxito de Sevilla, Barcelona y Vitoria-Gasteiz, y el reciente crecimiento de la ciudad de Valencia, ciudades donde la administración ha apostado por este modo de transporte, estableciendo una serie de políticas que han llevado a un aumento sustancial de la proporción de la bicicleta en el reparto modal de las mismas.

Tabla 1-1. Reparto modal de bicicleta en España [2]

<i>Ciudad</i>	<i>Reparto modal bicicleta (%)</i>	<i>Año</i>
<i>Barcelona</i>	1.77	2014
<i>Burgos</i>	3.80	2011
<i>León</i>	0.28	2009
<i>Madrid</i>	0.81	2014
<i>Málaga</i>	1.70	2014
<i>Murcia</i>	1.10	2009
<i>Pamplona</i>	2.30	2013
<i>Ponferrada</i>	2.08	2007
<i>San Sebastián</i>	4.00	2011
<i>Santander</i>	0.70	2013
<i>Sevilla</i>	6.00	2011
<i>Torres Vedras</i>	1.00	2011
<i>Valencia</i>	2.40	2018
<i>Vitoria-Gasteiz</i>	12.30	2014

Aunque el reparto modal ha mejorado en muchas ciudades de España, la realidad es que existen otras ciudades europeas con un mayor reparto, de tal forma que se haya creado una clasificación de ciudades en función de su desarrollo ciclista:

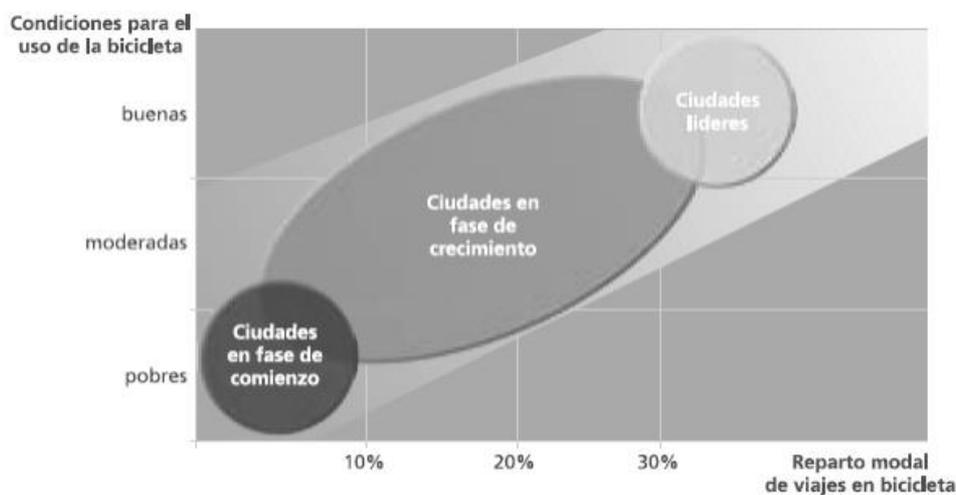


Figura 1-2. Clasificación de las ciudades según el nivel de desarrollo ciclista [1]

De aquí se extrae que las ciudades españolas aún se encuentran en el grupo de “*ciudades en fase de comienzo*”, a pesar de los esfuerzos realizados según los datos obtenidos de las últimas encuestas de movilidad. Es posible que alguna ciudad española haya superado esta fase, atendiendo a la medida cuantitativa del reparto modal, sin embargo, no se cuenta con información fiable que lo acredite.

Para impulsar este modo de transporte, hay que estudiar y segregar a los usuarios de tal forma que se obtenga la máxima eficacia de cada una de las acciones y decisiones que se establezcan. Es importante recalcar, que una acción pro-bici no es sinónimo de “*construcción de más km carril bici*”, sino que va más allá, incluyendo, por ejemplo, la implantación de sistemas de bicicleta pública, el facilitar la intermodalidad, así como las técnicas de

promoción que se basan en la concienciación y promulgación. Todas estas ideas se desarrollan en el apartado 5, donde se establecen algunas estrategias para incentivar el uso de la bicicleta.

En 2004 aparece el proyecto europeo Life-DG ENVI en la categoría de movilidad que recibe el nombre de SMILE: “Sustainable Mobility Initiatives for Local Environment” [3] el cual buscaba el Impulso a las políticas de transporte urbano sostenible, donde uno de los principales objetivos es la concienciación de los usuarios con el fin de que estos escogieran un modelo de transporte sostenible, como es la bicicleta.

Esta idea fue creciendo apareciendo en 2011 “The Copenhagenize Index” [4] con el cual se clasifican ciudades de todo el mundo en función de las políticas y restricciones que implementen el uso de la bicicleta y a su vez de las infraestructuras disponibles para este modo de transporte. Esta información se renueva bianualmente y Sevilla entró en este ranking de “Bicycle Friendly Cities” en 2013 con un índice de 76, lo que le llevó a un 4º puesto. Con el paso del tiempo Sevilla ha ido perdiendo puestos, hasta alcanzar la posición 14º en la última actualización (2017) debido a la inactividad política y a la necesidad de mejorar la red ciclista existente.

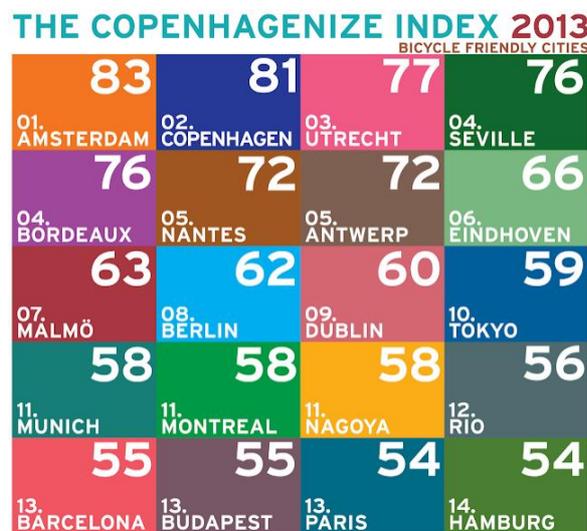


Figura 1-3. Clasificación de Copenhagenize Index 2013

Fuente: <http://www.copenhagenize.com>

El éxito de Sevilla es debido a las infraestructuras y planes sectoriales realizados para potenciar la bicicleta. Tanto en Barcelona como en Sevilla se ha integrado el Plan de promoción de la bicicleta en el Plan estratégico de movilidad y el Plan de ordenamiento urbano. [1]

A pesar de haber disminuido varios puestos, Sevilla sigue mostrando interés en el desarrollo de este modo de transporte, y es por ello por lo que se decide desarrollar este Trabajo Fin de Máster, con el fin de analizar la movilidad de la bicicleta en Sevilla para así conocer los limitantes para el desarrollo de este modo de reparto modal.

1.2. Objetivos

Como se ha comentado anteriormente, el objetivo principal de este Trabajo Fin de Máster es realizar un análisis sobre el uso de la bicicleta en Sevilla, con el fin de poder determinar las mejoras o posibles políticas que lleven a un incremento del porcentaje de reparto de este modo de transporte. Para ello, es muy importante conocer las razones que llevan a los usuarios a utilizar o no utilizar la bicicleta.

Siempre se ha tenido en cuenta la bicicleta como un medio de transporte sostenible, accesible a todos los estratos sociales, y que no discrimina a los usuarios por género o edad, como puede verse en las ciudades con mayor éxito en el uso de la bicicleta. Apelar a las recientemente mencionadas virtudes de este modo de transporte no parece suficiente para mejorar su cuota en el reparto modal de las ciudades españolas. En este trabajo se pretende definir un conjunto de líneas que sinteticen las rutas principales del modo bicicleta en la ciudad de Sevilla, para de este modo, presentar la bicicleta como un modo de transporte moderno y eficiente. Uno de los objetivos principales de este trabajo es transmitir la idea de que, además de ecológico y económico, la bicicleta es un medio de transporte totalmente competitivo frente al resto de los modos existentes en la ciudad de Sevilla.

La creación de líneas de bicicleta no solo busca atraer a la población hacia el modo de transporte en estudio, sino conocer la importancia de cada una de ellas en función de su demanda con el fin de priorizar las posibles futuras actuaciones sobre la infraestructura.

Como un objetivo secundario se incluye investigar las posibles diferencias de género en el uso de la bicicleta. Para ello se realizaron encuestas a no usuarios de bicicleta, preguntando sobre las razones para su no uso, sobre la capacidad o no para montar en bicicleta y sobre la edad en la que se aprendió a ello.

1.3. Herramientas de trabajo

Para la realización de este trabajo, ha sido necesaria la consulta en diferentes fuentes de información y bases de datos oficiales, así como otros datos facilitados por el Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte, con el fin de que la simulación macroscópica a realizar y el estudio de los usuarios que hacen uso de la bicicleta se aproxime lo máximo a la realidad.

La información y herramientas utilizadas han sido:

- Para la caracterización de los usuarios, el Dpto. de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte ha facilitado la siguiente información:
 - o 555 encuestas a usuarios de bicicleta realizadas en el curso 2016/17 por los alumnos de la asignatura de “Planificación del Transporte”, del segundo curso del Máster de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Sevilla.
 - o 350 encuestas a usuarios de bicicleta realizadas en el curso 2018/19 por los alumnos de la asignatura de “Planificación del Transporte”, del segundo curso del Máster de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Sevilla.
 - o 293 encuestas a peatones realizadas en el curso 2018/19 por los alumnos de la asignatura de “Planificación del Transporte”, del segundo curso del Máster de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Sevilla.
- Para poder realizar la macrosimulación, se ha utilizado:
 - o La encuesta domiciliaria de movilidad de 2007, EDM 2007.
 - o Red ciclista de Sevilla actualizada a fecha de 2017. [5]
 - o Capas cartográficas que recogen la ubicación de las zonas de análisis de transporte con sus centroides correspondientes, estaciones de Sevici y puntos de aforo. [5]
- El ajuste de la matriz ha requerido la extracción de información de diferentes fuentes oficiales:
 - o Estudios de movilidad de la Gerencia de Urbanismo de Sevilla.
 - o Información sobre los volúmenes aforados en los eco-contadores existentes en la red ciclista. [5]
 - o Histograma unitario de duración de viajes extraído de las encuestas facilitadas por el Dpto. de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte.
 - o Información sobre la población. [5]
 - o Usos del suelo. [6]
 - o Empresas con más de 50 asalariados. [7]
- Herramientas utilizadas:
 - o Ajuste de la matriz y tratamiento de las curvas de las estaciones de Sevici: *Wolfram Mathematica*.
 - o Caracterización de los usuarios de bicicleta y peatón: *MS Excel, Matlab y SPSS*
 - o Simulación macroscópica de la red ciclista de Sevilla: *TransCAD*
 - o Tratamiento de capas cartográficas y servicios WCS, WMS, WFS: *ArcGIS*

1.4. Organización del Trabajo Fin de Máster

Este Trabajo Fin de Máster sigue la siguiente estructura:

En el primer capítulo se expone la justificación del tema escogido, objetivos y herramientas utilizadas para la realización de mismo.

El segundo capítulo se centra en la caracterización del peatones y usuarios que hacen uso de la bicicleta, en el cual se analizarán las encuestas facilitadas con el fin de extraer información valiosa (como es el histograma de

viajes) y poder obtener relaciones estadísticamente significativas.

El tercer capítulo se centra en ajuste de la matriz de viajes con el fin de obtener resultados del reparto modal en estudio que se aproximen lo máximo posible a la realidad.

En el capítulo 4 se define la red ciclista de Sevilla, y los datos obtenidos de la macrosimulación realizada.

El quinto capítulo se tratará la identificación de mejoras y la propuesta de políticas que impulsen el uso de la bicicleta.

Finalmente, se expondrán las conclusiones obtenidas.

2. PROCESO DE ENCUESTACIÓN

Para conseguir mejorar el modo de transporte de la bicicleta ha sido necesario caracterizar a los usuarios que utilizan este medio de transporte. Para ello, se han realizado una serie de encuestas que permiten identificar al tipo de usuario que hacen uso de esta infraestructura.

A su vez, se decide encuestar a peatones con el fin de determinar si éstos utilizan la bicicleta asiduamente, y en caso negativo conocer el motivo. La inclusión de estas encuestas tiene por objetivo determinar un porcentaje orientativo de la población que no sabe montar en bicicleta, si existen diferencias de género en cuanto a su uso y si dichas relaciones son estadísticamente significativas.

Las encuestas de las que se dispone han sido realizadas por varias generaciones del Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos al cursar la asignatura de Planificación del Transporte de la Universidad de Sevilla.

2.1. Descripción de los modelos de encuestas utilizados

Se dispone de cuatro tipos de encuestas, donde tres de ellas están dirigidas a los usuarios en bicicleta y se basan en el modelo propio de encuestas de SIBUS [8]:

- Encuestas a usuarios en bicicleta realizadas por los alumnos del Máster ICCP curso 16/17. (EBMICCP16)
- Encuestas realizadas por Blanca Ortiz de Pinedo Requerey a usuarios que utilizan la bicicleta. [9]
- Encuestas a usuarios en bicicleta realizadas por los alumnos del Máster ICCP curso 18/19. (EBMICCP18)
- Encuestas a peatones realizadas por los alumnos del Máster ICCP curso 18/19. (EPMICCP18)

Las modificaciones realizadas sobre las encuestas originales buscan la eliminación de los posibles sesgos que pudieran darse, así como destacar información relevante como la duración de los viajes, los pares Origen-Destino, e incluso se incluye un apartado de mejora de la infraestructura asociada a la bicicleta en Sevilla.

En cuanto a la encuesta de peatones, se busca obtener la frecuencia de uso de bicicleta, así como los motivos de su no uso si corresponde.

En el Anexo I se presentan los modelos de encuestas utilizados.

2.2. Descripción y participación en el proceso de encuestación

Las encuestas se realizaron mediante dos métodos:

- Encuestas presenciales: captación de usuarios en bicicleta y peatones en la vía pública
- Formularios realizados online por medio de la herramienta *Google Forms*: encuestas realizadas por usuarios que utilicen la bicicleta.

En este caso se ha participado activamente en el tercer y cuarto modelos de encuestas utilizados, es decir, los pertenecientes al curso académico 18/19 de la asignatura “Planificación del Transporte”. La metodología seguida para el proceso de encuestas es la localización de los eco-contadores existentes en el carril bici y la asignación de cada uno de ellos a un grupo de varios alumnos.

La zona asignada en este caso ha sido el eco-contador de Eduardo Dato. Sin embargo, debido a que la situación del eco-contador no es muy favorable para la realización de las encuestas (se encuentra en una posición de paso, sin cruces) se decidió situar dos puntos de encuestación, el primero en el cruce de Eduardo Dato con Luis de Morales (Figura 2-2: Punto de encuestación nº 1. Eduardo Dato - Luis de Morales), y el segundo en Gran Plaza

(Figura 2-3: Punto de encuestación nº 2. Gran Plaza). La situación de los puntos es estratégica debido a la presencia de los cruces con semáforos que facilitan la realización de las encuestas, además de ser localizaciones con gran afluencia de ciclistas y de confluencia de varias direcciones.



Figura 2-1. Situación del eco-contador y puntos de encuestación

En este caso, la realización de las encuestas se llevó a cabo por dos grupos a la vez debido al alto volumen de tráfico de ciclistas de la zona. Al ser dos grupos midiendo en los mismos puntos, se ha podido optimizar el proceso de encuestación, maximizando las encuestas recogidas.

- 3 miembros en la encuestación de ciclistas
- 2 para la encuestación de peatones
- 1 realizando el conteo

La encuestación se realizó en días laborables (dos días diferentes), en horario de 16 a 18 h (una hora por día para cada punto de encuestación), por tanto, se tienen cuatro períodos de encuestación (2 horas por punto).

2.2.1. Motivos de elección del punto 1

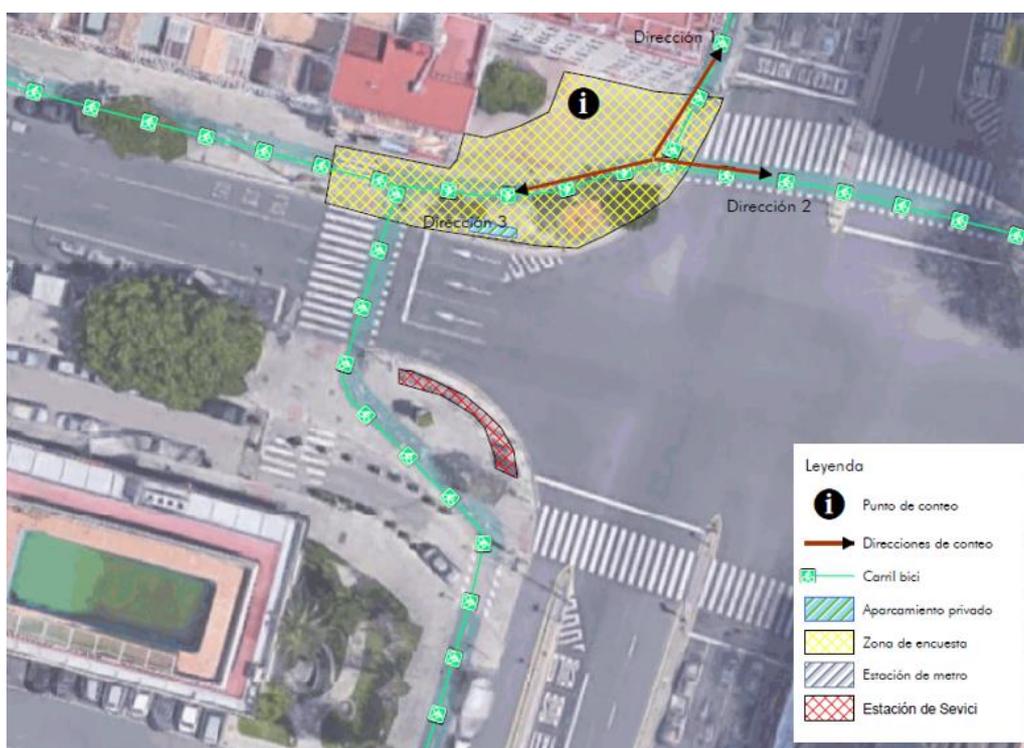


Figura 2-2: Punto de encuestación nº 1. Eduardo Dato - Luis de Morales

Los motivos que han llevado a la elección del punto 1 para la realización de las encuestas son:

- Cercanía con parada de metro (permite combinación de distintos modos de transporte).
- Cercanía con estación de Sevici.
- Cercanía con aparcamiento privado de bicicletas.
- Existencia de una amplia zona para encuestar peatones y bicicletas entre dos pasos de peatones con semáforos, lo cual aumenta el tiempo de poder establecer contacto con los usuarios, ya que están obligados a permanecer allí durante un tiempo.
- Cercanía con zona comercial y zona de paso hacia universidades, lo cual genera un gran volumen de usuarios.

2.2.2. Motivos de elección del punto 2

Los motivos que han llevado a la elección del punto 1 para la realización de las encuestas son:

- Cercanía con parada de metro (permite combinación de distintos modos de transporte).
- Cercanía con estación de Sevici.
- Cercanía con aparcamiento privado de bicicletas.
- Existencia de un semáforo, lo cual permite tener un tiempo de contacto suficiente con los encuestados.

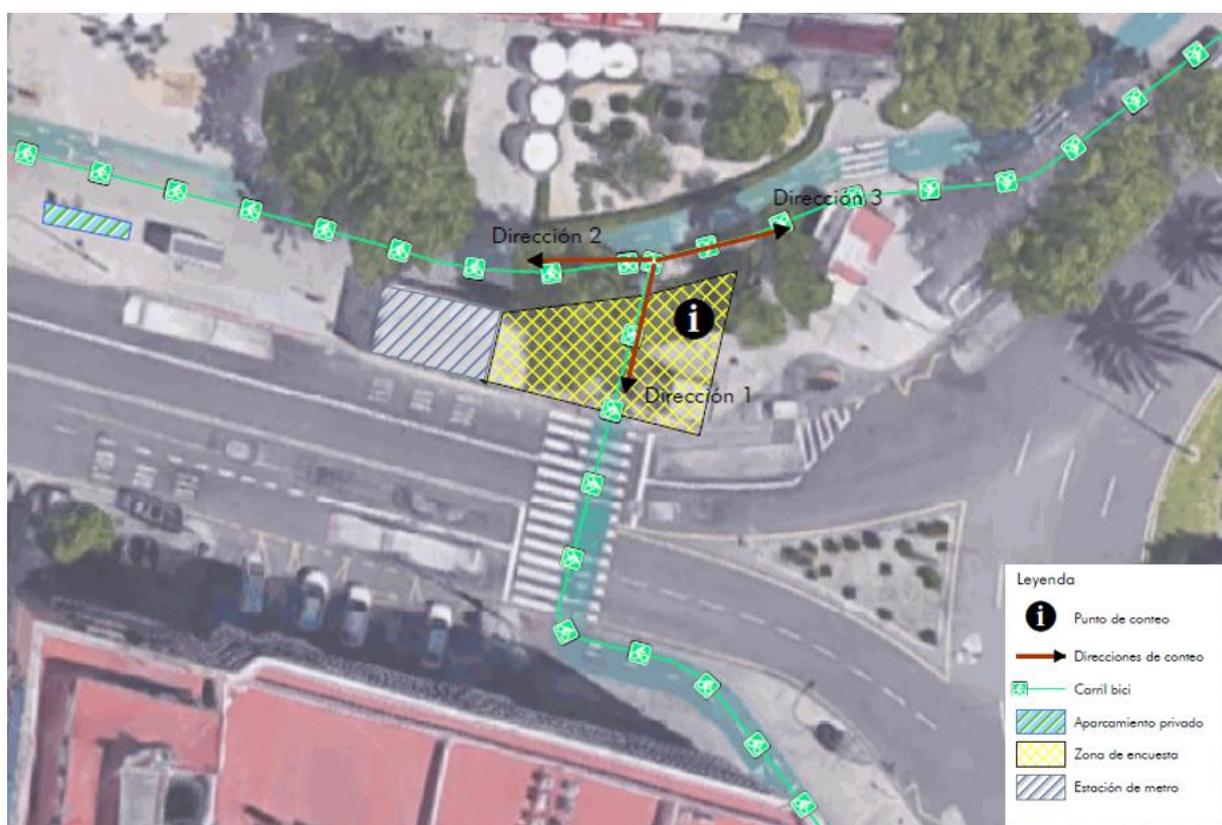


Figura 2-3: Punto de encuesta n.º 2. Gran Plaza

2.3. Descripción de las variables

2.3.1. Variables en la encuesta de usuarios en bicicleta

A continuación, se describen las variables utilizadas para identificar al usuario de bicicleta.

Datos del encuestado

Con estas variables se busca definir al usuario de bicicleta, conociendo su género, en qué rangos de edad se encuentra, y cuál es su ocupación laboral, de manera que sea posible construir un perfil que sirva de soporte en

la decisión de medidas a llevar a cabo en cuanto a este modo de transporte.

Tipo de bicicleta

Se registra el tipo de bicicleta empleada para establecer un reparto del uso de la bicicleta privada frente al Sevici, y así investigar si existe alguna relación entre el tipo empleado de bicicleta y datos personales del usuario, como son su edad, su género, su ocupación, y otros relacionados con el trayecto, como la duración del mismo, el motivo del viaje, la frecuencia de uso o el motivo de elección del modo.

Frecuencia de uso

Con esta variable se identifica si el usuario de bicicleta es habitual o si, al contrario, la utiliza de forma puntual.

Origen y destino del trayecto

El origen y destino del trayecto es una información fundamental para la elaboración de la matriz OD de movilidad en bicicleta correspondiente a las zonas de transporte de Sevilla. A la hora de obtener esta información no había un método homogéneo para el usuario para dar a conocer la localización exacta del inicio y fin de su viaje. Por tanto, los usuarios respondieron de forma aproximada a estas ubicaciones. Posteriormente se realizó un proceso de identificación de las respuestas dadas por los usuarios con las zonas de transporte TAZs [8]: de la red de transporte de Sevilla.

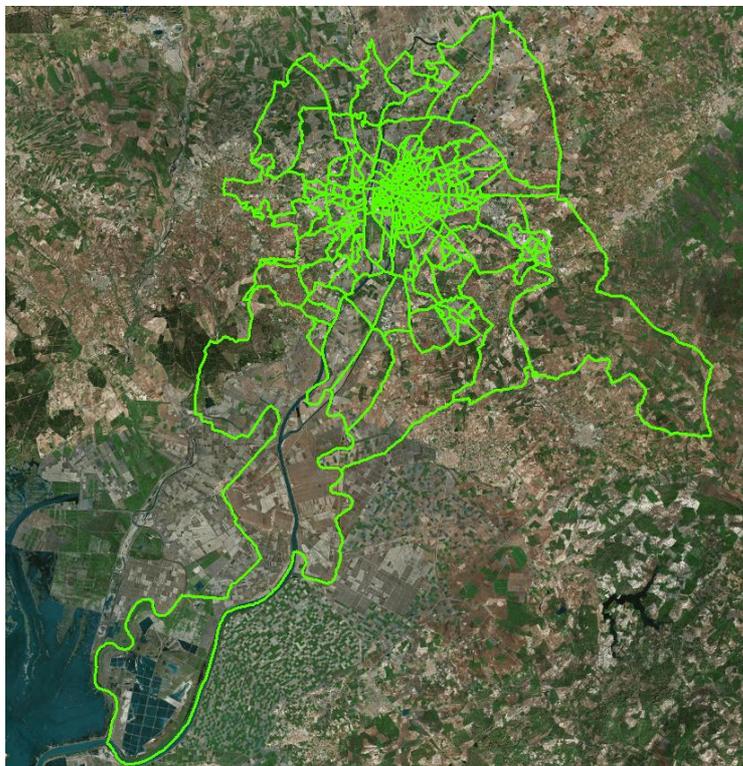


Figura 2-4: Zonas de transporte (TAZ) de Sevilla

Duración del trayecto

El tamaño de la muestra es insuficiente para elaborar una matriz de OD, pero permite estimar la duración media de un viaje en bicicleta. Las respuestas han sido proporcionadas en minutos, pero se han clasificado en rangos para analizar el reparto de la duración del trayecto, con la elaboración de un histograma.

Motivo del viaje

Con esta variable se conoce el propósito del uso de la bicicleta.

Motivo de elección de la bicicleta

Los datos obtenidos a través de esta variable permiten conocer qué les impulsa a los usuarios de bicicleta a elegir este modo de transporte frente a los demás, lo que ayudaría a tomar medidas para fomentar su uso en la población, así como asegurar a los usuarios de bicicleta usuales.

Realización anterior del trayecto en otro modo de transporte

Esta variable estudia si el usuario de bicicleta realizaba ese trayecto en otro modo de transporte anteriormente, pero en la actualidad lo hace en bicicleta, o si por el contrario ha utilizado únicamente la bicicleta para satisfacer su demanda de viaje.

Modos de transporte alternativos para el mismo trayecto

Con esta variable se pretende estudiar los modos de transporte preferidos por el usuario para la realización del mismo trayecto.

Mejoras del modo de transporte Bicicleta

Con esta variable se recoge las principales deficiencias en el uso del carril bici, así como las principales mejoras que los usuarios creen necesarias en su trayecto habitual.

2.3.2. Variables en la encuesta de peatones

Datos del encuestado

Con estas variables se busca definir al encuestado, conociendo su género, en qué rangos de edad se encuentra, y cuál es su ocupación laboral, de manera que sea posible construir un perfil que sirva de soporte para el análisis de los datos recogidos.

Uso de la bici y su frecuencia

Con estas variables se identifica si el peatón es un usuario habitual de bicicleta o no, y en el caso de que lo sea, la frecuencia con que la utiliza. De esta manera, se puede apoyar al análisis de los datos de las encuestas de bicicleta con las encuestas de peatones.

Motivo de no uso de la bicicleta

Con esta variable, aplicable si el peatón no utiliza el modo de transporte bicicleta, se pretende identificar los motivos que le llevan a ello, realizando un análisis de los datos. Además, con la respuesta *No sabe* nos permite comprobar los porcentajes de población que no saben utilizar la bicicleta, así como detectar posibles diferencias de género.

2.4. Análisis cualitativo de resultados

2.4.1. Peatones – Análisis de datos

En este apartado se realiza un análisis cualitativo de los datos obtenidos de las encuestas de peatones.

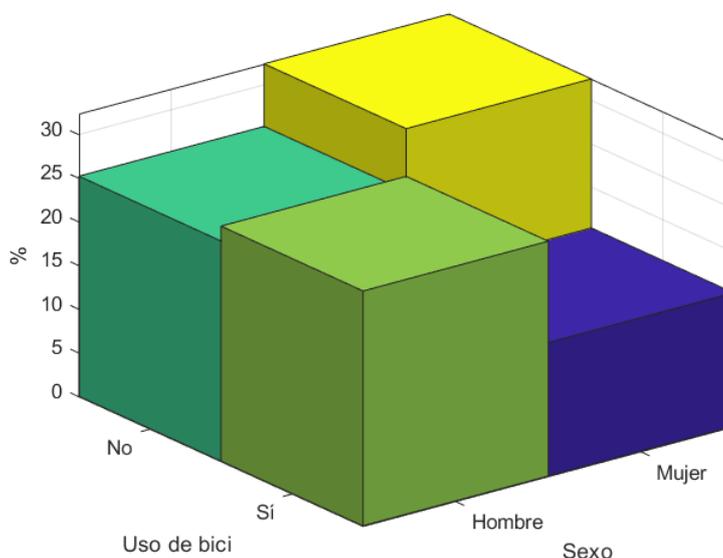


Figura 2-5: Uso de bicicleta según sexo

Se observa la distribución del uso o no de bicicleta frente al sexo. Resulta interesante observar cómo en las **mujeres**, la mayoría de las encuestadas no utilizaba la bicicleta, habiendo una gran diferencia de porcentaje con las que sí la utilizaban. En cambio, en los **hombres**, son más aquellos que sí utilizan la bicicleta, aunque existiendo poca diferencia con los que no. Esto muestra una posible diferencia de géneros en el uso de la bicicleta, por ello, se decide estudiar en el apartado 2.4.2.1 si existe una relación estadística significativa entre estas variables.

Se ha realizado un análisis que relaciona la actividad del encuestado con el motivo de no uso de la bicicleta. Se pueden observar los siguientes resultados:

- El principal motivo de no uso de la bicicleta de los **estudiantes** era el esfuerzo físico.
- Para los **jubilados** el principal motivo era porque no sabían montar en bicicleta.
- Para el **trabajador** medio el principal motivo era el miedo al robo, al igual que para los **parados**.

Estos resultados obtenidos pueden encajar con los perfiles de las personas que encajan en las diferentes actividades.

Motivo no uso de bici	Trabajador	Parado	Jubilado	Estudiante	Otros
Cercanía	3.78 %	0.54 %	0.54 %	7.03 %	0 %
Otro modo	0.54 %	0 %	2.16 %	0.54 %	0 %
No tiene	1.08 %	1.62 %	1.08 %	1.08 %	0 %
Salud	5.41 %	0 %	0.54 %	6.49 %	0 %
Robo	6.49 %	2.7 %	2.7 %	8.11 %	1.08 %
Mala conexión	3.78 %	0 %	0 %	4.32 %	0 %
Esfuerzo físico	3.78 %	1.08 %	0 %	10.81 %	0.54 %
Peligrosa	0 %	0 %	0 %	1.62 %	0 %
Larga distancia	2.16 %	0.54 %	0 %	2.16 %	0 %
No sabe	4.32 %	1.08 %	2.7 %	6.49 %	1.08 %

Figura 2-6: Actividad vs Motivo

Si representamos el porcentaje de encuestados que **no saben utilizar la bicicleta**, se obtiene que un 10 % de los encuestados no sabe utilizar la bicicleta. Este dato coincide con lo expuesto en el artículo “*La igualdad llega a las dos ruedas*” [10], donde se comenta que uno de cada diez españoles no sabe montar en bici.

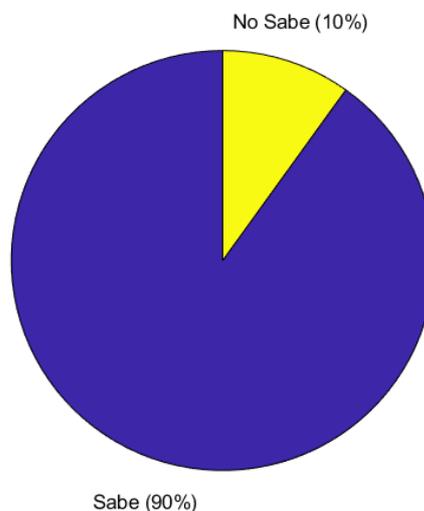


Figura 2-7: Porcentaje de encuestados que no saben utilizar la bicicleta

En cuanto a la **distribución por sexos**, se obtiene de las encuestas que el 72 % de los encuestados que respondieron que no sabían montar en bicicleta eran mujeres (Figura 2-9). Este porcentaje es menor del mostrado en el artículo comentado anteriormente (85%) [10], sin embargo, comparten que la mayoría absoluta de usuarios que no saben usar la bicicleta son mujeres. Además, dado que la distribución de sexo de los encuestados es similar (~50%) (Figura 2-8), se puede admitir el resultado como un buen indicativo de que existe distinción de géneros en el uso de bicicleta.

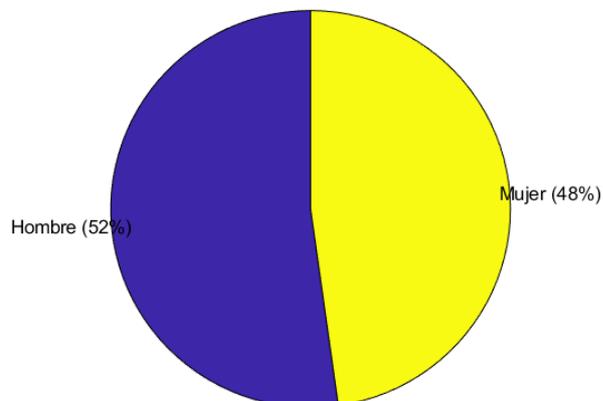


Figura 2-8: Distribución de sexo de los encuestados

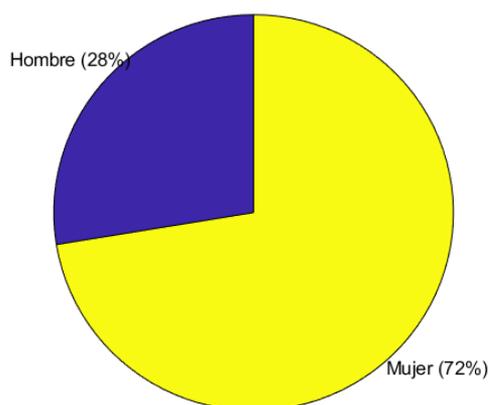


Figura 2-9: Encuestados que no saben montar en bicicleta según sexo

También se considera interesante mostrar una distribución de la edad de los encuestados que no saben utilizar la bicicleta. Se observa que la mayoría tenían entre 18 y 25 años (Figura 2-11). Sin embargo, este resultado no se considera significativo, dado que la mayoría de los encuestados estaban en ese rango de edad (Figura 2-10). Mediante estadística inferencial, se estudiará si existe una relación significativa entre la edad y el no saber montar en bicicleta.

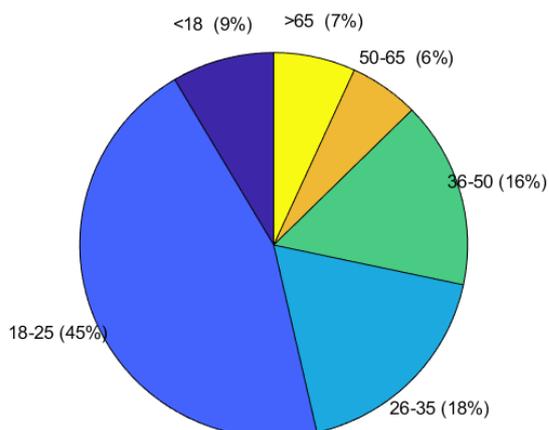


Figura 2-10: Edad de los encuestados

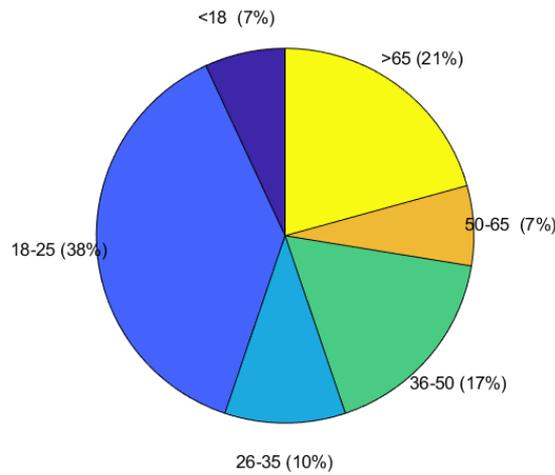


Figura 2-11: Edad de encuestados que no saben montar en bicicleta

Por tanto, se decide calcular los porcentajes según el número de personas encuestadas de cada rango de edad. Claramente, las personas mayores de 65 años son las que presentaban un porcentaje mayor de no saber utilizar bicicleta.

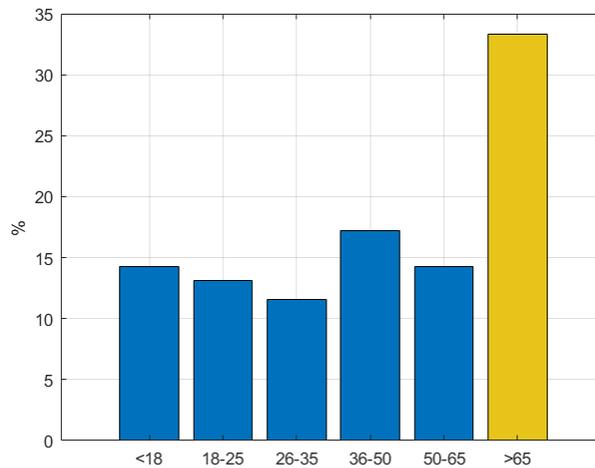


Figura 2-12: Edad de las personas que no saben utilizar bicicleta

Por último, en lo relativo a las encuestas de peatones se considera interesante mostrar la frecuencia de uso de la bicicleta. Se observa como la mayoría de los encuestados declaraba no utilizar la bicicleta. Además, un 17 % de los encuestados declaraba utilizar la bicicleta algún día por semana. De hecho, un 84 % de los peatones encuestados que utiliza la bici la usa de forma ocasional, mientras que únicamente un 16 % de los mismos la utilizaba diariamente.

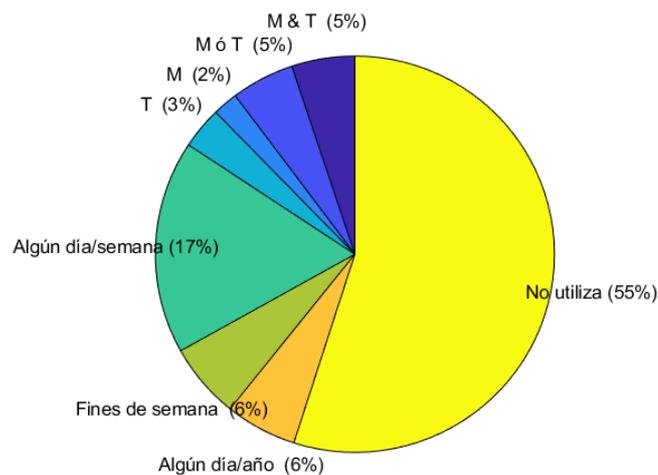


Figura 2-13: Frecuencia de uso de bicicleta

2.4.2. Peatones – Estadística inferencial

De los datos extraídos de las encuestas se han encontrado relaciones entre variables que podrían ser significativas, es por ello, que se cree necesario realizar un análisis estadístico inferencial con el fin de conocer la significación entre dichas variables.

Antes de comenzar este apartado, es importante destacar que la encuesta ha sido realizada por distintos grupos de alumnos. A pesar de haber realizado una encuesta con unas opciones definidas de respuesta, intentando que éstas sean uniformes para facilitar una mayor sencillez en su análisis estadístico, es posible que se haya incurrido en una distinta interpretación de las diferentes preguntas y respuestas por parte de los encuestadores, lo que podría suponer una fuente de sesgos. Por ello, recomienda tomar los presentes datos con cautela. Además, teniendo en cuenta que se trata de un estudio transversal realizado mediante encuestas, los resultados del presente análisis, más que conclusiones definitivas, permitirán enunciar hipótesis que necesitarían un estudio más profundo y dirigido para ser probadas de forma fehaciente.

2.4.2.1. ¿Utilizan menos la bicicleta las mujeres que los hombres?

Se muestra en la Tabla 2-1. Tabla cruzada entre sexo y uso de bicicleta, 79 (51,6%) de los varones encuestados usaban la bicicleta. Esta **proporción en las mujeres fue menor**, pues sólo 45 (32,1%) de las 140 encuestadas la usaban.

Con el fin de establecer si las diferencias observadas entre varones y mujeres eran **estadísticamente significativas**, se ha empleado un test chi-cuadrado, obteniendo $p=0,001^*$, lo que indica dicha relación estadística.

Tabla 2-1. Tabla cruzada entre sexo y uso de bicicleta

		USO BICICLETA		Total
		Sí	No	
SEXO	Hombre	79	74	153
	Mujer	45	95	140
Total		124	169	293

Tras hallar estos resultados, es interesante analizar posibles causas que pudieran estar detrás de estas diferencias. Para ello, se detallan a continuación las causas por las cuales no se usa la bicicleta en el tramo que recorría el peatón encuestado en función del sexo.

Tabla 2-2. Tabla cruzada motivo no uso y sexo. Recuento

		SEXO		Total
		Hombre	Mujer	
MOTIVO NO USO	No contestaron	68	39	107
	No sabe	8	21	29
	Prefiero otro modo	1	8	9
	Por cercanía	3	0	3
	Larga distancia	16	14	30
	Peligrosa	2	13	15
	Esfuerzo físico	23	16	39
	Mala conexión	9	14	23
	Inseguridad (robo)	6	3	9
	Problemas salud	5	1	6
	No tiene	11	11	22
	Trabajo	1	0	1
Total		153	140	293

* Significación asintótica bilateral

De los 293 encuestados, 107 no contestaron al motivo por el que no usaban la bicicleta en dicho trayecto. De los que respondieron a la pregunta en cuestión, cabe destacar la diferencia entre hombres y mujeres en cuanto al motivo de no saber usar la bicicleta: 21 mujeres encuestadas no usaban la bicicleta por no saber montar, mientras que este motivo se dio en 8 hombres. Vista esta diferencia, se decide estudiar si existían **diferencias estadísticamente significativas entre el sexo y el saber usar la bicicleta**. Para ello, se divide a los encuestados en aquellos que contestaron que no sabían usarla y en los que indicaron otro motivo para no usar la bicicleta. Además, se considera que todos aquellos que indicaron que usaban la bicicleta y no indicaron el motivo por el que no la usaban en la ruta concreta en la que fueron encuestados, sabían usarla. Se elimina de este cálculo a aquellos que indicaron que no usaban la bicicleta y no respondieron al motivo por el que no la usaban, para evitar sesgos en la interpretación de los datos (7 casos, 2,4% de la muestra, 5 hombres y 2 mujeres). De esta forma, se extrae la siguiente cruzada:

Tabla 2-3. Tabla cruzada entre el sexo y si saben usar la bicicleta

		SABEN USARLA		Total
		No	Sí	
SEXO	Hombre	8	140	148
	Mujer	21	117	138
Total		29	257	286

A partir de esta tabla, se realiza un test chi-cuadrado, que arrojó una **relación estadísticamente significativa entre ambas variables ($p=0,006^*$)**.

2.4.2.2. Análisis entre la actividad del encuestado y el uso de la bicicleta

En la tabla adjunta se observa la relación existente entre la actividad y el uso de la bicicleta. El grueso de los encuestados fueron estudiantes y trabajadores. Se pretende analizar las posibles relaciones existentes entre la actividad del encuestado y el uso de la bicicleta, utilizando para ello nuevamente el test chi-cuadrado, excluyendo del análisis la categoría “otro”. De esta forma, se obtiene un valor $p=0,781^*$, mayor que el valor de significación empleado en el presente análisis ($\alpha=0,05$), por lo que se concluye que **no existe relación estadística entre ambas variables**.

Tabla 2-4. Tabla cruzada entre actividad y uso

		USO		Total
		Sí	No	
ACTIVIDAD	Trabajador	43	53	96
	Parado	12	12	24
	Jubilado	9	14	23
	Estudiante	58	85	143
	Otro	2	5	7
Total		124	169	293

2.4.2.3. Análisis entre la edad del encuestado y el uso de la bicicleta

En este caso, se buscan relaciones estadísticas entre la edad del encuestado y el uso de la bicicleta. La tabla adjunta muestra el cruce entre ambas variables. A partir de ella, se calcula el estadístico chi-cuadrado, que muestra un valor $p=0,262^*$ ($>0,05$, por lo que **no prueba relación estadísticamente significativa entre ambas variables**).

* Significación asintótica bilateral

Tabla 2-5. Tabla cruzada edad y uso de la bicicleta

		USO		Total
		Sí	No	
EDAD	<18	12	13	25
	18-25	54	78	132
	26-35	28	25	53
	36-50	20	26	46
	51-65	5	12	17
	>65	5	15	20
Total		124	169	293

2.4.3. Usuarios en bicicleta – Análisis de datos

En primer lugar, se va a caracterizar al usuario de bicicleta. Se puede observar cómo únicamente el 35 % de los encuestados eran mujeres. Esto concuerda con la posible diferencia de géneros en el uso de la bicicleta detectada en los datos procedentes de las encuestas de peatones.

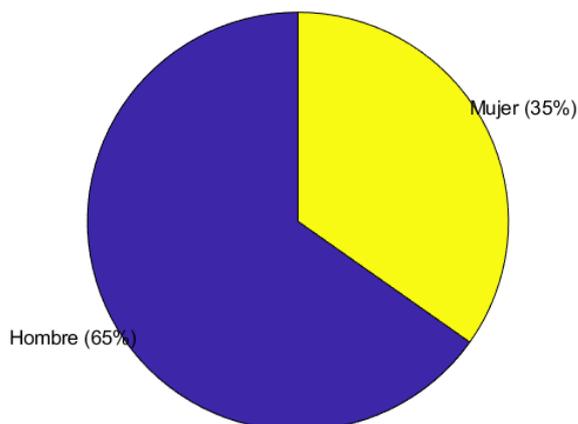


Figura 2-14: Sexo de los encuestados

En cuanto al tipo de bicicleta utilizado, la mayoría eran usuarios de bicicleta propia, siendo un 31 % usuarios de Sevisi. Además, se ha detectado un 1% de usuarios de patinete eléctrico, un modo de transporte al alza y que cada vez irá adquiriendo mayor significancia.

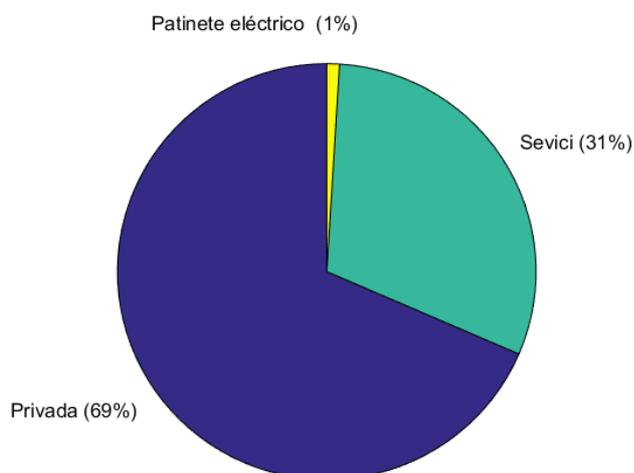


Figura 2-15: Tipo de bicicleta utilizado

En cuanto a la edad, la mayoría de los usuarios encuestados tenían entre 18-25 años, siendo mínimo el número de ciclistas de menos de 18 años y de más de 65.

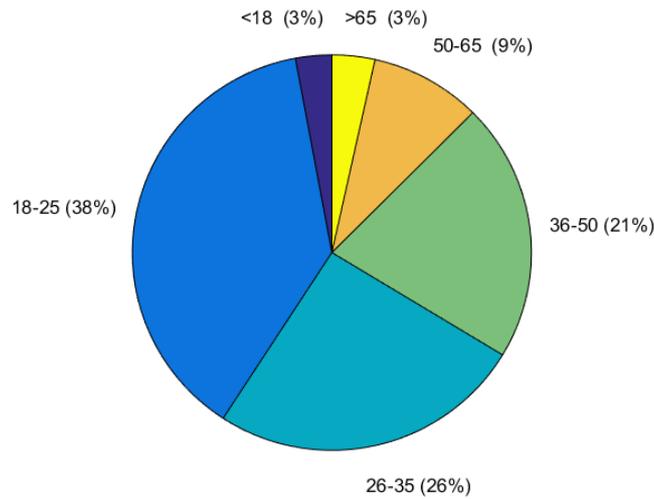


Figura 2-16: Edad de los usuarios encuestados

Además, la distribución de edad de los usuarios de Sevici, se observa que la gran mayoría tienen entre 18 y 25 años. Este es un dato muy característico, dado que Sevici tiene una gran popularidad entre la comunidad universitaria.

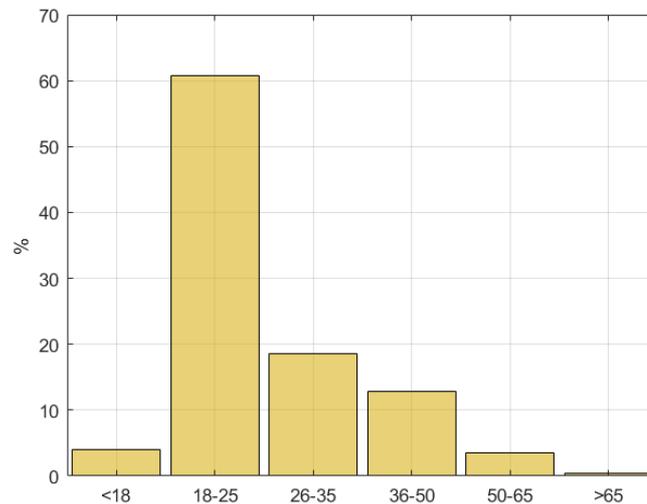


Figura 2-17: Edad de los usuarios de Sevici

Este comentario se reafirma si se consulta la actividad de los usuarios de Sevici encuestados, donde un 63% de los mismos eran estudiantes.

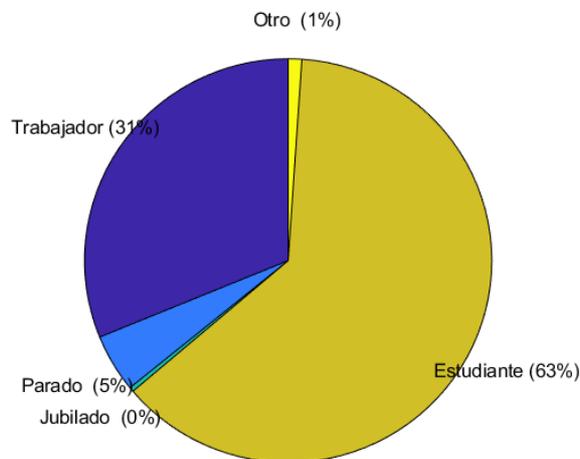


Figura 2-18: Actividad de los usuarios de Sevici

Como última variable que caracteriza al usuario de bicicleta se encuentra su actividad. Se observa que la mayoría de los usuarios de bicicleta son trabajadores y estudiantes, que utilizan este modo de transporte para satisfacer su demanda de movilidad obligada, como se observa en la gráfica de motivo del viaje, donde para el 75 % de los usuarios el motivo del viaje era trabajo o estudios.

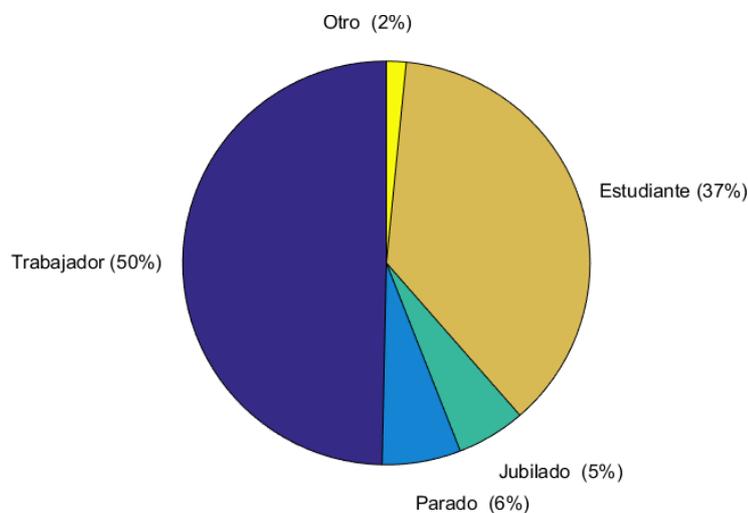


Figura 2-19: Actividad de los usuarios de bicicleta

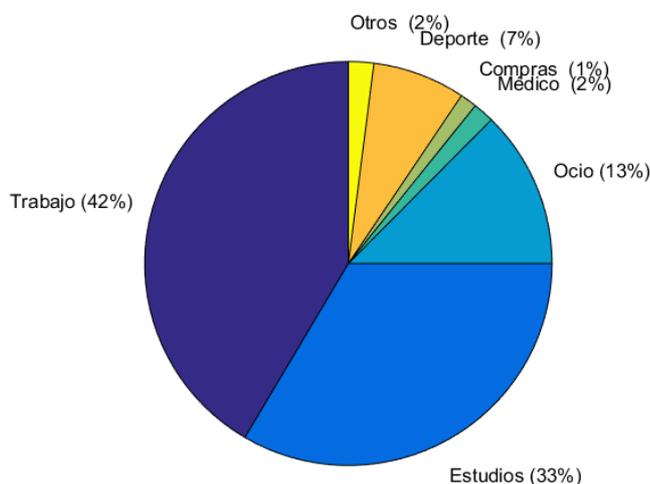


Figura 2-20: Motivo del viaje de los encuestados

En cuanto a la frecuencia de viaje de los encuestados, la mayoría utilizaban la bicicleta diariamente, ya sea por la mañana o por la tarde (M, T). Sólo el 18 % de los encuestados no utilizaba la bicicleta de forma regular.

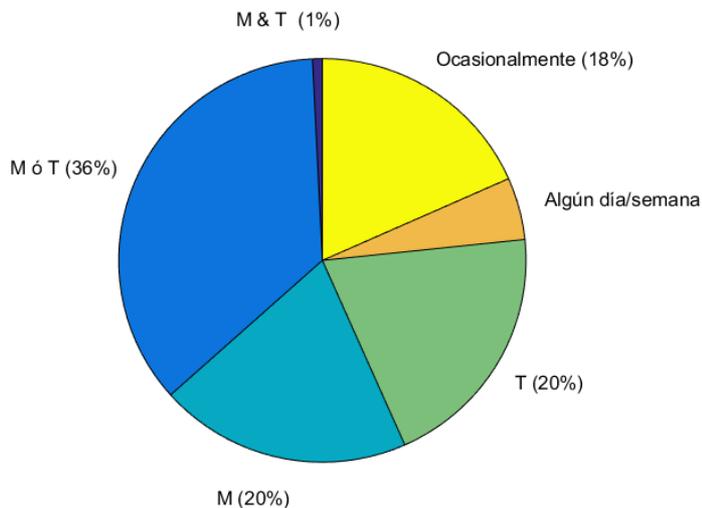


Figura 2-21: Frecuencia de viajes de los encuestados

Un análisis interesante a realizar de los datos de las encuestas es el histograma de viajes. En el histograma se representa la frecuencia de viajes para un determinado intervalo de tiempo de viaje. Se observa cómo el mayor número de viajes se encuentra en el intervalo de 10 a 25 min. Claramente, se comprueba cómo para viajes muy cortos y muy largos la frecuencia de viajes es muy baja, siendo mayor para tiempos medios de viaje.

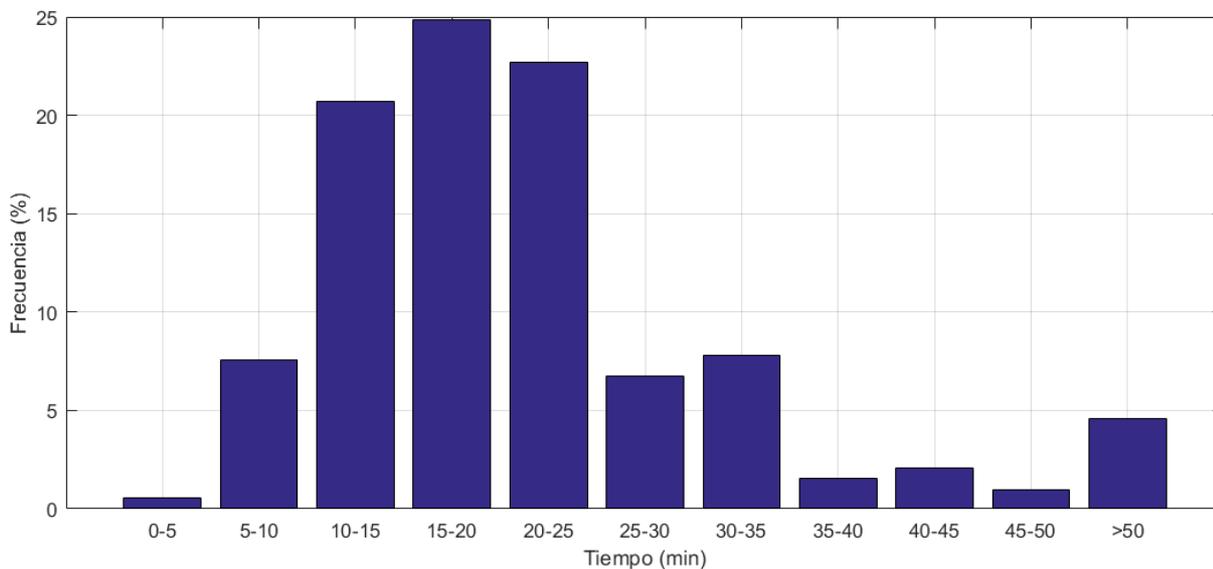


Figura 2-22: Histograma de viajes en tiempo

En cuanto al motivo de uso del modo de transporte bicicleta, la mayoría de los encuestados respondió por economía y por ahorro de tiempo.

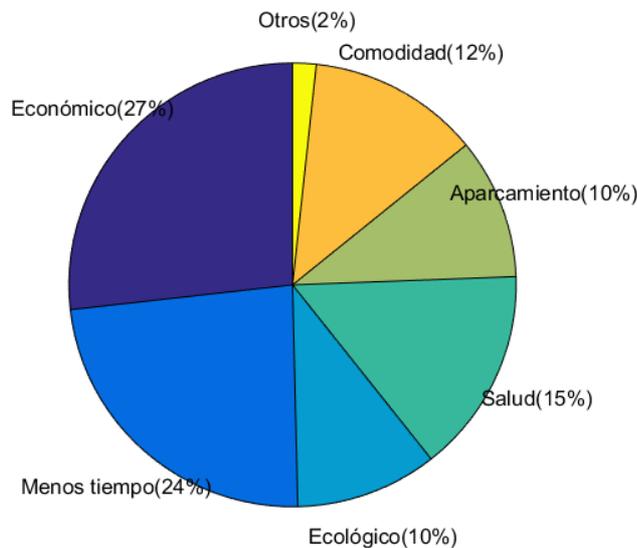


Figura 2-23: Motivo de uso de bicicleta

En cuanto al anterior modo utilizado, la mayoría de los encuestados respondió que no había realizado dicho trayecto anteriormente en otro modo, seguidos por aquellos que lo realizaban en autobús urbano. En el caso de considerar un modo alternativo, la gran mayoría opta por el autobús urbano. Cabe destacar a su vez que los siguientes modos más llamativos son *a pie* y *coche conductor*, con valores muy próximos.

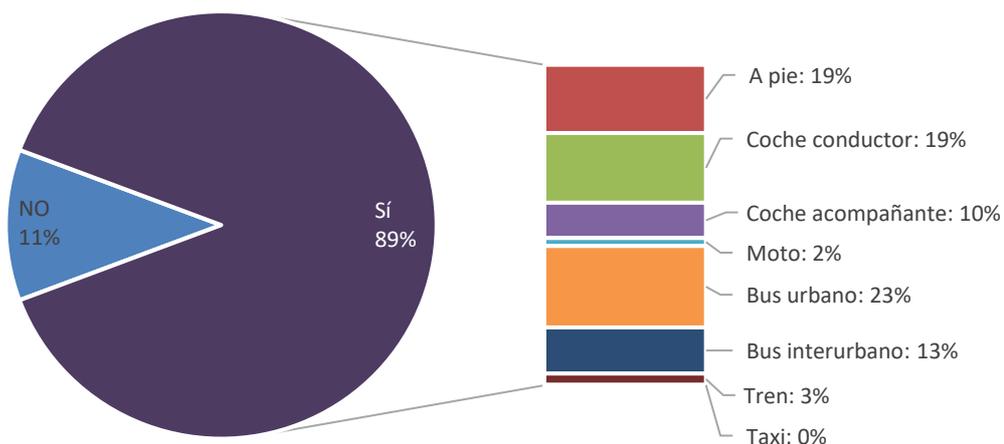


Figura 2-24. Modo que usaba con anterioridad a la bicicleta

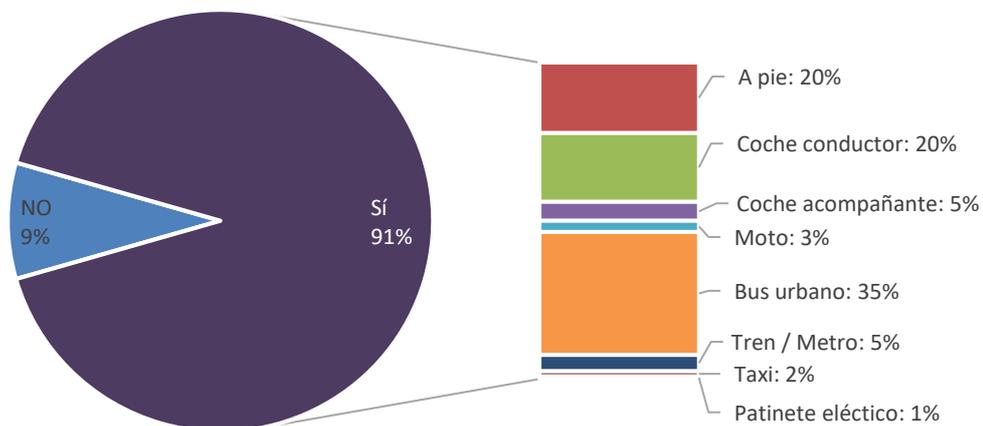


Figura 2-25. Modo alternativo a la bicicleta

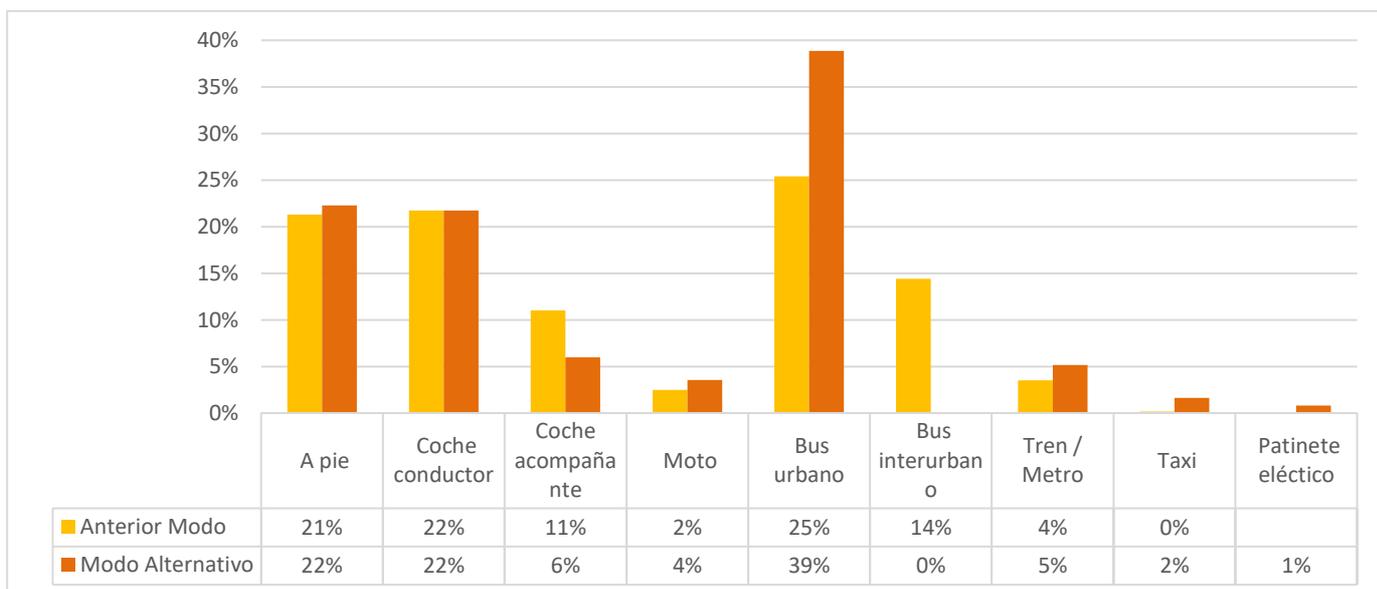


Figura 2-26: Anterior modo y modo alternativo para realizar el mismo trayecto

Se ha añadido un apartado de *mejoras del carril bici* con el fin de identificar las problemáticas de este modo de transporte en Sevilla identificadas por los usuarios, a fin de poder solventarlas y hacer más llamativa la bicicleta. Los resultados se exponen en el siguiente gráfico:

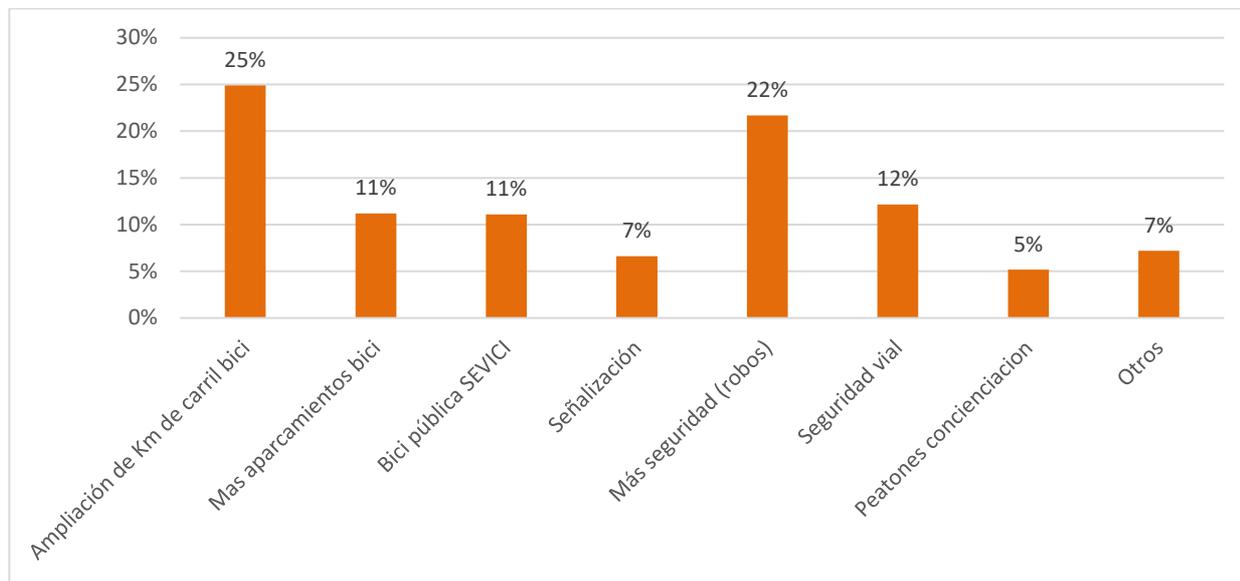


Figura 2-27: Mejoras del Carril bici

De los resultados obtenidos se destaca la ampliación de la red bici, así como más seguridad.

En cuanto a las mejoras de SEVICI, estas van relacionadas con el deseo de reducir el peso de las bicicletas, el aumento del número de bicicletas disponibles y la mejora de la App de consulta.

El concepto “*Otros*” recoge en su gran mayoría quejas sobre el estado actual de la vía, centrandose su disconformidad en el mantenimiento del carril bici, en la necesidad de pintura antideslizante y en la mejora de las intersecciones.

2.4.4. Usuarios en bicicleta – Estadística inferencial

2.4.4.1. Tipo de bicicleta empleada

En la tabla adjunta se puede observar cómo la bicicleta propia fue más empleada (68.5% de los encuestados) que la bicicleta de alquiler (30.5%). Hay un 1.0% de los encuestados que empleó el patinete eléctrico. En el presente trabajo, interesa la relación que pudiera existir entre el uso de bicicleta propia o alquilada con distintas variables.

Tabla 2-6. Tipo de bicicleta empleada

	Frecuencia	Porcentaje
Propia	631	68,5
Alquilada	281	30,5
Patinete Eléctrico	9	1,0
Total	921	100,0

2.4.4.1.1. Edad VS Tipo de Bicicleta

Una de las variables que resultan de interés es la edad. En la tabla adjunta se muestra la bicicleta empleada en función del rango de edad del encuestado, eliminando aquellos casos correspondientes al patinete eléctrico, por presentar un porcentaje muy pequeño en relación al resto.

Se observa cómo los grupos de edad más jóvenes presentan una mayor proporción de uso de la bicicleta de alquiler. Se percibe cómo la frecuencia de uso de la bicicleta de alquiler disminuye conforme aumenta la edad. Para probar si esta relación es estadísticamente significativa, se realiza un test chi cuadrado, **con un resultado significativo ($p < 0,001^*$)** (*Relación asintótica bilateral).

Tabla 2-7. Tabla cruzada edad y tipo de bicicleta

		TIPO BICICLETA		Total
		Propia	Alquilada	
EDAD	<18	16	11	27
		59,3%	40,7%	100,0%
	18-25	174	170	344
		50,6%	49,4%	100,0%
	26-35	180	53	233
		77,3%	22,7%	100,0%
	36-50	158	36	194
		81,4%	18,6%	100,0%
	51-65	72	10	82
		87,8%	12,2%	100,0%
	>65	31	1	32
		96,9%	3,1%	100,0%
	Total	631	281	912
		69,2%	30,8%	100,0%

Nota: los porcentajes de cada cuadro van referidos sobre el total de cada fila, es decir, sobre el total de cada grupo de edad.

Tabla 2-8. Pruebas de chi-cuadrado Edad vs Tipo Bicicleta

	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	102,730 ^a	5	,000
Razón de verosimilitud	107,420	5	,000
Asociación lineal por lineal	84,054	1	,000
N de casos válidos	912		
a. 0 casillas (0,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es 8,32.			

2.4.4.1.2. Sexo VS Tipo de Bicicleta

Cuando se trató de relacionar el uso de ambos tipos de bicicletas en función del sexo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, con $p=0,417^*$ (*Relación asintótica bilateral)

Tabla 2-9. Tabla cruzada sexo y tipo de bicicleta

		TIPO BICICLETA		Total
		Propia	Alquilada	
SEXO	Hombre	415	177	592
		70,1%	29,9%	100,0%
	Mujer	216	104	320
		67,5%	32,5%	100,0%
Total	631	281	912	
	69,2%	30,8%	100,0%	

Tabla 2-10. Pruebas de chi-cuadrado Sexo VS Tipo de Bicicleta

	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)	Significación exacta (bilateral)	Significación exacta (unilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	,659 ^a	1	,417		
Corrección de continuidad ^b	,543	1	,461		
Razón de verosimilitud	,656	1	,418		
Prueba exacta de Fisher				,452	,230
Asociación lineal por lineal	,659	1	,417		
N de casos válidos	912				
a. 0 casillas (0,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es 98,60.					
b. Sólo se ha calculado para una tabla 2x2					

2.4.4.1.3. Actividad VS Tipo de Bicicleta

Cuando se relaciona el **tipo de bicicleta empleada con la actividad del encuestado**, también se encuentran datos interesantes. De esta forma, se identifica cómo los **estudiantes**, a diferencia de los trabajadores, parados y jubilados, **utilizan de forma mayoritaria la bicicleta de alquiler**. La relación entre **ambas variables** demostró ser **estadísticamente significativa** al realizar un test χ^2 cuadrado ($p < 0,001^*$) (*Significación asintótica bilateral)

Tabla 2-11. Tabla cruzada actividad y tipo de bicicleta

		TIPO BICICLETA		Total
		Propia	Alquilada	
ACTIVIDAD	Trabajador	368	89	457
		80,5%	19,5%	100,0%
	Parado	44	13	57
		77,2%	22,8%	100,0%
	Jubilado	48	1	49
		98,0%	2,0%	100,0%
	Estudiante	157	175	332
		47,3%	52,7%	100,0%
Total		617	278	895
		68,9%	31,1%	100,0%

Tabla 2-12. Pruebas de chi-cuadrado Actividad vs Tipo Bicicleta

	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	122,405 ^a	3	,000
Razón de verosimilitud	128,188	3	,000
Asociación lineal por lineal	88,221	1	,000
N de casos válidos	895		
a. 0 casillas (0,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es 15,22.			

2.4.4.2. Análisis del tiempo de trayecto

2.4.4.2.1. Análisis del tiempo de trayecto en función del tipo de bicicleta empleada

*Se excluyeron del cálculo aquellos encuestados cuyo uso de la bicicleta consistía en realizar actividad deportiva, y no en realizar un desplazamiento.

Un dato interesante sería evaluar si existen diferencias en **el tiempo de trayecto y el tipo de bicicleta** empleada.

En la Tabla 2-13 se pueden consultar distintas medidas estadísticas del tiempo de trayecto en función del tipo de bicicleta, como la media, la mediana, la desviación estándar, y el cálculo de los intervalos de confianza al 95% para el valor poblacional de la media en ambos grupos. Se observa cómo la media y la mediana de tiempo (en minutos) del grupo que usa bicicleta propia es algo superior al grupo que emplea bicicleta de alquiler, pero... ¿es esta diferencia estadísticamente significativa?

Para valorar este punto, se decide realizar un contraste de hipótesis. Para ello, en primer lugar, es importante conocer si la distribución de la variable “tiempo de trayecto” se comporta conforme a una curva normal en ambos grupos (bicicleta propia y de alquiler). Para ello, se realizó un test de Kolmogorov-Smirnov, que presentó una $p < 0,05$ en ambos grupos, **lo que indica que en ambos grupos el comportamiento de la variable tiempo no correspondía a una distribución normal**. Por ello, para comparar la media de ambos grupos, fue necesario recurrir a un test no paramétrico: la **U de Mann-Whitney** [11].

Tabla 2-13. Descriptivos – Tiempo de trayecto y tipo de bicicleta

Tipo Bicicleta	Estadístico		Error estándar
Propia	Media		21,27
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	19,86
		Límite superior	22,69
	Media recortada al 5%		18,87
	Mediana		16,00
	Varianza		316,659
	Desviación estándar		17,795
	Mínimo		2
	Máximo		180
	Rango		178
	Rango intercuartil		13
	Asimetría		4,136
	Curtosis		23,829
Alquilada	Media		16,51
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	15,39
		Límite superior	17,62
	Media recortada al 5%		15,86
	Mediana		15,00
	Varianza		87,721
	Desviación estándar		9,366
	Mínimo		3
	Máximo		120
	Rango		117
	Rango intercuartil		10
	Asimetría		5,260
	Curtosis		54,101

Tabla 2-14. Pruebas de normalidad Tipo Bicicleta y Tiempo de trayecto

	Tipo Bicicleta	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk [12]		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Tiempo de trayecto (min)	Propia	,247	611	,000	,618	611	,000
	Alquilada	,193	273	,000	,680	273	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Se extrae de la prueba no paramétrica de Mann-Whitney [11] que la asociación es **estadísticamente significativa entre el tipo de bicicleta empleada y el tiempo de trayecto**.

Tabla 2-15. Estadísticos de prueba con variable de agrupación Tipo de Bicicleta

	Tiempo de trayecto (min)
U de Mann-Whitney [11]	69924,000
W de Wilcoxon	107325,000
Z	-3,896
Sig. asintótica (bilateral)	,000

2.4.4.2.2. Análisis del tiempo de trayecto en función del sexo

Tras el resultado obtenido del apartado anterior, se decide estudiar si existe una relación estadísticamente significativa entre el sexo y el tiempo de trayecto.

Siguiendo los pasos del apartado 2.4.4.2.1, se realiza un contraste de hipótesis.

Tabla 2-16. Descriptivos – Tiempo de trayecto y Sexo

Tipo Bicicleta	Estadístico		Error estándar	
Hombre	Media		20,50	,751
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	19,03	
		Límite superior	21,98	
	Media recortada al 5%		17,87	
	Mediana		15,00	
	Varianza		326,150	
	Desviación estándar		18,060	
	Mínimo		3	
	Máximo		180	
	Rango		177	
	Rango intercuartil		10	
	Asimetría		4,432	,102
	Curtosis		25,550	,203
	Mujer	Media		18,40
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	17,28	
		Límite superior	19,53	
Media recortada al 5%			17,57	
Mediana			15,00	
Varianza			102,599	
Desviación estándar			10,129	
Mínimo			2	
Máximo			90	
Rango			88	
Rango intercuartil			9	
Asimetría			2,006	,138
Curtosis			8,550	,274

Tabla 2-17. Pruebas de normalidad Tipo Bicicleta y Sexo

	Tipo Bicicleta	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk [12]		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Tiempo de trayecto (min)	Hombre	,266	579	,000	,567	579	,000
	Mujer	,202	314	,000	,853	314	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Como se observa en la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (Tabla 2-17), la variable tiempo de uso de la bicicleta no se comporta conforme a la normalidad en ambos grupos, por lo que es necesario establecer la relación entre ambos grupos mediante una prueba no paramétrica. De nuevo se recurre a la U de Mann Whitney

[11]. En este caso, la asociación no fue estadísticamente significativa tal y como se aprecia en la Tabla 2-18.

Tabla 2-18. Estadísticos de prueba con variable de agrupación Sexo

	Tiempo de trayecto (min)
U de Mann-Whitney [11]	89642,000
W de Wilcoxon	139097,000
Z	-.347
Sig. asintótica (bilateral)	,728

2.4.4.2.3. Análisis del tiempo de trayecto en función de la edad

El estudiar el tiempo de trayecto con el tipo de bicicleta y con el sexo, y conociendo los datos obtenidos en el apartado 222.4.4.1, se decide estudiar la existencia de una relación estadísticamente significativa entre el tiempo de trayecto y la edad. Para ello, se sigue la metodología aplicada en los dos apartados anteriores.

Tabla 2-19. Resumen de procesamiento de casos Tiempo de Trayecto y Edad

	Edad	Casos					
		Válido		Perdidos		Total	
		N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Tiempo de trayecto (min)	<18	27	100,0%	0	0,0%	27	100,0%
	18-25	340	97,4%	9	2,6%	349	100,0%
	26-35	231	98,3%	4	1,7%	235	100,0%
	36-50	190	97,4%	5	2,6%	195	100,0%
	51-65	78	94,0%	5	6,0%	83	100,0%
	>65	27	84,4%	5	15,6%	32	100,0%

Tabla 2-20. Descriptivos – Tiempo de trayecto y Edad

Edad	Estadístico		Error estándar
<18	Media		19,56
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	14,67
		Límite superior	24,44
	Media recortada al 5%		18,42
	Mediana		15,00
	Varianza		152,256
	Desviación estándar		12,339
	Mínimo		3
	Máximo		60
	Rango		57
	Rango intercuartil		10
	Asimetría		1,769
	Curtosis		3,828
	18-25	Media	
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	15,94
		Límite superior	18,21
Media recortada al 5%		16,20	
Mediana		15,00	
Varianza		113,215	
Desviación estándar		10,640	
Mínimo		5	
Máximo		120	
Rango		115	
Rango intercuartil		10	
Asimetría		5,564	
Curtosis		50,330	
26-35		Media	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	17,46
		Límite superior	20,50
	Media recortada al 5%		17,85
	Mediana		15,00
	Varianza		137,300
Desviación estándar		11,717	

Edad	Estadístico		Error estándar	
	Mínimo	2		
	Máximo	90		
	Rango	88		
	Rango intercuartil	10		
	Asimetría	2,078	,160	
	Curtosis	6,880	,319	
36-50	Media	20,88	1,265	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	18,38	
		Límite superior	23,38	
	Media recortada al 5%	18,61		
	Mediana	18,50		
	Varianza	304,245		
	Desviación estándar	17,443		
	Mínimo	5		
	Máximo	150		
	Rango	145		
	Rango intercuartil	13		
	Asimetría	4,517	,176	
	Curtosis	26,419	,351	
51-65	Media	28,23	3,182	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	21,89	
		Límite superior	34,57	
	Media recortada al 5%	23,80		
	Mediana	20,00		
	Varianza	789,816		
	Desviación estándar	28,104		
	Mínimo	7		
	Máximo	180		
	Rango	173		
	Rango intercuartil	15		
	Asimetría	3,338	,272	
	Curtosis	12,907	,538	
>65	Media	28,26	5,191	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	17,59	
		Límite superior	38,93	
	Media recortada al 5%	25,09		
	Mediana	20,00		
	Varianza	727,430		
	Desviación estándar	26,971		
	Mínimo	5		
	Máximo	120		
	Rango	115		
	Rango intercuartil	20		
	Asimetría	1,985	,448	
	Curtosis	4,158	,872	

Tabla 2-21. Pruebas de normalidad Tipo Bicicleta y Edad

	Edad	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk [12]		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Tiempo de trayecto (min)	<18	,263	27	,000	,827	27	,000
	18-25	,218	340	,000	,618	340	,000
	26-35	,223	231	,000	,820	231	,000
	36-50	,225	190	,000	,578	190	,000
	51-65	,283	78	,000	,591	78	,000
	>65	,289	27	,000	,753	27	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Como se observa en la Tabla 2-21, la variable tiempo de uso de la bicicleta no se comporta conforme a la normalidad en ninguno de los grupos de edad. Por ello, empleamos una prueba no paramétrica.

**En el grupo de menores de 18 años y en el de mayores de 65, debido al limitado tamaño muestral ($n < 30$) se debería tomar el resultado del test de Shapiro-Wilk [12]. No obstante, el valor de este es significativo en todos los grupos, al igual que ocurre con el test de Kolmogorov-Smirnov (y, por tanto, se rechaza la hipótesis nula, lo que indica que las muestras de dichos grupos no se comportan conforme a la normalidad).*

La prueba no paramétrica empleada, al presentar K muestras independientes a comparar, será un test de Kruskal-Wallis [13], cuyo resultado fue significativo.

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de P4 Tiempo (min) es la misma entre las categorías de P1 Edad.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechaza la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es ,05.

Figura 2-28. Resumen de contrastes de hipótesis

3. MATRIZ ORIGEN-DESTINO

Para poder realizar la macrosimulación del modo de transporte “bicicleta” en Sevilla, uno de los datos previos más importante es la matriz OD. Esta muestra el volumen de usuarios que viajan entre cada par de Origen y Destino.

En este apartado, se presenta la matriz OD en la que se basa el presente trabajo y el proceso de ajuste de la misma con el fin de obtener resultados que muestren la realidad de la forma más fidedigna posible.

3.1. Matriz OD base

La matriz OD de la que se parte es la matriz de movilidad global de Sevilla (EDM07), la cual agrupa todos los viajes de los diferentes modos de transporte que se dan en la ciudad en un día medio, basado en la encuesta de movilidad llevada a cabo en 2007.

Dado que esta matriz recoge todos los modos es necesario extraer de la misma la correspondiente a las bicicletas. El reparto de bicicleta estimada en el 2010 es del 6% [14]. A falta de información para una mejor distribución, puede suponerse como matriz OD de partida para el modo bicicleta la resultante de imponer un reparto modal uniforme en todas las zonas de transporte, obteniéndose:

$$T_{bici} = 0.06 \cdot T_{global} \quad (3-1)$$

Pero las hipótesis planteadas anteriormente, presentan una deficiencia principal, a parte del desfase temporal de la misma, y es que la matriz global representa viajes realizados en otros modos como es el privado y el transporte público, que presentan características muy diferentes a los realizados en bicicleta. Un usuario que utiliza la bicicleta está condicionado por el tiempo de viaje, trayectos demasiado largos pierden interés, como se puede observar en el histograma de viajes en distancia extraído de las encuestas. Esto significa que el reparto modal del modo en estudio no se produce de la misma forma que el transporte público o el privado.

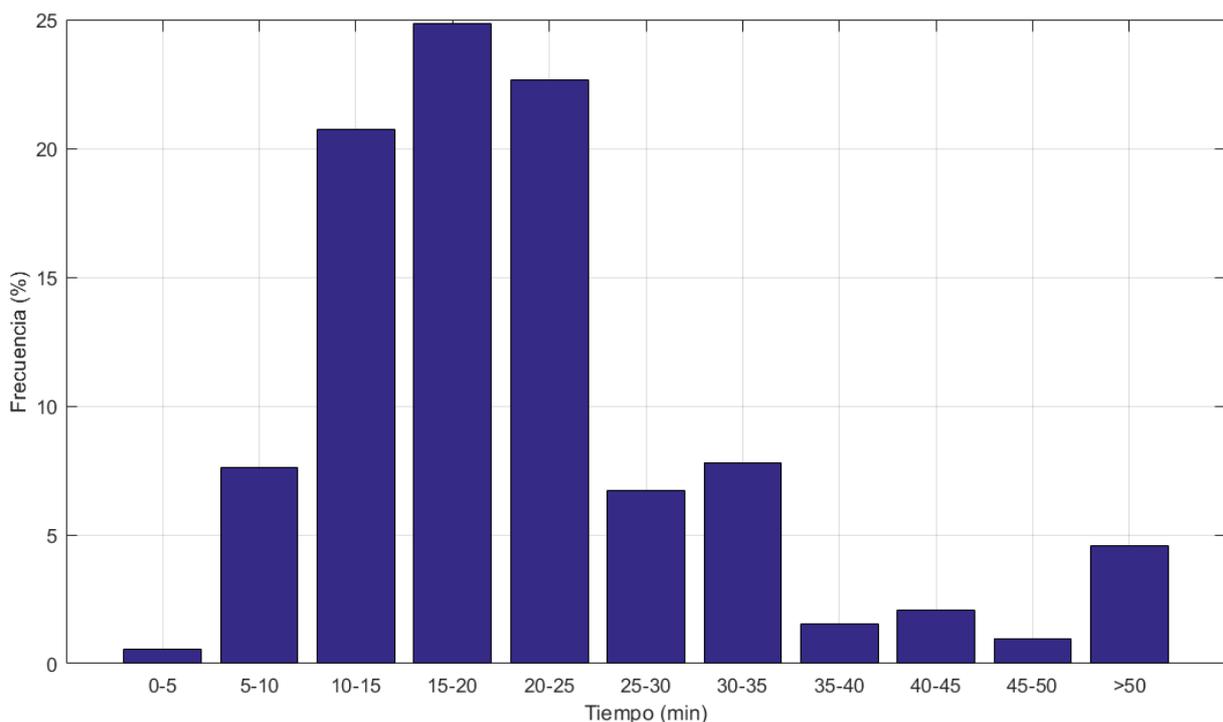


Figura 3-1. Histograma de viajes en distancia (km) extraído de encuestas

Como se ha comentado anteriormente, la matriz global se realizó hace más de 10 años, y se ha observado como en general ha aumentado el número total de viajes en bicicleta desde el estudio de movilidad de 2010 que establece el reparto de la bicicleta en un 6%, por ello, se decide actualizar la matriz para que el número total de viajes sea representativo del actual. Esta idea se tratará más adelante (apartado 3.1.2), donde se presenta la evolución esperada del uso de la bicicleta en Sevilla, donde puede observar como en la fecha en la que se realizó la encuesta, aún no había “explotado” el nuevo modo en el sistema de transporte de la ciudad.

3.1.1. Matriz OD extraída de encuestas

En los procesos de encuestación realizados (EBMICCP16, EBMICCP18) se han recogido el origen y destino de cada uno de los usuarios encuestados, por ello, se decide tratar dicha información y extraer la matriz OD de encuestación con el fin de ajustar la matriz OD base y así obtener una matriz cuyo reparto se aproxime más a la realidad.

Para extraer la matriz en cuestión, ha sido necesario un tratamiento de datos para la unificación de la información y eliminación de aquellos orígenes y destinos que presentaban algún tipo de problemática. Todo esto se recoge en el 0 del presente documento.

Como resumen de los datos obtenidos, se consigue una muestra de 861 viajes, donde principalmente interactúan 114 centroides. Dado que los viajes reales son aproximadamente 45025.8 en un sistema de 162^2 (162 centroides), se puede extraer que los factores de expansión de la matriz de encuesta T_{Enc} van a ser elevados $\alpha \approx 52.3$:

$$T_{Enc,\alpha} = \frac{|\Sigma T_{bici}|}{|\Sigma T_{Enc}|} \cdot T_{Enc} = \alpha \cdot T_{Enc} = 52.3 \cdot T_{Enc} \quad (3-2)$$

Con la representación de los valores obtenidos tras la expansión de la matriz, se obtiene la distribución de la Figura 3-2.

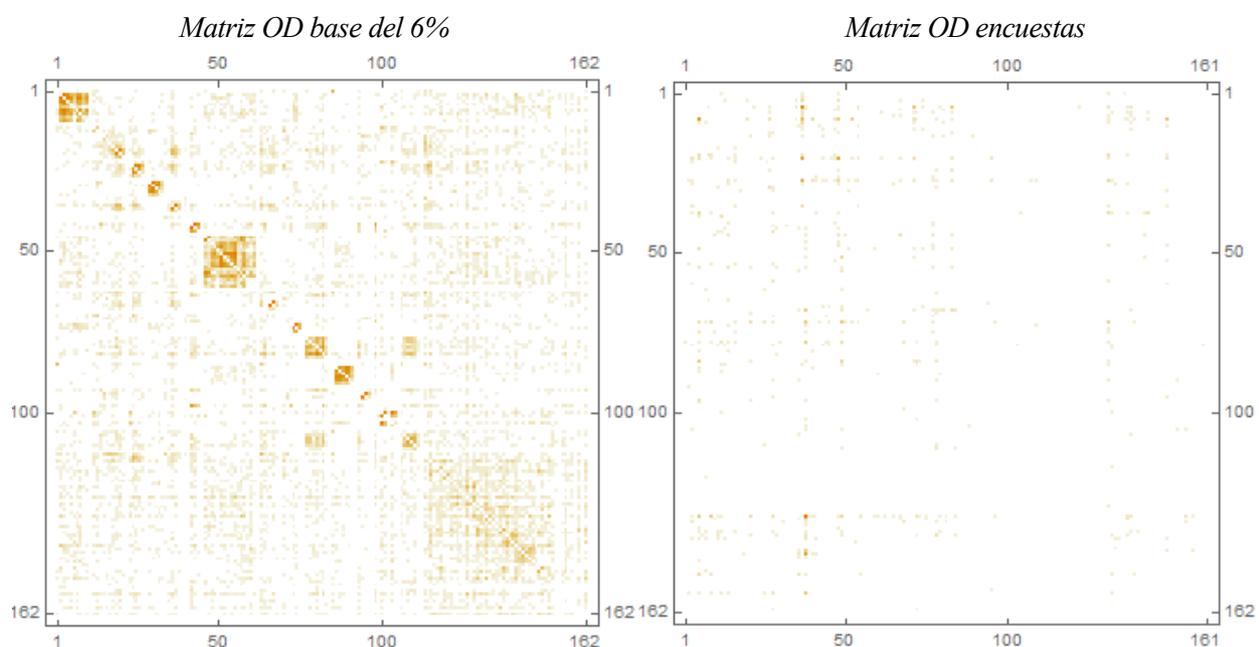


Figura 3-2. Distribución de las matrices OD de las que se dispone

De aquí se extrae que las matrices obtenidas son muy diferentes en cuanto a estructura, además de que la matriz que se ha obtenido de encuesta está prácticamente vacía, ya que no se han registrado todas las relaciones OD en el proceso de encuestación.

Por ello, se va a proceder a tratar y ajustar la EDM07 por medio de un problema de optimización, que se desarrolla en los siguientes apartados.

3.1.2. Actualización de la matriz OD base

El aumento notable de usuarios en bicicleta no está relacionado con un aumento notorio de la población, puesto que, como se muestra en la siguiente gráfica, el municipio de Sevilla apenas ha sufrido cambios sustanciales a lo largo de los años.

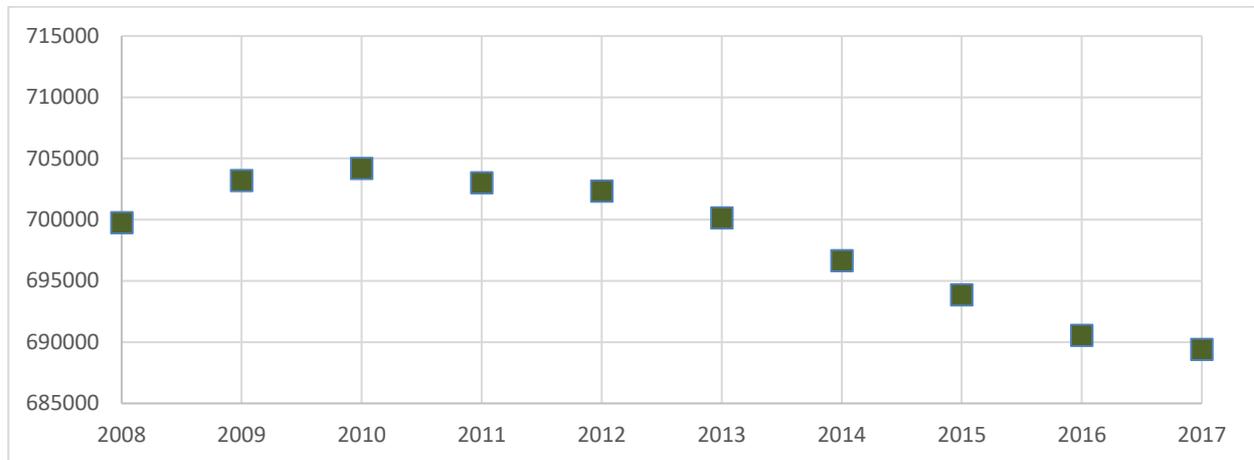


Figura 3-3. Evolución de la población en Sevilla Capital [15]

El uso de la bicicleta ha aumentado con respecto al año al que pertenece la matriz base, puesto que el *carril bici* se comenzó a construir en 2006, y se han ido sumando kilómetros lineales con el paso del tiempo. Además, *el estudio sobre el uso de la bicicleta en la ciudad de Sevilla*, que obtiene como resultado un reparto modal del 6% [14], se realizó en enero de 2010 basándose en un carril bici compuesto por 80 km aproximadamente, cuando actualmente existen 180 km construidos, y con vistas a futuro con la reciente aprobación de la construcción de 17 km por parte de la Gerencia de Urbanismo de Sevilla [16].

De lo anterior se extrae que es necesario actualizar el número de viajes totales que presenta la matriz a utilizar, y para ello se hace uso del estudio realizado por parte de la Gerencia de Urbanismo, donde se expone la *evolución de los desplazamientos en bicicleta entre los años 2006 y 2017* [17]. A continuación, se muestra la información obtenida de dicho documento:

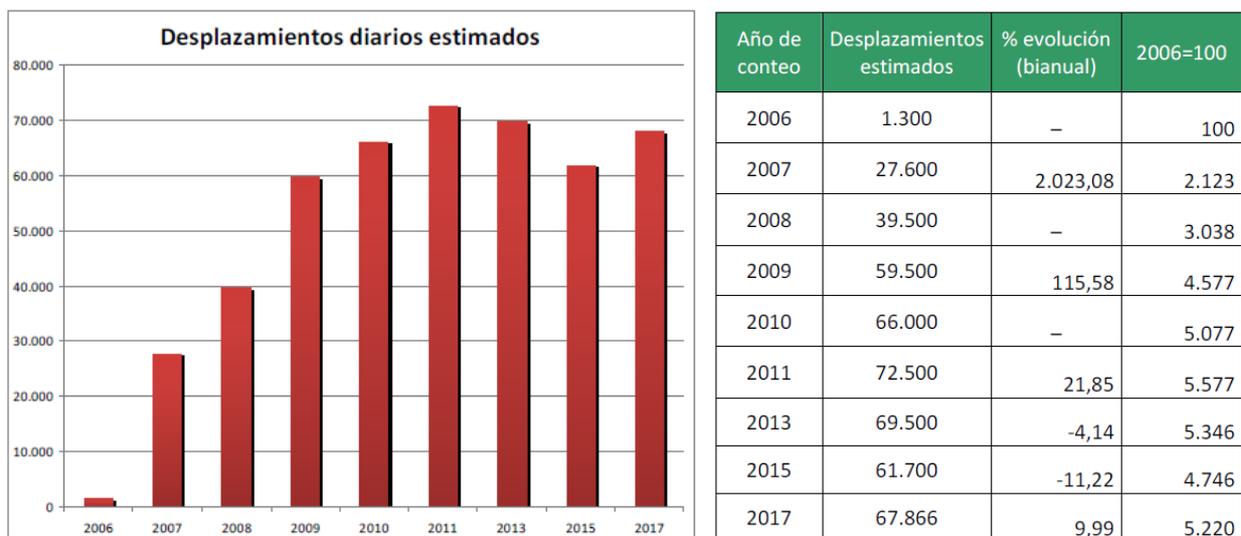


Figura 3-4. Evolución de los desplazamientos en bicicleta entre los años 2006 y 2017 [17]

La actualización de la Matriz OD asociada al modo bicicleta requiere como primera medida un incremento de los viajes totales, de tal forma que de los 45 025.8 de los que se dispone, pasen a ser 67 866 según se muestra en la Figura 3-4. Este factor de aumento será:

$$T_{bici} = \frac{67\ 866}{|ST_{6\%}|} \cdot T_{6\%} = \frac{67\ 866}{45\ 025.8} \cdot T_{6\%} = 1.51 \cdot T_{6\%} \quad (3-3)$$

3.2. Ajuste de la Matriz OD

3.2.1. Elección del método de ajuste de la matriz

En los apartados anteriores se ha comentado la necesidad modificar la matriz, siendo la matriz OD resultante de la encuestación un método invalidado dadas sus deficiencias. A continuación, se presentan los tipos de ajustes y las diferentes restricciones a incluir en el mismo, y su conveniencia o no de incluirlas en el proceso de ajuste.

Para modificar la matriz, se opta por implementar un método de ajuste de matriz, incluyendo información adicional de conteos de tráfico en arcos de la red y una serie de restricciones. El objetivo de este proceso es disminuir la discrepancia con los volúmenes observados mientras se controla la distorsión de la matriz.

Como criterio de optimalidad en el proceso de ajuste de la matriz, se valora utilizar los siguientes modelos:

- Máxima entropía: también conocida como la de mínima información, donde se busca extraer una matriz de viajes nueva a partir de una base, donde la función de distancia utilizada para medir la diferencia, tanto entre los aforos y los volúmenes modelados como entre la matriz resultante y la previa. es la función de entropía relativa. [18] [19] [20] [21]
- Mínimos cuadrados generalizados: que utiliza la distancia euclídea ponderada con la matriz de covarianzas como función para medir las diferentes entre volúmenes y matrices. [22]

Para lo anterior, se establece la hipótesis de que el mecanismo que utilizan los usuarios para escoger ruta es la ruta de coste mínimo (que en el modo de transporte de la bicicleta básicamente se basa en la distancia de los recorridos). Esto es debido a que el fenómeno de la congestión todavía no es apreciable, y se supone que no tienen incidencia en la selección de ruta.

3.2.1.1. Método de ajuste de mínimos cuadrados generalizados

El método de mínimos cuadrados generalizados presenta la problemática de que se están comparando sistemas de dimensiones muy dispares:

$$\text{Minimizar } \frac{1}{2}(\bar{g} - g)^T \Sigma_{\bar{g}}^{-1}(\bar{g} - g) + \frac{1}{2}(\bar{v} - v(g))^T \Sigma_{\bar{v}}^{-1}(\bar{v} - v(g)) \quad (3-4)$$

Siendo g la matriz Origen-Destino con el flujo de viajes para cada par origen-destino ordenada en formato vectorial, v el vector de flujos o volúmenes en los arcos, y $\Sigma_{\bar{g}}$ y $\Sigma_{\bar{v}}$ las matrices de varianzas-covarianzas. Los valores conocidos (matriz previa, volúmenes observados) se representan con el acento $\bar{}$.

Como se observa, encontramos en la misma función objetivo el sistema que contempla el número total de viajes, teniendo en cuenta cada OD, y el correspondiente a los aforos. La dimensión de aforos es mucho menor que el otro sistema, (solo se disponen de 8 aforos, apartado 3.2.2.1), por tanto, en el ajuste quedaría eclipsada dicha información. Por esto, se descarta esta opción.

3.2.1.2. Método de ajuste máxima entropía

Por otro lado, la aplicación de máxima entropía tiene en cuenta una matriz de referencia, y el problema formulado tiene múltiples soluciones, siendo importante para el resultado final la solución inicial de partida. [23] [24]

$$\text{Minimizar } Z(g, v) = \gamma_1 \sum_{p \in \mathcal{P}} \left(g_p \left(\log \left(\frac{g_p}{\bar{g}_p} \right) - 1 \right) \right) + \gamma_2 \sum_{a \in \mathcal{A}} \left(v_a \left(\log \left(\frac{v_a}{\bar{v}_a} \right) - 1 \right) \right) \quad (3-5)$$

Siendo \mathcal{P} y $\bar{\mathcal{A}}$ los conjuntos de pares Origen-Destino y de arcos aforados en la red, respectivamente.

A pesar de lo anterior, y dada el reducido número de puntos de aforo de los que se dispone, se decide incluir como restricción por simplicidad.

$$\text{Minimizar}_{T,v} Z = \sum_{p \in P} g_p \left(\log \left(\frac{g_p}{g_p} \right) - 1 \right) \quad (3-6)$$

Siendo g_p el flujo de viajes correspondiente al par p de los O/D.

3.2.2. Restricciones del ajuste

Para realizar el ajuste de la matriz, se decide incluir una serie de restricciones que permitan obtener una mejor distribución de los viajes totales estimados en la matriz OD. Una posible alternativa es imponer un modelo físico, como el modelo gravitatorio o el de radiación, para explicar la demanda de este modo de transporte, infiriendo los parámetros del modelo de modo que se ajusten lo más posible a los datos de la realidad. Sin embargo, estos modelos se definen por semejanza a fenómenos físicos que poco tienen que ver con los mecanismos que tienen los viajeros para decidir si realizan determinados viajes y qué modo utilizarían para ello. En este trabajo se opta por imponer una serie de condiciones matemáticas que debería verificar una matriz de demanda, que resuman la información real conocida del modo de transporte, evitando así formular una serie de hipótesis sobre el comportamiento de los usuarios difíciles de validar. El concepto de restricción está asociado a una condición de obligado cumplimiento, es por ello, que se debe discutir la conveniencia de incluirlo o no cada posible restricción en el proceso final de ajuste. Con el fin de facilitar la formulación utilizada, las magnitudes vectoriales y matriciales se representan con estilo tipo **Bold**. La información disponible para la definición de este conjunto de restricciones es la siguiente:

- Aforos.
- Histograma unitario de distancia del trayecto.
- Generación: Población.
- Atracción:
 - o Movilidad obligada: empresas y universidades
 - o Movilidad no obligada

3.2.2.1. Aforos

Se dispone de la siguiente información de aforos:

- Puntos de conteos realizados por los alumnos que cursaron la asignatura de *Planificación del Transporte* del Máster ICCP: diferentes días de la semana y en específicos tramos horarios. Además, existen puntos de los cuales no se posee información de conteo.

Tabla 3-1. Conteos realizados por la clase de 2º MUICCP 2018-2019

Lugar	Ubicación	Conteo 1				Conteo 2			
		Fecha	Día semana	Tramo horario	Viajes	Fecha	Día semana	Tramo horario	Viajes
1	Jardines del Valle / María Auxiliadora	22/12/2018	6	11:45 - 12:50	54				
2	Avda. de Reina Mercedes	11/1/2019	5	12:10 - 13:10	66				
3	Gran Plaza	3/12/2018	1	15:15 - 16:15	112	10/12/2018	1	17:30 - 18:30	80
4	Luis de Morales	3/12/2018	1	16:30 - 17:30	232	10/12/2018	1	15:15 - 16:15	215
5	Avda. de Llanes / Ronda de Pío XII	19/12/2018	3	13:30 - 15:16	60				
6	Avda. Carlos V	10/12/2018	1	10:00 - 11:00	173	17/12/2018	1	12:00 - 13:00	101
7	Camino de los descubrimientos								
8	Barqueta - Torneo	14/1/2019	1	12:30 - 13:30	61				
9	Barqueta - Torneo	28/12/2018	5	18:08 - 19:28	135	29/12/2018	6	13:43 - 14:23	97
10	Plaza de Armas	10/1/2019	4	20:05 - 21:05	102				
11	Remedios - Plaza Cuba	10/1/2019	4	9:00 - 10:00	170	11/1/2019	5	12:30 - 13:30	183
11	Remedios - Glorieta Cigarreras	10/1/2019	4	12:30 - 13:30	40	11/1/2019	5	9:00 - 10:00	34
12	Salida Alamillo- Glorieta Olímpica	9/1/2019	3	9:05 - 10:05	102				

- Eco-contadores: son puntos localizados a lo largo de la red ciclista los cuales cuentan, almacenan y transfieren permanentemente el número de ciclistas que circulan sobre ellos. Esta información es controlada por la Gerencia de Urbanismo de Sevilla. De los 10 dispositivos que podemos encontrar, solo transmiten información a día de hoy 6. Hay información disponible en datos diarios y también en tramos horarios.

Fecha	contad01	contad02	contad04	contad05	contad06	contad07	contad08	contad09
	jardines	Avda. Llanes	Plaza Armas	Palacio Congressos	Plaza Cuba	S. Sebastian	Reina Mercedes	E. Dato
domingo 01 ene 2017	0	131	355	263	132	526	128	0
lunes 02 ene 2017	0	198	567	567	305	879	226	0
martes 03 ene 2017	0	298	785	573	480	1.336	291	0
miércoles 04 ene 2017	0	314	868	547	598	1.355	300	0
jueves 05 ene 2017	0	297	904	387	447	1.247	262	0
viernes 06 ene 2017	0	173	554	274	219	705	171	0
sábado 07 ene 2017	0	256	712	453	349	1.025	249	0
domingo 08 ene 2017	0	290	779	569	337	1.099	398	0
lunes 09 ene 2017	0	391	1.287	668	868	2.228	1.051	0
martes 10 ene 2017	0	396	1.257	650	896	2.364	1.105	0
miércoles 11 ene 2017	0	420	1.291	727	871	2.467	1.066	0
jueves 12 ene 2017	0	404	1.256	674	885	2.406	1.054	0
viernes 13 ene 2017	0	432	1.186	669	788	2.238	832	0
sábado 14 ene 2017	0	283	832	512	358	1.262	324	0
domingo 15 ene 2017	0	246	872	635	351	1.163	307	0
lunes 16 ene 2017	0	620	1.197	696	857	2.115	794	0
martes 17 ene 2017	0	799	1.304	611	849	2.161	911	0
miércoles 18 ene 2017	0	653	1.019	498	666	1.868	726	0
jueves 19 ene 2017	0	615	990	474	630	1.765	758	0

Figura 3-5. Ejemplo de datos de eco-contadores (Año 2017). [5]

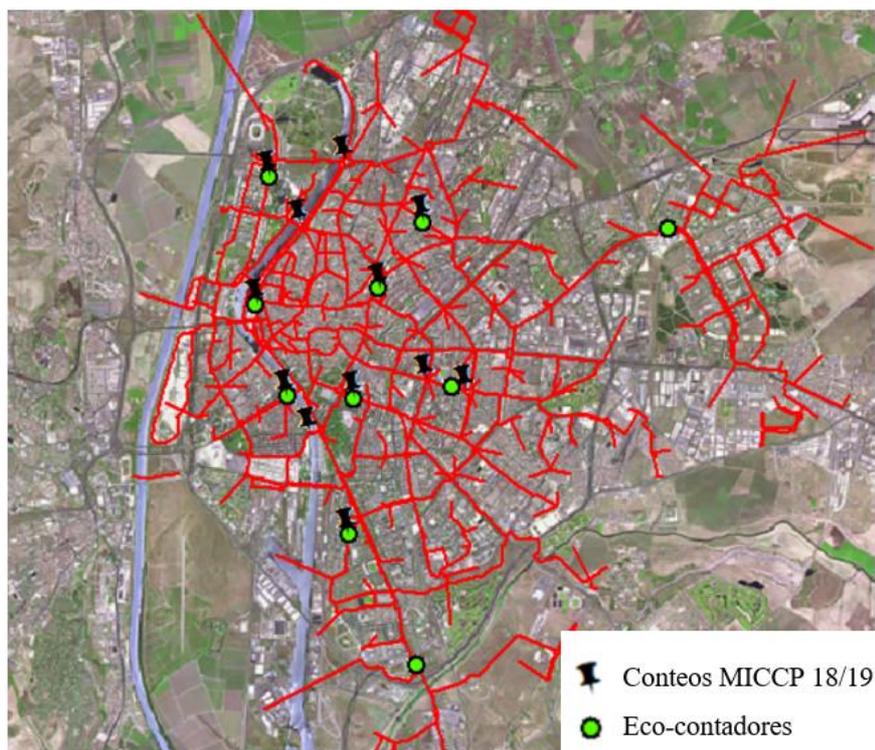


Figura 3-6. Eco-contadores y Puntos de conteo de encuestas

Para el ajuste de la matriz se utilizarán los datos de los eco-contadores disponibles en la Gerencia de Urbanismo de Sevilla pertenecientes a un día que sea representativo y lo suficientemente próximo a la fecha actual. Se identifica como día representativo aquel día laborable que no esté afectado por fines de semana y festivos ya sean nacionales o locales. Por lo anterior, se evalúan los datos de eco-contadores del año 2016 puesto que el año 2017 solo tiene registrada información de 2 meses en 6 eco-contadores, mientras que el año seleccionado presenta datos registrados en los 366 días que conforman el 2016 de 8 eco-contadores.

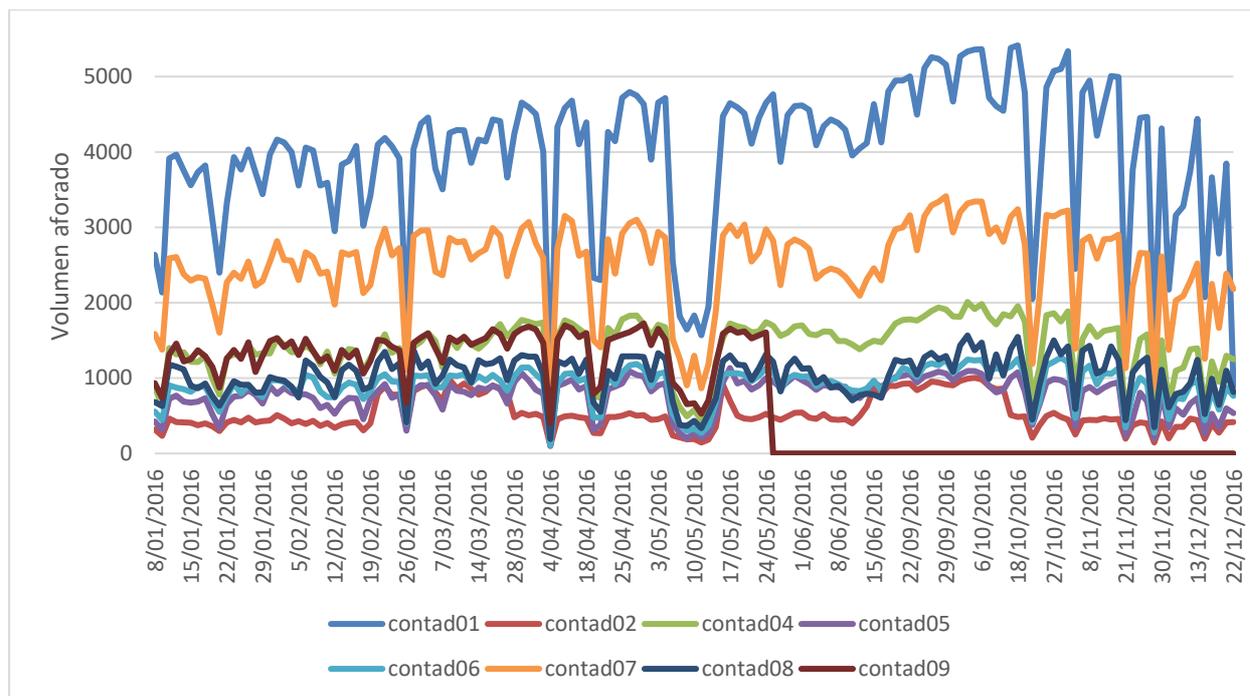


Figura 3-7. Volúmenes aforados en 2016. Fuente: datos extraídos de la Gerencia de urbanismo de Sevilla

Se observa en la Figura 3-7 los volúmenes aforados durante 2016, una vez eliminados los registros pertenecientes a fines de semana y festivos, así como los pertenecientes a los meses de verano. Tras analizar la gráfica anterior, se decide escoger la media de los valores como volumen aforado para cada uno de los eco-contadores de los que se dispone información. Es apreciable como en la Figura 3-7 existen días en los que se ha registrado valores atípicos causados por la existencia de precipitación, como, por ejemplo, las grandes precipitaciones registradas en mayo de 2016 en Sevilla [25]. Dado que se buscan valores representativos, se deciden despreciar los días en los que se obtiene una bajada significativa de los volúmenes.

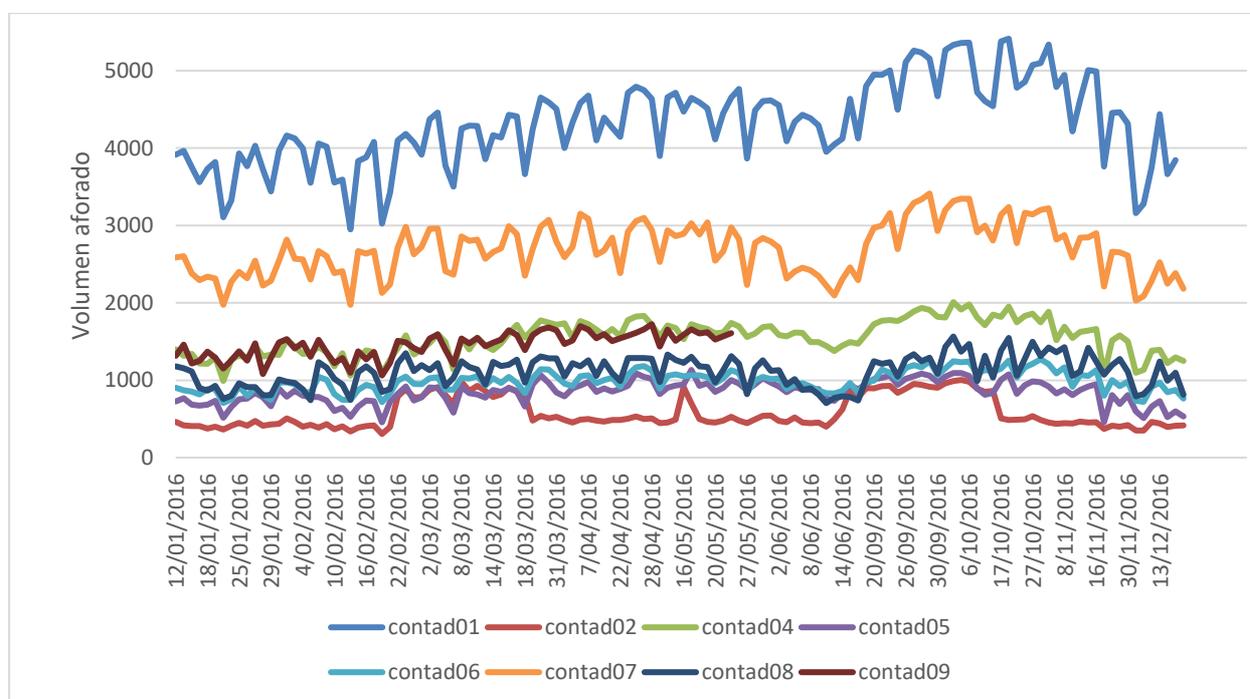


Figura 3-8. Volúmenes aforados en 2016. Tratamiento de datos

Finalmente se realiza el promedio de los valores de cada uno de los eco-contadores, obteniendo los volúmenes aforados a introducir en el ajuste de la matriz. Esta información se presenta en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2. Promedio de los volúmenes aforados utilizados para el ajuste de la matriz OD. [5]

Contador	contad01	contad02	contad04	contad05	contad06	contad07	contad08	contad09
	jardines	Avda. Llanes	Plaza Armas	Palacio Congressos	Plaza Cuba	S. Sebastián	Reina Mercedes	E. Dato
Volúmenes	4315.3	577.7	1549.7	847.4	987.4	2694.3	1112.1	1456.0

Como se observa, no existe información sobre el eco-contador 3 para esta fecha, por ello se decide acudir a los datos del primer semestre de 2013, los cuales si presentan datos aforados, para valorar su inclusión o no en el proceso final de ajuste.

Figura 3-9. Datos de Eco-contadores del primer semestre de 2013. [5]

De aquí se extrae la información que se muestra en la Tabla 3-3. Donde interesa extraer la información de la 2ª Semana del 8 al 11 de enero, puesto que es la única medida de la que se dispone que no se encuentra en fechas vacacionales o fines de semana. Sin embargo, los valores de los que se disponen para establecer un promedio presentan una gran varianza, y, por ello, se cree más correcto excluir este aforo del ajuste de la matriz.

Tabla 3-3. Datos aforados en el Eco-contador 3 año 2013

Días aforados (2013)	2, 3, 4 enero	31, 1, 5, 6 enero	8-11 enero	7, 12, 13 enero
Volúmenes aforados	429	342	929	736

En cuanto a la formulación del ajuste de la matriz, la restricción asociada a los aforos será tal que relacione los pares origen-destino con el aforo, de tal forma que quede registrado todos los pares OD que transiten por cada uno de los aforos disponibles.

$$v = \Gamma^T \cdot g \quad \forall a \in \bar{A} \tag{3-7}$$

Donde g es la matriz de viajes ordenada en formato vectorial, v es vector con los volúmenes de los aforados en los eco-contadores y Γ^T la matriz de incidencia que relaciona los Pares Origen-Destino con los arcos aforados, en la que el elemento Γ_{pa} es 1 si a ruta mínima del par p contiene el arco a , 0 en otro caso.

Para esta restricción se establece la hipótesis de que el mecanismo que utilizan los usuarios para escoger la ruta es el de ruta mínima pues se considera que el fenómeno de congestión no es apreciable, suponiendo que no tienen incidencia en la selección de ruta. Esta hipótesis conlleva una asignación de tráfico lineal, limitándose a

un único cálculo de la matriz de incidencia Γ (aforos-pares OD, constante por no considerarse la congestión) y una multiplicación de matrices que equivale a la suma de los pares que utilizan un arco determinado. Esta idea es la que lleva a la elección del método de asignación *All or Nothing*. (apartado 4.3)

3.2.2.2. Histograma de viajes

Atendiendo a la información extraída de las encuestas, se llega a la conclusión de que no se puede reunir información significativa respecto al flujo entre los diferentes pares Orígenes-Destino. Al existir demasiados pares, el número de encuestas necesarias para obtener información representativa a nivel de par es demasiado elevado. Con el número razonable de encuestas, si puede extraerse información cualitativa y cuantitativa sobre la disponibilidad de los usuarios a realizar o no un determinado viaje atendiendo a una información transversal a todos los pares en función del coste generalizado, como puede ser la distancia o el tiempo de viaje.

De la idea anterior se extrae el histograma distancia-frecuencia de viajes, el cual recoge el número de viajes realizados según el tiempo o distancia de viaje. Esta información es bastante valiosa, puesto que puede afectar al reparto modal de tal forma que, dependiendo de la distancia de viajes, ese par OD puede ser más o menos atractivo para ser realizado en bicicleta u otro medio de transporte.

El histograma de viajes que se ha obtenido de las encuestas es el siguiente:

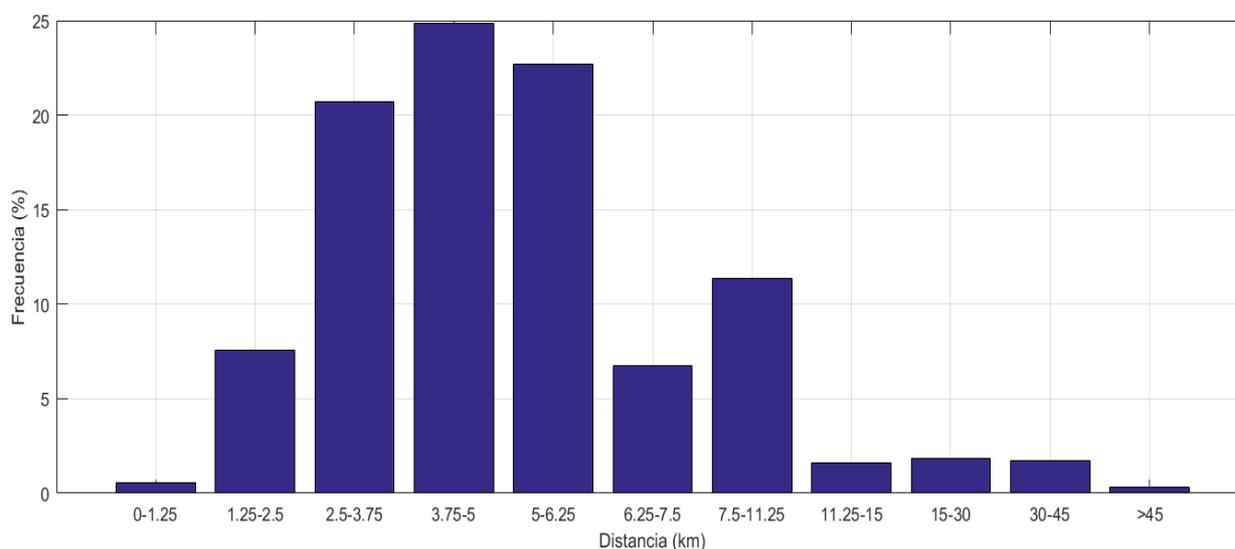


Figura 3-10. Histograma unitario de distancia de viajes

Tabla 3-4. Proporción obtenida para cada rango de la información extraída del proceso de encuestación

Proporción de cada rango											
Rango tiempo (min)	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	>50
Tiempo	0.00542	0.07592	0.20716	0.24837	0.22668	0.06725	0.07809	0.01518	0.02061	0.00976	0.04555
Distancia	0.00542	0.07592	0.20716	0.24837	0.22668	0.06725	0.11388	0.01627	0.01844	0.01735	0.00325
Rango distancia (km)	0-1.25	1.25-2.5	2.5-3.75	3.75-5	5-6.25	6.25-7.5	7.5-11.25	11.25-15	15-30	30-45	>45

Los datos derivados del proceso de encuestación (Anexo A.- Modelos de Encuestas) han sido obtenidos en medida de tiempo. Para obtener el histograma en distancia se ha supuesto una velocidad media de 15 km/h.

Al definir los intervalos del histograma de viajes, se extrae de las encuestas la proporción de viajes observados pertenecientes a cada uno de estos intervalos, es decir, para cada intervalo b del conjunto de intervalos B se obtiene una proporción P_b respecto al total de viajes realizados en bicicleta. Por tanto, se puede establecer una restricción en la que la suma de los viajes de aquellos pares incluidos en un intervalo dado se corresponda al total de viajes correspondientes a dicho intervalo (Ecuación 3-8).

$$\sum_{p \in P(b)} g_p = P_b \cdot T \quad \forall b \in \mathcal{B} \quad (3-8)$$

Esta restricción se puede expresar de forma matricial sin más que definir la matriz de incidencia Δ [9] histograma-pares OD-, que relaciona los pares OD con su intervalo en el histograma.

$$\Delta_b \cdot \mathbf{g} = P_b \cdot T \quad \forall b \in \mathcal{B} \quad (3-9)$$

Donde el subíndice en la matriz indica que se trata de la fila b . Esto significa que el modelo debe de cumplir que los viajes de la asignación para cada intervalo definido en el histograma deben coincidir con las proporciones obtenidas de las encuestas mostrada en el histograma: Figura 3-10.

3.2.2.3. Generación de viajes: Población

La población es un factor importante a la hora de generación de viajes, por ello, se decide introducir como restricción en el modelo de ajuste. Ante la ausencia de información para la obtención de modelo de Generación – Atracción, se decide asumir que los viajes generados por cada TAZ están proporcionalmente relacionados con su población. Realmente, la población ya se tuvo en cuenta en la elaboración de la matriz OD global T_{global} pero está muy desfasada puesto que como se comentó en el apartado 3.1, la información con la que infiere fue obtenida en el año 2007.

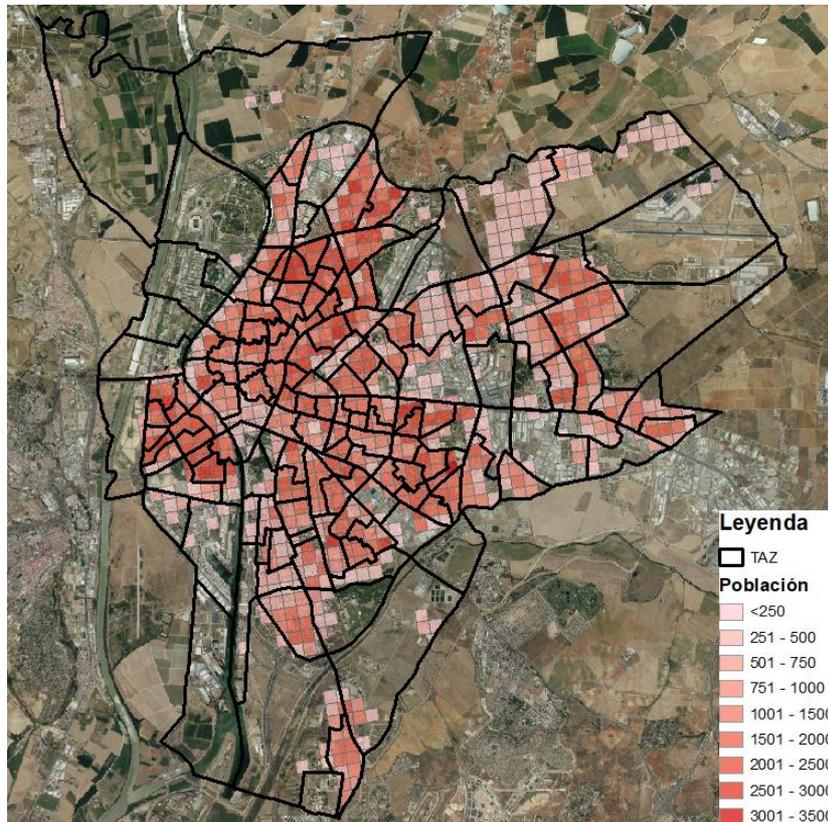


Figura 3-11. Población 2017 [7]

Para imponer la restricción ha sido necesario contabilizar el total de la población y el % de población en cada una de las TAZs que intervienen en el modo de la bicicleta. Los valores extraídos y utilizados en el método de ajuste se pueden observar en la Tabla Anexo C-0-1.

Lo ideal sería imponer la población por filas, de tal forma que la generación de viajes de la zona i sea proporcional a la población residente en la zona i ($X_{pob,i} = \frac{Pob_{TAZ i}}{\sum Pob_{TAZ}}$):

$$\sum_{p/O(p)=i} g_p = X_{pob,i} \cdot T \quad \forall i \in \mathcal{O} \quad (3-10)$$

Siendo O el conjunto de orígenes, que en este caso coincide con Z , el conjunto de zonas de transporte. De lo anterior se puede definir la matriz de incidencia Θ Orígenes - pares OD, que relaciona los pares OD con su origen, de tal forma:

$$\Theta \cdot g = X_{pob} \cdot T \quad (3-11)$$

3.2.2.4. Atracción de viajes

Los apartados anteriores trataban de actuar sobre la generación de viajes, pero teniendo en cuenta que todos los viajes se realizan con un fin, se decide introducir en el ajuste una restricción relacionada con la atracción de los mismo. En las encuestas realizadas (apartado 2.4.3) se identifican que los principales motivos de desplazamientos recogidos estaban relacionados con el trabajo y los estudios (Figura 2-20), que se conocen como *movilidad obligada*, siendo minoritaria la movilidad no obligada (temas de ocio, deportes, etc...) lo que lleva a analizar en mayor profundidad la demanda en función de esta atracción.

3.2.2.4.1. Movilidad obligada

A la movilidad obligada se le referencian aquellos viajes realizados por motivos de estudios o trabajo. Consultando los datos extraídos de encuestas (Figura 2-20), se concluye que el 42% y 33% de los viajes recogidos corresponden a trabajadores y estudiantes respectivamente, por lo tanto, los viajes de movilidad obligada representan un 75% de los viajes totales:

$$T_{mov\ obligada} = 0.75 \cdot T = 0.75 \cdot 67\ 866 = 50\ 899.5 \quad (3-12)$$

Siendo T el número total de viajes.

Teniendo en cuenta que, en esta movilidad obligada, los trabajadores representan el 56% y los estudiantes el 44% restante, se pueden obtener los viajes asociados a cada uno de ellos:

$$T_{estudiantes} = 0.44 \cdot T_{mov\ obligada} = 22\ 395.78 \quad (3-13)$$

$$T_{trabajadores} = 0.56 \cdot T_{mov\ obligada} = 28\ 503.72 \quad (3-14)$$

Siento $T_{estudiantes}$ el total de viajes realizados por motivos de estudio y $T_{trabajadores}$ el total de viajes realizados por motivos de trabajo.

Sin embargo, de esta movilidad obligada, solo se posee información georeferenciada de empresas de más de 50 asalariados (ver 3.2.2.4.1.1) y de facultades y centros universitarios (ver 3.2.2.4.1.2), por lo tanto, se desconocen aquellos usuarios trabajadores en empresas de menos de 50 asalariados, siendo necesaria la disgregación de la demanda de trabajadores (ecuación (3-15)). Para ello, se dispone de información sobre el estrato de asalariados en cómputos globales (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), del cual se pueden extraer una proporción con respecto al total de asalariados a tener en cuenta en el ajuste de la matriz.

$$T_{trabajadores} = T_{trab,>50} + T_{trab,<50} \quad (3-15)$$

Tabla 3-5. Empleo de empresas por tramo de asalariados en Sevilla (2017) [26]

<i>Estrato de asalariados</i>	<i>Sevilla</i>	<i>% de asalariados</i>	<i>% de aplicación al ajuste</i>
<i>De 1 a 2 asalariados</i>	31562	6.29%	36.56%
<i>De 3 a 5 asalariados</i>	36980	7.37%	
<i>De 6 a 9 asalariados</i>	29462	5.88%	
<i>De 10 a 19 asalariados</i>	39934	7.96%	
<i>De 20 a 49 asalariados</i>	45413	9.06%	
<i>De 50 a 99 asalariados</i>	26693	5.32%	63.44%
<i>De 100 a 249 asalariados</i>	29250	5.83%	
<i>250 o más empleados</i>	262146	52.28%	
TOTAL ASALARIADOS	501440	100.00%	100.00%

Aplicando estos porcentajes se obtienen el total de viajes de trabajadores en empresas de más de 50 asalariados. (ecuaciones (3-16) y (3-17))

$$T_{trab,>50} = 0.6344 \cdot T_{trabajadores} = 18\ 081.37 \quad (3-16)$$

$$T_{trab,>50} = 0.3656 \cdot T_{trabajadores} = 10\ 422.35 \quad (3-17)$$

Siendo $T_{trab,>50}$ el total de viajes de trabajadores en empresas de más de 50 asalariados y $T_{trab,<50}$ el total de viajes de trabajadores asociados a empresas de menos de 50 asalariados.

A continuación, se trata la información georeferenciada asociada a desplazamientos de movilidad obligada comentada con anterioridad.

3.2.2.4.1.1. Empresas de más de 50 asalariados

Incluyendo las empresas en el ajuste de la matriz, se consigue relacionar el uso de la bicicleta con factores socioeconómicos. Esta restricción se impone según los establecimientos que se encuentran dentro de cada una de estas TAZS, y, más tarde, se ponderan sus valores de atracción teniendo en cuenta los asalariados, obteniendo finalmente una proporción para cada TAZ.

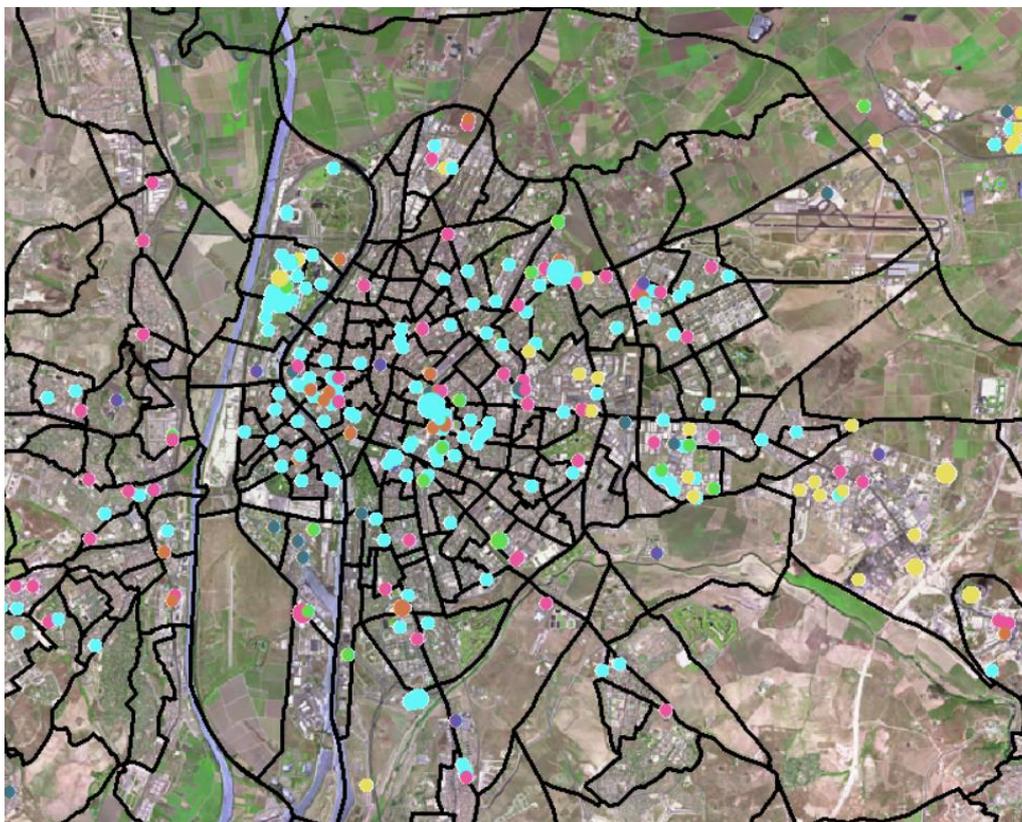
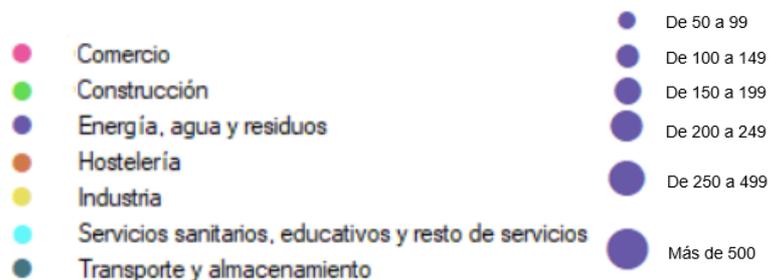


Figura 3-12. Geolocalización de los establecimientos de más de 50 asalariados (Actualización 2018) [7]

Sin embargo, no se dispone del número exacto de asalariados para cada empresa, pero sí de un rango, de tal forma que se establecen coeficientes de ponderación en función del rango. En este caso, el coeficiente utilizado no es más que el valor medio de cada uno de los rangos (ver Tabla 3-6).

Tabla 3-6. Coeficientes en función del rango de asalariados

Rango Asalariados	Coefficiente de diferenciación	Total de empresas contabilizadas
50-99	75	227
100-149	125	6
150-200	175	3
200-499	350	2

En la Tabla Anexo C-0-2 se muestra el número de cada tipo de empresa que se encuentran asociados a cada centroide utilizada en el ajuste.

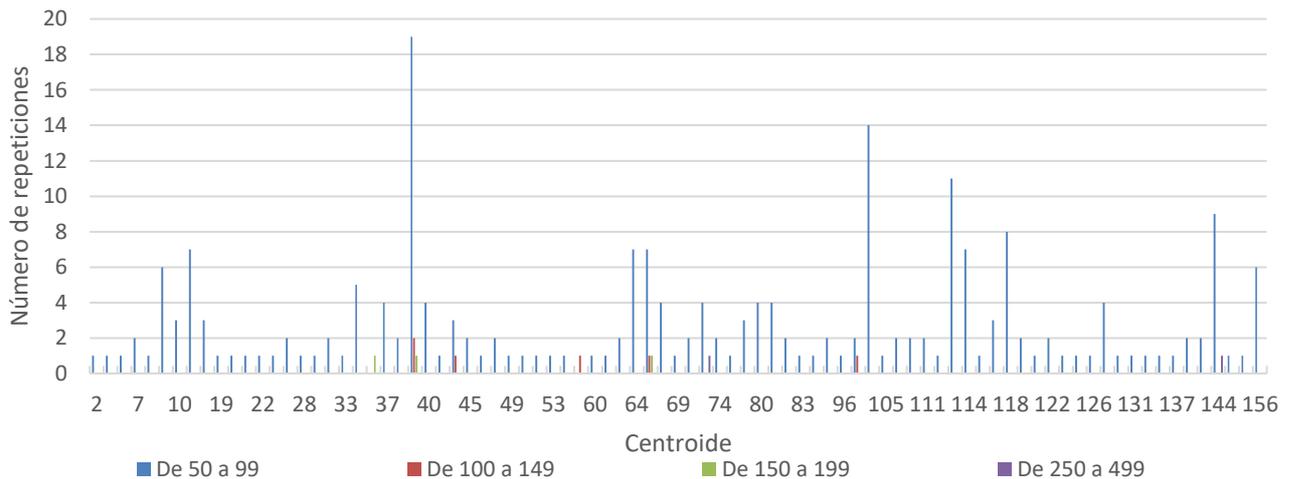


Figura 3-13. Gráfico: repeticiones de cada tipo de empresa en cada centroide

En el ajuste, se impone la restricción por columnas, de tal forma que la atracción de viajes de una zona j sea proporcional a los establecimientos y el total de asalariados de la zona $\left(P_{50,j} = \frac{W_j^{50}}{\sum W_k^{50}}\right)$, siendo P_{50} la proporción asociada a los usuarios asalariados a empresas de más de 50 empleados, W^{50} el número de asalariados (o coeficiente de diferenciación) y j la TAZ en estudio. A este vector de atracción, hay que sumarle aquellos viajes motivados por los estudios, además de los asociados a pequeñas empresas y de movilidad no obligada.

3.2.2.4.1.2. Universidades

Como en el caso anterior, otro de los motivos principales que llevan al usuario a utilizar la bicicleta es por necesidad de desplazamiento hacia el centro de estudio (Figura 2-20: Motivo del viaje de los encuestados), por tanto, se decide afectar la atracción de viajes con la inclusión de las diferentes facultades y centros universitarios existentes en Sevilla. Se extraen las diferentes facultades existentes en Sevilla [5] y se asocian a los centroides que definen el modelo, mostrándose el resultado en la Tabla Anexo C-0-3.

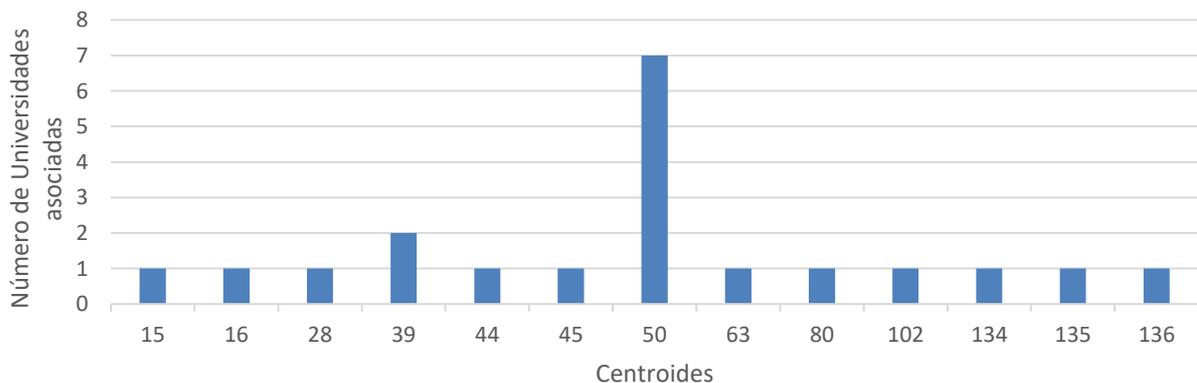


Figura 3-14. Universidades asociadas a cada centroide

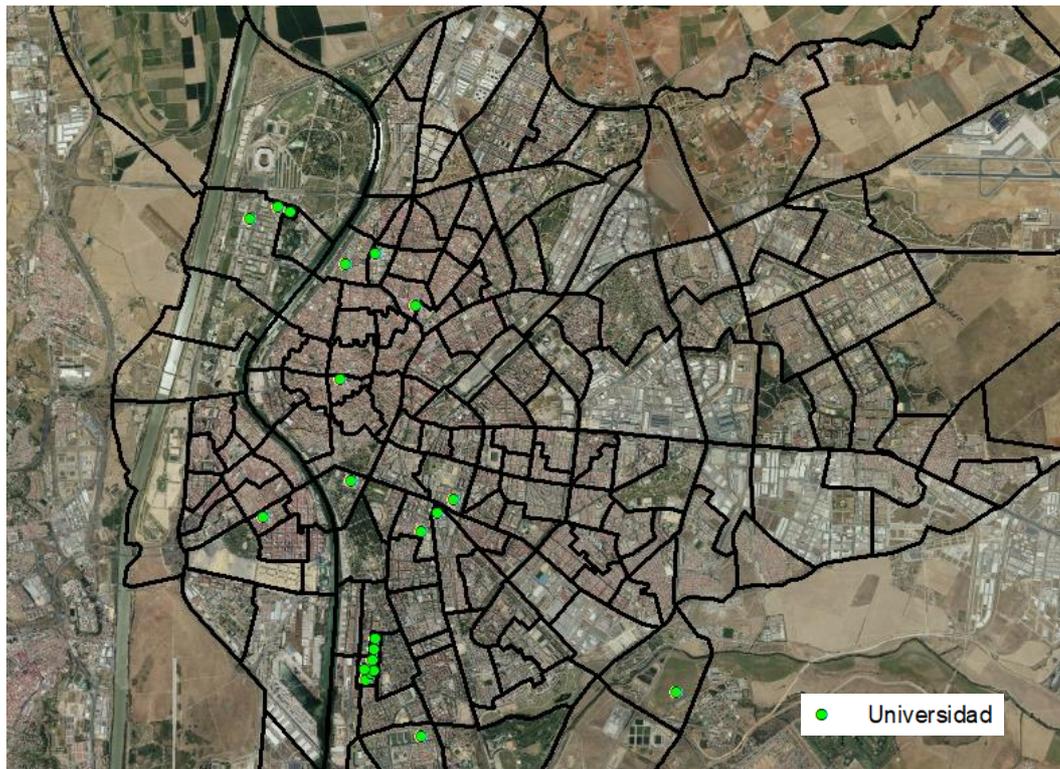


Figura 3-15. Localización de las universidades en la ciudad de Sevilla [5]

Dada su similitud con la restricción anterior, y a fin de simplificar el ajuste de la matriz, se decide introducir la información de las universidades en la restricción de atracción que versa sobre los asalariados de las empresas de más de 50 empleados. Para ello, y dada la importancia del uso de la bicicleta en este ámbito, como se ha podido observar en los resultados obtenidos de las encuestas (apartado 2.4.3), se utiliza un coeficiente de diferenciación de 700.

Tabla 3-7. Coeficientes en función del rango de asalariados y universidades

Rango	Coefficiente de diferenciación
50-99	75
100-149	125
150-200	175
200-499	350
Universidades	700

3.2.2.4.2. Movilidad no obligada

Según la Figura 2-20: Motivo del viaje de los encuestados, representan un 25 % del total de viajes captados con las encuestas realizadas. Estos tipos de desplazamientos recogen aquellos viajes que no son de movilidad obligada, es decir, que se realizan por motivos de ocio, deporte, compras.

Teniendo en cuenta esto, se extrae a continuación la demanda asociada a esta movilidad.

$$T_{mov\ NO\ obligada} = T - T_{mov\ obligada} = 67\ 866 - 50\ 899.5 = 16\ 966.5 \quad (3-18)$$

3.2.2.4.3. Vector de atracción de viajes

De la información anterior, se extrae que la atracción de la que se poseen datos (Tabla Anexo C-0-2), son los relacionados con los estudiantes y con los trabajadores de empresas de más de 50 asalariados. Utilizando la misma nomenclatura para las matrices que para el total de viajes:

$$g_{50} = g_{trab,>50} + g_{estudiantes} \quad (3-19)$$

Donde g_{50} es la matriz de demanda que se ve influenciada por la variable W^{50} , definida anteriormente y que recoge los asalariados asociados a empresas de más de 50 empleados y estudiantes de las universidades localizadas en cada una de las TAZS, de tal forma que la atracción b^{50} debida a g_{50} será proporcional a W^{50} :

$$K \cdot W_i^{50} = b_i^{50} \quad (3-20)$$

K representa una proporción entre el total de asalariados recogidos y el total de viajes esperados, de tal forma que sumando para todas aquellas zonas con $W_i^{50} > 0$, se obtiene:

$$K = \frac{T_{estudiantes} + T_{trab,>50}}{\sum_{i=1}^Z W_i^{50}} \quad \forall i \in Z \quad (3-21)$$

Siendo Z el conjunto de zonas de transporte. De igual manera, se puede definir la matriz de la que no se dispone información, que es aquella relacionada con la movilidad no obligada y con los viajes realizados por trabajadores de empresas de menos de 50 asalariados:

$$g_{restante} = g_{trab,<50} + g_{mov\ NO\ obligada} \quad (3-22)$$

La idea principal del ajuste en cuanto a la restricción en estudio es tratar las atracciones en dos bloques, aquellas en las que se ha cuantificado atracción ($W_i^{50} > 0$) y aquellas que no ($W_i^{50} = 0$), las cuales representan una dimensión de 92 y 70 TAZs, respectivamente. Lo anterior se traduce en:

- 92 restricciones de atracción ($W_i^{50} > 0$) que no solo incluyen las atracciones debidas a g_{50} , sino que se decide imponer una distribución uniforme de los viajes no contemplados asociados a $g_{restante}$, obteniendo finalmente lo expuesto en la ecuación (3-23). Estas restricciones tratan casi el 83% de los viajes totales.
- Una restricción en la que se incluyen todas aquellas zonas del transporte de las cuales no se han obtenido datos sobre la existencia de universidades o empresas de más de 50 asalariados.

$$b_i^{at} = b_i^{50} + \frac{T_{restante}}{\sum_{j=1}^Z TAZ_j} = b_i^{50} + \frac{T_{mov\ NO\ obligada} + T_{trab,<50}}{162} \quad \forall i \in \mathcal{D} \mid W_i^{50} > 0 \quad (3-23)$$

$$b_{93}^{at} = \frac{\sum_{j=1}^Z TAZ_j \cdot (W_j^{50} == 0)}{\sum_{j=1}^Z TAZ_j} T_{restante} = \frac{70}{162} (T_{mov\ NO\ obligada} + T_{trab,<50}) \quad (3-24)$$

Siendo \mathcal{D} el conjunto de destinos, que de nuevo coincide con Z al considerar todas las zonas de transporte como posible Origen/Destino de viajes.

Para expresar esta restricción en formato matricial, se define la matriz de incidencia Φ Destinos - pares OD, que relaciona los pares OD con sus destinos, de tal forma.

$$\Phi \cdot g = b^{at} \quad (3-25)$$

3.2.3. Algoritmo de ajuste

El proceso de ajuste que finalmente se propone se define en la expresión 3-14. Consiste en un problema de optimización en el que se minimiza una función objetivo que mide la distancia con respecto a una matriz previa \bar{g} y las restricciones anteriormente comentadas. La función de distancia finalmente adoptada para la función objetivo es la de la entropía relativa, que como puede verse sin más que desarrollar en serie en torno la matriz previa, es una función intermedia entre el error absoluto y el relativo. A este sistema es necesario incluir una última restricción en la cual se establece la obligatoriedad de que todos los volúmenes entre cada par OD sea positivo ($g \geq 0$), pues no tiene sentido físico un flujo de viajeros negativo. Con esta configuración, y dado que las restricciones impuestas son lineales, puede utilizarse como algoritmo de resolución el algoritmo de Beckmann [27] o de equilibrio iterativo.

Finalmente, se obtiene la siguiente formulación basada en la minimización de la función objetivo, sujeta a las restricciones anteriormente mencionadas:

$$\begin{aligned}
 \text{Minimizar}_{T,v} Z &= \sum_{p \in \mathcal{P}} g_p \left(\log \left(\frac{g_p}{\bar{g}_p} \right) - 1 \right) \\
 \text{s. a} \quad v &= \Gamma^T \cdot g \quad \forall a \in \mathcal{A} && \text{Restricción Aforos} \\
 \Delta_b \cdot g &= P_b \cdot T && \text{Restricción Histograma} \\
 \Theta \cdot g &= X_{pob} \cdot T && \text{Restricción Población} \\
 \Phi \cdot g &= \mathbf{b}^{at} && \text{Restricción Empresas} \\
 g_p &\geq 0 \quad \forall p \in \mathcal{P} && \text{Volúmenes reales}
 \end{aligned} \tag{3-26}$$

3.2.3.1. Código de ajuste de la matriz

A continuación, se explica código utilizado para el ajuste de la matriz. Este código ha sido desarrollado en el programa *Wolfram Mathematica V.11.3*.

3.2.3.1.1. Input información

Para realizar el ajuste, es necesario introducir grandes volúmenes de información. En este caso, se ha creado esta primera sección en la cual se leen matrices de dimensiones apreciables, y que tienen relación con la red que se está tratando. Esta información es la siguiente:

- Demanda previa: la cual es representada por medio de la matriz de viajes de partida, o también denominada matriz base en el apartado 3.1 del presente documento, obtenida con un reparto uniforme del 6% aplicado a la matriz de viajes global correspondiente a la última Encuesta Domiciliar de Movilidad realizada en Sevilla públicamente accesible.
- Distancia mínima entre pares: se extrae de la red de bicicleta utilizada (apartado 4.2.1) la distancia mínima entre los diferentes pares OD que componen el sistema en estudio. Para ello, se ha utilizado el programa *TransCAD (Caliper)* gracias a la herramienta "*Multiple Shortest Paths*", configurando las herramientas para que escoja la ruta mínima en función de la distancia.¹
- Matriz de incidencia *Pares-Aforos*: esta matriz recoge una relación entre pares orígenes-destino (que intervienen en el sistema de la bicicleta) con los aforos por los que se ve afectado. Esta matriz también ha sido obtenida a través del programa *TransCAD*, esta vez haciendo uso de la herramienta "*Zone Query Builder*", la cual extrae la matriz OD de aquellos usuarios que transitan por arco determinado de la red.¹

3.2.3.1.2. Tratamiento de los pares OD

En esta sección se genera el vector de pares OD, pero antes es preciso identificar las zonas del transporte que intervienen en el estudio que se está realizando. En este caso se identifica el conjunto Z de 162 zonas de transporte, frente a las 256 que componen el área metropolitana de Sevilla. Además, los nombres o etiquetas no son correlativos, por lo que el índice creado no corresponderá con su número de zona.

El vector de pares OD se obtiene a partir del producto cartesiano $Z \times Z$, donde se eliminan aquellos viajes que son intrazonales pues dada la simplificación del sistema en macrozonas, estos no intervendrían en la asignación.

De las grandes matrices introducidas en la sección anterior solo se debe modificar la matriz base, pues es la que presenta pares fuera de la lista generada, ya sea por viajes intrazonales o por viajes en los que intervienen las zonas metropolitanas que quedan fuera del estudio.

3.2.3.1.3. Tratamiento del modelo de ajuste y restricciones

Antes de comenzar con el algoritmo global de distribución, es indispensable realizar la actualización de la matriz base, así como la inclusión de la información referente a las restricciones, de tal modo que el conjunto resultante tenga soluciones factibles. Este tratamiento previo a la resolución se presenta en las siguientes subsecciones:

- **Actualización de la matriz OD**

Esta actualización se basa en lo comentado en el apartado 3.1.2, donde se actualiza el total de viajes de tal forma

¹ Para este proceso ha sido utilizada la "*matriz de unos*", donde cada par OD tiene asociado un viajero, salvo aquellos viajes intrazonales.

que sumen el total de viajes estimado, 67 866 como se justificó en el apartado 3.1.2, lo que supone un coeficiente de aumento de aproximadamente 1.51.

Además, se genera la *matriz de partida* utilizada posteriormente en el ajuste la cual presenta la particularidad de no presentar valores nulos, es decir, es el resultado de incluir un valor significativo de 0.01 en aquellos pares OD que no presenten demanda. Trabajar con una información de partida con muchos ceros puede implicar la no convergencia de los métodos numéricos utilizados al dar lugar a una incompatibilidad del sistema de restricciones impuestas. [28]

$$\text{Si } g_p = 0 \rightarrow g'_p = 0.01 \quad \forall p \in P \quad (3-27)$$

La elaboración de esta matriz de partida sin valores nulos se basa en una de las razones expresadas en el apartado 3.1 que versa sobre el reparto que muestra la matriz base utilizada en el ajuste, puesto que el reparto modal del modo en estudio no se produce de la misma forma que el transporte público o el privado, que son los modos en los que se basa la matriz global. De esta idea anterior se extrae que es necesaria la eliminación de valores nulos en la matriz a ajustar para así asegurar una correcta distribución de la demanda que satisfaga todos los requerimientos impuestos.

- Tratamiento de los aforos

En primer lugar, se introducen los volúmenes obtenidos en el apartado 3.2.2.1 referentes a los aforos activos en la actualidad. Más tarde, se crea la variable Γ (apartado 3.2.2.1) a partir de la matriz de Incidencia introducida en la sección “*Input información*”, la cual relaciona la participación de los pares OD con los aforos utilizados en el ajuste.

A continuación, se muestra la diferencia entre los volúmenes observados y los obtenidos a partir de la matriz del 6% actualizada (apartado 3.1.2).

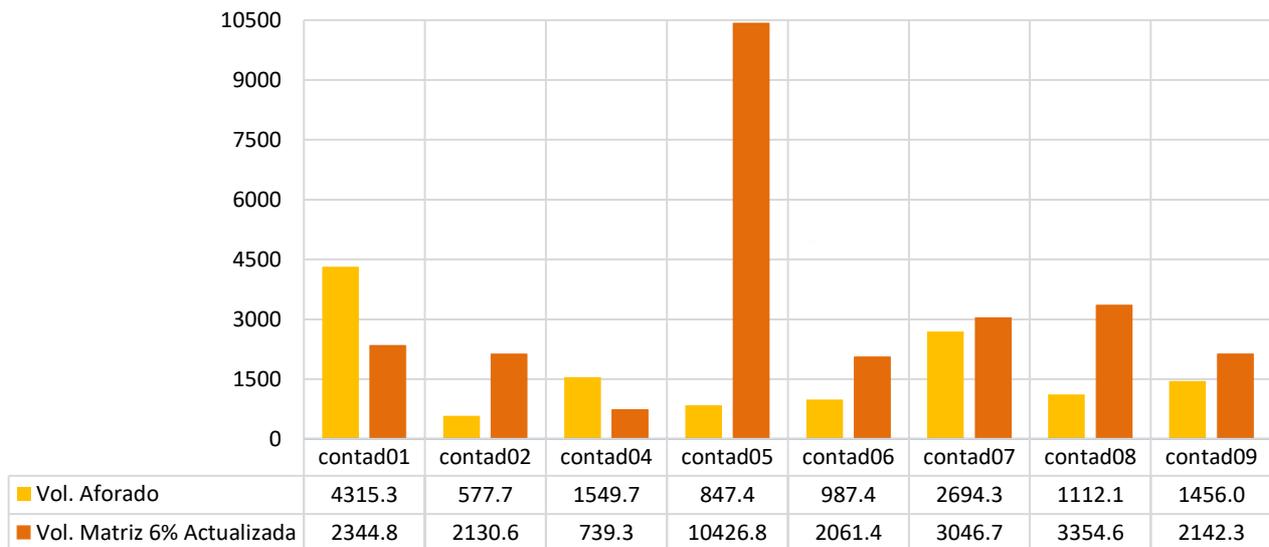


Figura 3-16. Volumen aforado y volumen obtenido de la matriz del 6%

Tabla 3-8. Pares compartidos entre aforos

		AFOROS							
		1	2	4	5	6	7	8	9
AFOROS	1	0	0	0	162	126	63	126	206
	2	0	0	0	540	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	48	0	24	0
	5	162	540	0	0	108	126	108	0
	6	126	0	48	108	0	216	12	96
	7	63	0	0	126	216	0	9	0
	8	126	0	24	108	12	9	0	0
	9	206	0	0	0	96	0	0	0

De la matriz de incidencia Γ , se pueden analizar los pares que no intervienen en ninguno de los arcos aforados y aquellos que lo hacen en más de uno. De aquí se extrae que de los 26082 pares (eliminando aquellos intrazonales), 13 930 pares no están recogidos en la restricción de aforos. En la Tabla 3-8 se recogen cuantos pares Origen-Destino utilizan en su ruta mínima más de un punto aforado, con lo que su flujo interviene en más de una restricción, pudiendo por tanto producir algún tipo de incompatibilidad en el sistema de ecuaciones.

- Tratamiento del histograma

Como en el caso anterior, se introduce en primer lugar la información referente al histograma (apartado 3.2.2.2). El histograma está relacionado con la matriz de distancias introducida en el programa en el apartado “*Input Información*” (3.2.3.1.1), de tal forma que cada par origen-destino es asociado a uno de los intervalos que se han establecido en el histograma en función de la distancia mínima entre ambos. De la idea anterior, se crea la matriz de incidencia Δ , la cual relaciona los pares OD con los intervalos del histograma.

Como en el caso anterior, se muestra la diferencia entre el histograma extraído de las encuestas realizadas y el obtenido a partir de la matriz del 6% actualizada (apartado 3.1.2).

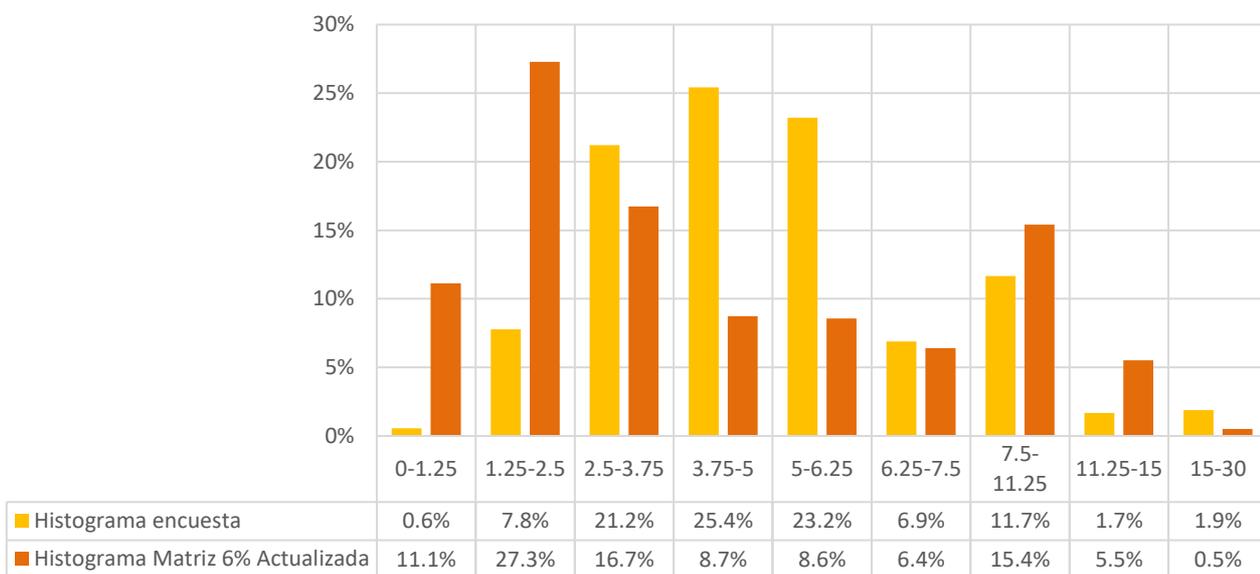


Figura 3-17. Histograma extraído de encuestas e histograma obtenido de la matriz del 6%

- Tratamiento de la población (generación)

Se introducen los datos de población obtenidos según el proceso explicado en el apartado 3.2.2.3 (Tabla Anexo C-0-1. Población asociada a cada centroide), pero con la modificación de los datos asociados a las zonas de transporte 36 y 102, pues estos no presentan población, y para evitar indeterminaciones en el proceso de resolución, es necesario incluir un valor que carezca de importancia (0.001 en este caso). Tras esto, se calcula:

- La proporción de población asociada a cada TAZ frente al total de población contabilizado.

$$X_{pob,i} = \frac{Pob_{TAZ i}}{\sum Pob_{TAZ}} \quad (3-28)$$

- La matriz de incidencia Θ , la cual relaciona los orígenes de viajes con los pares OD.

- Tratamiento de las empresas y universidades (atracción)

Partiendo del vector de atracción obtenido en el apartado 3.2.2.4 se calcula la matriz de incidencia Φ , la cual relaciona los destinos de viajes con los pares OD.

3.2.3.1.4. Algoritmo Global de distribución / Ajuste

En esta sección se busca el ajuste de la matriz. Este se basa en un método iterativo que impone cada una de las restricciones establecidas anteriormente y a su vez minimizar la función objetivo (la convergencia de este algoritmo está garantizada si se escoge como función objetivo una función de distancia que sea una divergencia de Begman [29] como es el caso de la entropía relativa). La divergencia de Bregman [29] puede aplicarse tanto

a nivel de punto como a nivel matricial, con lo que el problema de distribución en el campo de transporte puede formularse como el de encontrar una matriz que, verificando una serie de condiciones o restricciones convexas, esté a una distancia mínima de una matriz previa, siendo esa medida de distancia una elección a hacer por el modelador. Utilizando la divergencia de Bregman adecuada, se puede estar buscando la desviación respecto a la matriz original mínima en términos absolutos (mínimos cuadrados) o relativos (entropía), utilizando el mismo esquema algorítmico para resolver los diferentes casos.

Se decide tratar los aforos independientemente, esto significa que se establecen 8 bloques de restricciones asociados a los aforos en el algoritmo. Esta decisión solo se basa en motivos operativos, pues cada una de las restricciones asociada a los aforos influye en las demás (ver Tabla 3-8. Pares compartidos entre aforos Tabla 3-8) afectando finalmente al número total de viajes. Por lo tanto, al tratarlo en bloques independientes, controlando en cada bloque el número total de viajes, la convergencia del problema se acelera, siendo necesarias menos iteraciones, y con ello, menor tiempo de computación.

Cada uno de estos bloques está compuesto a su vez por dos restricciones:

- Restricción que recoge aquellos pares origen-destino que influyen en el aforo que se está tratando
- Restricción para el resto de los pares.

De este modo, en cada bloque de restricciones cada par OD interviene en una y solo una de estas restricciones, y debe mantener el número total de viajes.

En cuanto al algoritmo de ajuste, se parte de la *matriz de partida* (apartado 3.2.3.1.3) modificando esta en cada una de las iteraciones establecidas hasta conseguir un error lo suficientemente pequeño. Las restricciones pueden imponerse de forma individual o por lotes, siendo esta última opción la más adecuada para acelerar el proceso.

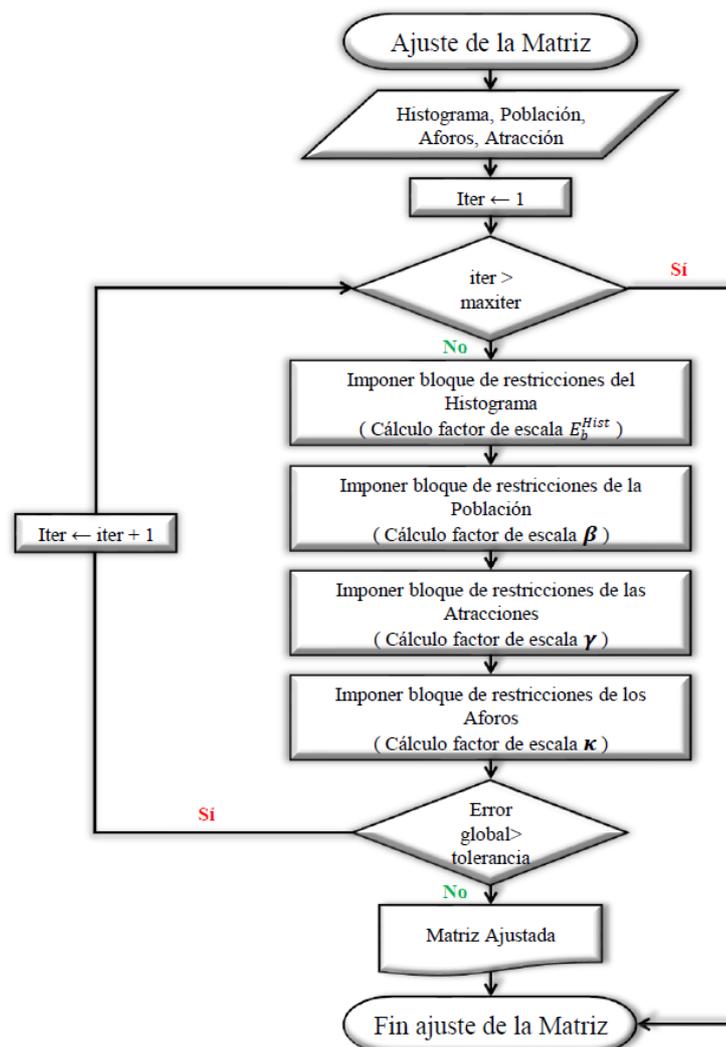


Figura 3-18. Diagrama de flujo del proceso de ajuste de la matriz

En referencia a la Figura 3-18, en cada bloque de restricciones se calculan los coeficientes de escala de forma que la restricción en estudio se verifique de forma exacta, dejando de cumplirse para el resto de restricciones.

En primer lugar, se decide tratar el bloque de restricciones referentes al histograma, donde se define el coeficiente de escala E_b^{Hist} de forma que la restricción se verifique:

$$E_b^{Hist} = \frac{H_b^{EDM}}{H_b^i} \quad (3-29)$$

Donde H_b^{EDM} representa el número de viajes correspondientes al intervalo b del histograma extraído de las encuestas y H_b^i la suma de viajes del intervalo b en el histograma que se formaría con la matriz actual, la de la iteración i . El vector E^{Hist} contendrá los B diferentes coeficientes de escala asociados a cada uno de los intervalos del histograma.

Multiplicando por la traspuesta de la matriz de incidencia Δ , de dimensiones $B \times P$, y dado que cada columna p de dicha matriz solo contiene un 1 en la fila b correspondiente al intervalo del histograma al que pertenece el par y cero en el resto, se obtiene un nuevo vector α de coeficientes de escala en este caso de longitud P , es decir, se ha asociado a cada par punto con el coeficiente que le corresponde al intervalo del histograma al que pertenece:

$$\alpha = \Delta^T \cdot E^{Hist} \quad (3-30)$$

Con este parámetro se modifica la *matriz de partida* de tal forma que se aplica un coeficiente a cada par OD según el intervalo del histograma al que pertenece:

$$g_p^{i+1} = \alpha_p \cdot g_p^i \quad (3-31)$$

Más tarde se procede con los 8 bloques de restricciones asociadas a los aforos. Como en el caso anterior, se extrae un parámetro para escalar la diferencia entre los datos reales y los datos extraídos de la *matriz de partida*. Esto se realiza con cada uno de los aforos.

$$E_a^{Aforo} = \frac{\text{Volumen aforado en el arco } a}{\text{Volumen asignado en } a \text{ con la matriz actual}} \quad (3-32)$$

Operando de forma similar a lo realizado en las restricciones del histograma, siendo Γ en este caso la matriz de incidencia que relaciona los pares OD con los aforos, se puede definir un vector longitud el número de pares en el que cada componente contiene el coeficiente de escala asociado al aforo para ese par.

$$\kappa = \Gamma \cdot E^{Aforo} \quad (3-33)$$

Con este parámetro se modifica la *matriz* de tal forma que se aplica un coeficiente teniendo en cuenta cada una de las restricciones de los aforos asociadas a los pares OD:

$$g_p^{i+1} = \kappa_p \cdot g_p^i \quad (3-34)$$

De igual forma se prosigue con las atracciones (empresas) y la población:

$$E_j^{At} = \frac{\text{atracción de la zona } j}{\text{atracción extraída de la matriz actual}} \quad (3-35)$$

$$E_j^{Gen} = \frac{\text{generación asociada a la población de la zona } j}{\text{generación extraída de la matriz actual}} \quad (3-36)$$

Los coeficientes asociados a las restricciones de atracción y generación:

$$\boldsymbol{\gamma} = \boldsymbol{\Phi}^T \cdot \mathbf{E}^{At} \quad (3-37)$$

$$\boldsymbol{\beta} = \boldsymbol{\Theta}^T \cdot \mathbf{E}^{Gen} \quad (3-38)$$

Siendo $\boldsymbol{\Phi}$ la matriz de incidencia destinos-pares OD asociada a las atracciones y $\boldsymbol{\Theta}$ matriz de incidencia orígenes-pares OD relacionada con las generaciones.

Con este parámetro se modifica la *matriz* de tal forma que esta quedaría como:

$$g_p^{i+1} = \gamma_p \cdot g_p^i \quad (3-39)$$

$$g_p^{i+1} = \beta_p \cdot g_p^i \quad (3-40)$$

Este algoritmo se ejecuta en bucle hasta obtener valores de error lo suficientemente pequeños como para asegurar la convergencia del problema.

3.2.3.2. Problemáticas del ajuste

El algoritmo anteriormente explicado contiene un conjunto de restricciones que se asemeja a un sistema de ecuaciones lineales, el cual debería ser compatible para asegurar al menos una solución. Para determinar existencia de una o infinitas soluciones o la detección de la incompatibilidad del sistema se utiliza el *Teorema de Rouché-Fröbenius* [30].

Dado un sistema de m ecuaciones lineales con n incógnitas:

$$\left. \begin{aligned} a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + \dots + a_{1n} \cdot x_n &= b_1 \\ a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + \dots + a_{2n} \cdot x_n &= b_2 \\ &\vdots \\ a_{m1} \cdot x_1 + a_{m2} \cdot x_2 + \dots + a_{mn} \cdot x_n &= b_m \end{aligned} \right\}$$

La condición necesaria y suficiente para que un sistema de ecuaciones lineales ($Ax = b$) sea compatible es que el rango de la matriz de los coeficientes de las incógnitas (A) sea igual al rango de la matriz ampliada con los términos independientes ($A|b$). Es decir: **rango (A) = rango (A|b)**.

La compatibilidad del sistema no asegura la existencia de una única solución, de tal forma que:

*Si rango (A) = rango (A|b) = n El sistema es **Compatible determinado** (solución única)*

*Si rango (A) = rango (A|b) < n El sistema es **Compatible indeterminado** (∞ soluciones)*

Se decide extraer el rango de las matrices del sistema de ecuaciones lineal que es resuelto en el algoritmo (ecuación 3-26).

$$\begin{aligned} \mathbf{v} &= \boldsymbol{\Gamma}^T \cdot \mathbf{g} && \text{Restricción Aforos} \\ \Delta_b \cdot \mathbf{g} &= P_b \cdot T && \text{Restricción Histograma} \\ \boldsymbol{\Theta} \cdot \mathbf{g} &= X_{pob} \cdot T && \text{Restricción Población} \\ \boldsymbol{\Phi} \cdot \mathbf{g} &= \mathbf{b}^{at} && \text{Restricción Empresas} \end{aligned} \quad (3-41)$$

$$\text{rango} \begin{bmatrix} \boldsymbol{\Gamma}^T \\ \Delta \\ \boldsymbol{\Theta} \\ \boldsymbol{\Phi} \end{bmatrix} = 331 = \text{rango} \begin{bmatrix} \boldsymbol{\Gamma}^T & v_a \\ \Delta & P_b \cdot T \\ \boldsymbol{\Theta} & X_{pob} \cdot T \\ \boldsymbol{\Phi} & b^{at} \end{bmatrix} < \text{dimensión}(g) \quad (3-42)$$

Como se observa, el rango de ambas matrices coincide; además el número de incógnitas es considerablemente mayor que el rango, por ello, el sistema es compatible y altamente indeterminado, lo que se traduce en infinitud

de soluciones al sistema de ecuaciones. Sin embargo, el problema de optimización diseñado para estimar la matriz de demanda de la bicicleta incluye una restricción adicional referente a volúmenes reales en los arcos ($g_p \geq 0$). La existencia de infinitas soluciones al sistema (3-41) no garantiza que entre dichas soluciones exista alguna que sea factible en el problema de optimización, es decir, que verifique el sistema con un flujo positivo o nulo para todos los pares Origen-Destino. De hecho, aplicando para su resolución el algoritmo de equilibrado iterativo [31], que como demostró Bregman [29] converge a la solución óptima si ésta existe, se obtienen los siguientes valores de error de cada restricción (sumatorio del error cuadrático medio en cada bloque de restricciones):

Tabla 3-9. Errores asociados a las restricciones

Restricción	Error asociado
Histograma	2.1613×10^{-23}
Aforos	3.1254×10^{-7}
Población	769593
Atracción	1.7092×10^7

Como se observa, se obtienen errores inadmisibles, pues los valores que proporciona el ajuste en cuanto a aforos y atracción se alejan bastante de la información real. Con el fin de conseguir un buen ajuste de la matriz, se decide hacer un pequeño análisis de cada una de las restricciones que impiden la convergencia del algoritmo. Se comprueba que, eliminando cualquier bloque de restricciones del problema, este converge a una solución que verifica simultáneamente todas las restricciones vigentes. Sin embargo, al imponerse todos de forma simultánea se obtienen los valores de error ya mostrados en la Tabla 3-9. Se procede a un proceso de análisis a un nivel de restricción en lugar de bloques de restricciones, comprobando que el problema es muy sensible al conjunto de aforos impuesto. Por eso se procede al siguiente proceso:

- **Localizar los aforos que inestabilizan el sistema.**

Para la localización de los mismos se eliminan aforos del ajuste hasta que este converge. Como resultado, se obtiene que el aforo que impide la convergencia del algoritmo es el Eco-contador 8 localizado en “Reina Mercedes”.

No incluir el aforo 8 en el ajuste, significa que no se va a obtener el volumen real observado, sin embargo, podría darse el caso de que el volumen obtenido en ese arco sin imponer su valor en el conjunto de restricciones fuera relativamente parecido al valor observado. Si se extrae el valor asignado en este caso, se observa una diferencia que impide la elección de esta opción de ajuste, pues los volúmenes obtenidos se multiplican por 6 y, por tanto, no se puede considerar como un error aceptable.

Tabla 3-10. Volúmenes y error asociado al eco-contador 8

Eco-contador	Volumen observado	Volumen tras el ajuste	Error asociado
8	1112.1	5994	4.7666×10^7

Tras analizar este caso con el fin de identificar las razones que impidan la convergencia del problema, se concluye que este aforo sufre el llamado “efecto conector”. El arco aforado se encuentra muy próximo al centroide que representa Reina Mercedes. El efecto conector se produce como consecuencia de la simplificación de la red en un modelo macroscópico. Debido a la división del área de estudio en las llamadas zonas de transporte o TAZs, en teoría homogéneas y con los mismos usos de suelo, y a la concentración de todos los Orígenes-Destinos de viajes de las zonas en un mismo punto llamado centroide, existe una concentración de flujo artificial introducida por estas simplificaciones en los puntos donde los centroides se conectan a la red a través de los conectores. En las cercanías de esos puntos de unión a la red se asume que el modelo no es correcto, diluyéndose el error conforme se aleja el foco de dicho punto. Un aforo que esté demasiado cerca del centroide no debería nunca como medida de calibración del modelo, ya que se sabe que está “contaminado” con una concentración irreal de flujo al agregar todos los Orígenes-Destinos de la zona en un único punto. Por ello, los volúmenes asociados al ecocontador 8 no deben tenerse en cuenta para realizar el ajuste de la matriz.

Si se realiza el ajuste de la matriz eliminando la restricción asociada a este ecocontador, el sistema converge,

pues se cumplen el resto de las restricciones, obteniendo los errores presentados en la Tabla 3-11.

Dado el buen comportamiento del algoritmo en este caso, se decide utilizar la matriz de viajes obtenida de este ajuste (apartado 533.2.4).

3.2.4. Resultado del ajuste

Del ajuste, se extrae una matriz la cual ha sido modificada teniendo en cuenta las restricciones mostradas en el apartado 3.2.2.4.2 y con las modificaciones pertinentes expresadas en el apartado 3.2.3.2 con el fin de simular lo máximo posible el reparto modal existente de la bicicleta. Finalmente, se obtienen los siguientes errores:

Tabla 3-11. Errores asociados a las restricciones

Restricción	Error asociado
Histograma	3.5029×10^{-23}
Aforos	1.8010×10^{-21}
Población	3.1540×10^{-24}
Atracción	3.7184×10^{-24}

En la Figura 3-19 se pueden observar la matriz base de la que se parte y la matriz ajustada.

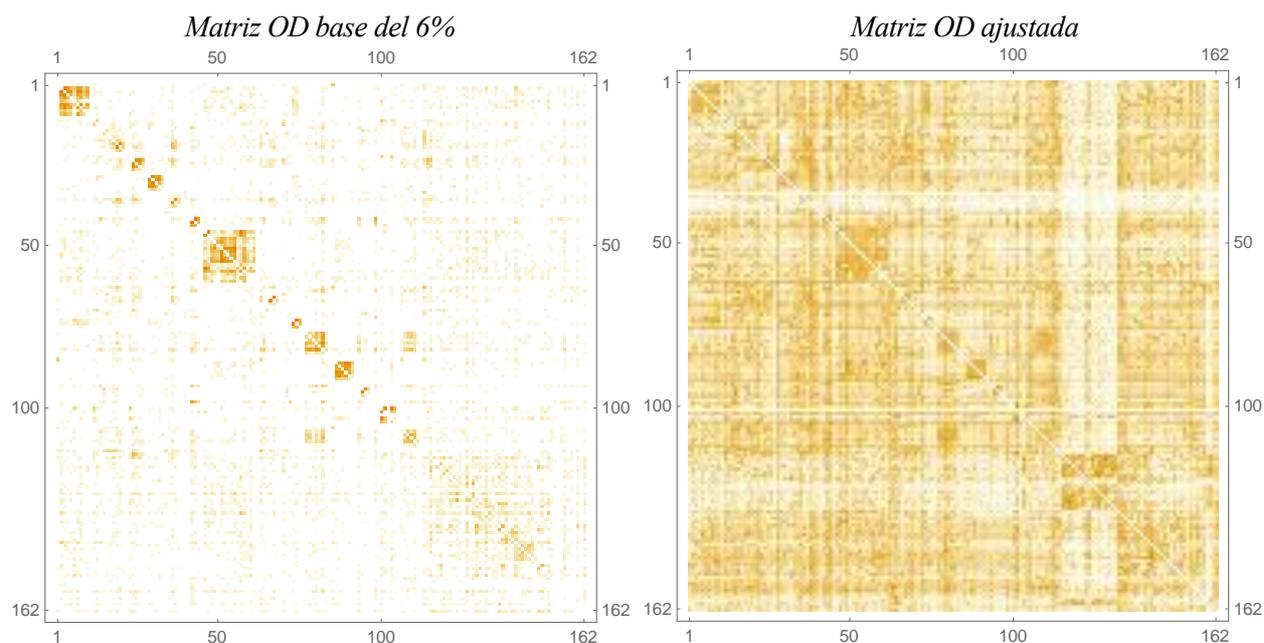


Figura 3-19. Matriz OD antes y después del ajuste

Como se aprecia, la matriz ajustada presenta una mayor distribución de la demanda, lo que se traduce en una matriz más completa. Cabe destacar que, a pesar de existir un aparente mayor reparto de usuarios, la matriz ajustada presenta un valor máximo aproximado de demanda de 880 usuarios, frente a los 400 de máxima que se puede encontrar en la matriz base.

Analizando los demandantes de cada par que forma la matriz, se extraen la Tabla 3-12 y la Figura 3-20, donde se puede observar que la distribución de la demanda entre ambas matrices es parecida, y se determina que la razón de obtener una matriz aparentemente más completa es debido a la no existencia de valores nulos en la matriz ajustada, pues debido al proceso matemático realizado, se obtienen valores de demanda pequeños, pero nunca nulos.

Tabla 3-12. Distribución de la demanda de la matriz base y ajustada

Rango demandantes	Pares (matriz base)	% Matriz base	Pares (matriz ajustada)	% Matriz ajustada
<1	20191	77.41%	22002	84.36%
1-15	5076	19.46%	3197	12.26%
15-30	435	1.67%	402	1.54%
30-60	192	0.74%	258	0.99%
60-100	80	0.31%	101	0.39%
100-200	77	0.30%	79	0.30%
200-400	30	0.12%	35	0.13%
400-650	1	0.00%	5	0.02%
>650	0	0.00%	3	0.01%
Σ	26082	100.00%	26082	100.00%

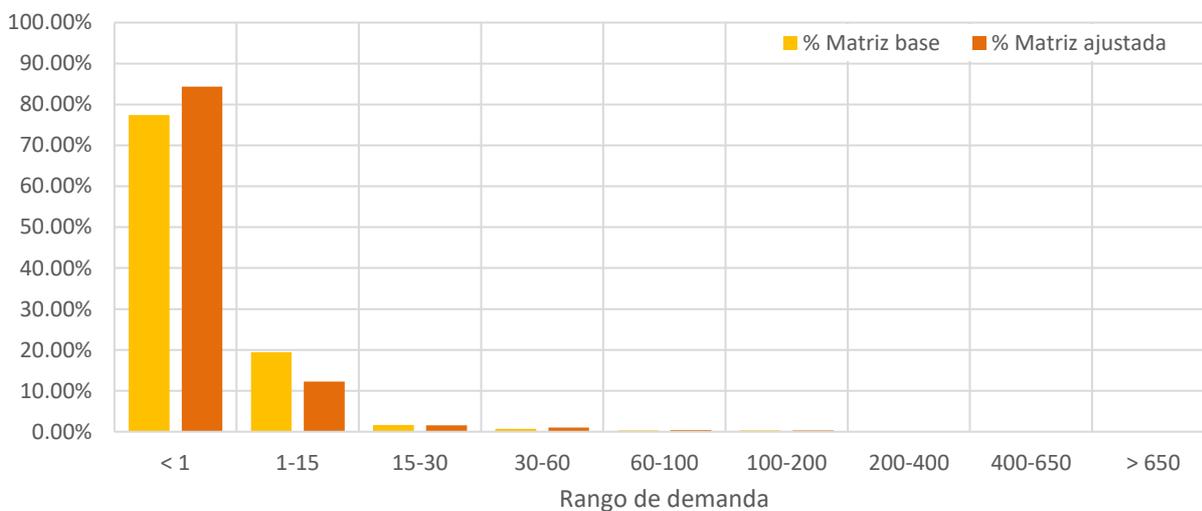


Figura 3-20. Distribución de la demanda de la matriz base y ajustada

En la Figura 3-21 se muestra la diferencia entre la matriz ajustada y la matriz base. Se destacan los valores de máxima diferencia, los cuales llegan hasta los 630 usuarios en algunos pares.

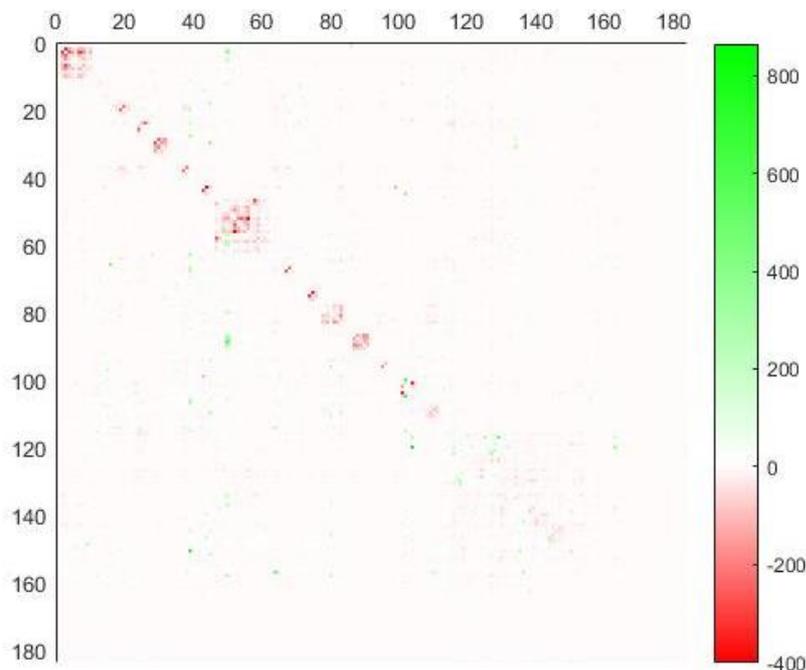


Figura 3-21. Diferencia entre matrices

En cuanto al histograma de viajes obtenidos, se aprecia como cumple perfectamente la restricción impuesta.

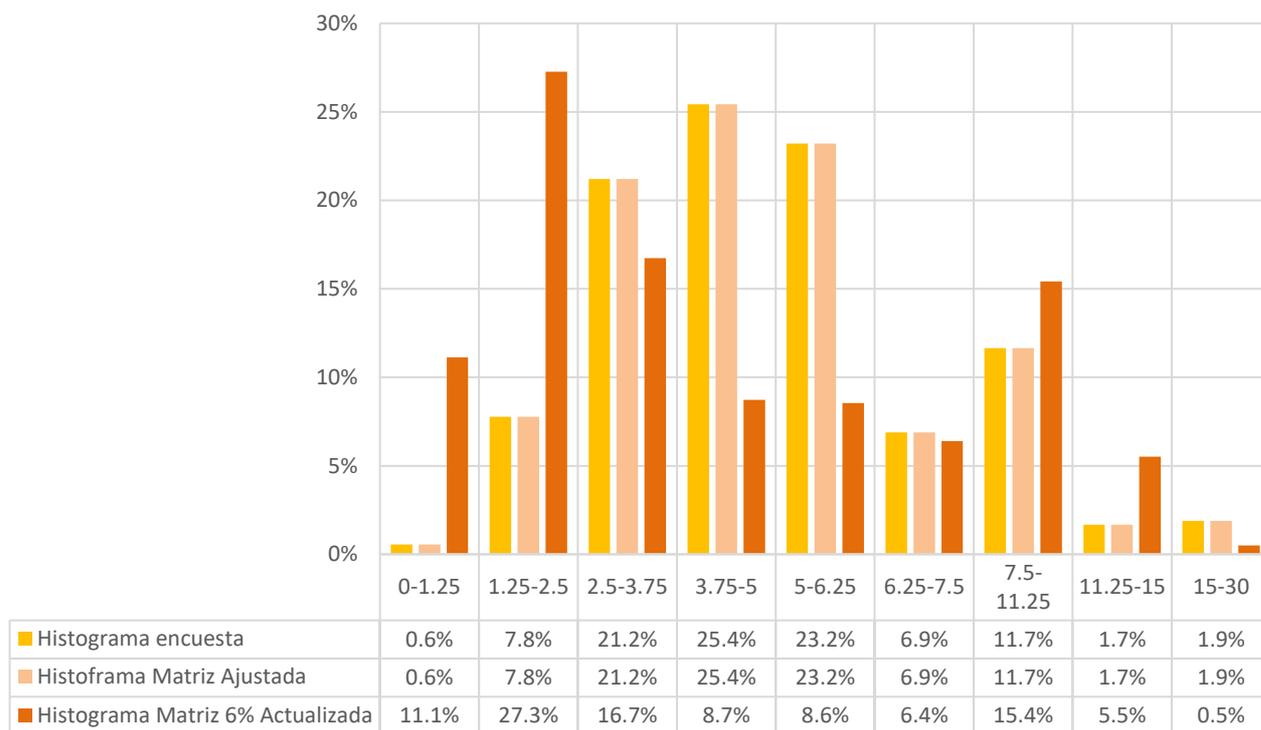


Figura 3-22. Histogramas extraídos de encuestas, de la matriz ajustada y la del 6% actualizada (apartado 3.1.2)

4. ASIGNACIÓN

Uno de los objetivos principales de este TFM versa sobre la simulación del tráfico a escala macroscópica, por ello, es necesario realizar la asignación de la matriz a fin de poder obtener los volúmenes en los arcos que conforman la red bici en Sevilla. Para todo ello se hace uso de diferente información, la cual será explicada dentro de este mismo apartado:

- Red bici de la zona en estudio
- Centroides
- Zonas de transporte (zonificación)
- Matriz OD

4.1. Introducción al problema de asignación

La formulación matemática anterior muestra la condición de equilibrio de usuario determinista basado en el modelo de optimización de Beckmann et al. (1956) [27].

Con el fin de entender dicha formulación, así como el concepto de equilibrio de usuario, se define, a continuación, las diferentes variables que intervienen en el problema, así como la notación empleada.

La Red de Bicicleta está conformada por:

- Conjunto de arcos direccionales ($a \in A$), los cuales simbolizan las vías de la red que solo permiten un modo de transporte (la bicicleta).
- Conjunto de nodos ($i \in N$), en representación de las intersecciones entre arcos, los orígenes y destinos de los viajes.

La demanda puede ser representada por:

- T , matriz de viajes, donde T_{ij} hace referencia al número de viajes que se da entre el origen i y el destino j .
- g , vector de demanda, es decir, la matriz OD en formato vectorial, siendo g_p la demanda correspondiente al par p ($p \in P$), donde P recoge los distintos pares OD que componen el sistema.
- h , vector de flujo en todos los caminos de la red, donde h_k representa el flujo en el camino k ($k \in K$), donde K contiene todas las rutas de la red. El valor del flujo en una red siempre debe ser positivo.

$$\sum_{k \in K_p} h_k = g_p \quad \forall p \in P \quad (4-1)$$

$$h_k \geq 0 \quad \forall k \in K \quad (4-2)$$

- v , vector de flujos de todos los arcos de la red, donde v_a representa el volumen en el arco a ($a \in A$).

$$v_a = \sum_{p \in P} \sum_{k \in K_p} \delta_{ak} \cdot h_k \quad \forall a \in A \quad (4-3)$$

$$\delta_{ak} = \begin{cases} 1 & \text{Si el camino } k \text{ contiene al arco } a \\ 0 & \text{e. o. c} \end{cases}$$

De las relaciones anteriores se pueden extraer dos matrices de incidencia:

- Matriz de incidencia Γ , la cual relaciona los pares OD con los caminos, por tanto, sus dimensiones son $|P| \times |K|$, siendo $|P|$ el número de pares OD y $|K|$ el número de rutas. Conociendo esta matriz de incidencia, la restricción (4-1) puede escribirse de forma matricial como:

$$g = \Gamma \cdot h \quad (4-4)$$

- Matriz de incidencia Λ , la cual relaciona los arcos con los caminos, por tanto, sus dimensiones son $|A| \times |K|$, siendo $|A|$ el número total de arcos y $|K|$ el número de rutas. Conociendo esta matriz de incidencia, la restricción (4-3) puede escribirse de forma matricial como:

$$v = \Lambda \cdot h \quad (4-5)$$

La elección de ruta está asociada al coste de la misma; por ello, se definen las siguientes magnitudes relativas al coste:

- s , coste de los arcos, donde s_a es el coste asociado al arco a ($a \in A$).
- c , coste de las diferentes rutas, donde c_k es el coste asociado a la ruta k ($k \in K$). El coste de cada ruta se basa en la suma del coste (no negativo, relación (4-8)) de cada uno de los arcos que la conforman. Se da la posibilidad de establecer el formato matricial del coste por medio de la matriz de incidencia que relaciona los arcos con los caminos como se observa en la relación (4-7).

$$c_k = c(h) = \sum_{a \in A} \delta_{ak} \cdot s_a(v_a) \quad \forall k \in K \quad (4-6)$$

$$c(h) = \Lambda^T \cdot s(v) \quad (4-7)$$

$$c_k \geq 0 \quad (4-8)$$

- U , coste mínimo de los pares OD, donde U_p es el coste mínimo asociado a las rutas que unen el par p ($p \in P$), es decir, el coste mínimo para realizar el viaje p . Dada la condición (4-8) y la relación (4-9), se establece la restricción (4-10).

$$U_p = \min c_k \quad \forall k \in K_p \quad (4-9)$$

$$U_p \geq 0 \quad (4-10)$$

La asignación del tráfico está sujeta al comportamiento de los usuarios, y esta se atribuye principalmente a Wardrop (1952) [32], quien lanza dos principios de equilibrio los cuales minimizan el coste total de viajes basándose en la conducta de los usuarios. Estos dos principios son los siguientes:

1. Equilibrio de Usuario: "Ningún usuario puede mejorar su tiempo de viaje o costo generalizado cambiando unilateralmente de ruta".
2. Sistema óptimo: "En el equilibrio el tiempo de viaje medio es mínimo".

Como se ha comentado con anterioridad, se pretende cumplir con el Primer Principio de Wardrop (Principio de equilibrio de usuario). Este principio conlleva la diferenciación entre dos grupos de rutas, aquellas que son mínimas y, por tanto, serán elegidas por los diferentes usuarios, mientras que el segundo grupo está formado por las rutas que no son atractivas, es decir, aquellas que no serán utilizadas por los usuarios.

$$\begin{aligned} \text{Si } h_k > 0 &\Rightarrow c_k = U_p \\ \text{Si } h_k = 0 &\Rightarrow c_k \geq U_p \end{aligned} \quad \forall \begin{cases} k \in K_p \\ p \in P \end{cases} \quad (4-11)$$

$$c_k \geq 0, \quad U_p \geq 0$$

Esta idea hace necesaria la inclusión de las siguientes **hipótesis del equilibrio de tráfico**, las cuales implican que el modelo es determinista:

- Cada viajero debe tener información completa y precisa de todos los caminos disponibles y sobre sus características.
- El patrón de flujos sobre la red es estable en el tiempo, por ello, el usuario puede hacer uso de su experiencia para la planificación del viaje.

Como se comentó con anterioridad, se utiliza la Transformada de Beckmann et al. (1956) [27], la cual permite formular el modelo de equilibrio de red como un problema de optimización:

$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z &= \sum_{a \in A} \int_0^{v_a} s_a(x) dx \\
 \text{s. a } \sum_{k \in K_p} h_k &= g_p & \forall p \in P \\
 v_a &= \sum_{k \in K} \delta_{ak} \cdot h_k & \forall a \in A \\
 h_k &\geq 0 & \forall k \in K
 \end{aligned} \tag{4-12}$$

El problema que se presenta en la formulación (4-12), se aprecia la existencia de una función objetivo sujeta a una serie de restricciones:

- **Función objetivo convexa:** se conoce como la *Transformada de Beckmann*, donde se asumen costes separables, y, por tanto, se establece que el flujo es la única variable que interviene en el cálculo del coste de cada arco.

Para garantizar que la función objetivo sea convexa, se impone que el coste de cada arco sea positivo y monótonamente creciente con el flujo. [33]

- **Restricciones:** cada una de estas restricciones imponen ideas anteriormente comentas:
 - **Restricción** $\sum_{k \in K_p} h_k = g_p$: imponen la obligatoriedad de que los flujos en los caminos reproduzcan la matriz OD.
 - **Restricción** $v_a = \sum_{k \in K} \delta_{ak} \cdot h_k$: representa relaciones de incidencia, es decir la relación entre los volúmenes en los arcos y los flujos en los caminos.
 - **Restricción** $h_k \geq 0$: no se aceptan valores negativos en los caminos.

La transformación de Beckmann no tiene interpretación física, ni desde el punto de vista económico ni desde el conductual. Es una construcción matemática que permite obtener un patrón de flujos en equilibrio (según el primer principio de Wardrop). Además, se da la unicidad en la solución del problema de equilibrio de usuario, dada la linealidad de cada una de las restricciones del problema, pero sólo en el caso de la formulación en volúmenes en arcos. Esta última idea es importante, pues la resolución del problema en caminos tiene asegurada la existencia, pero no la unicidad, ya que existen múltiples soluciones en caminos que reproduzcan el mismo vector de flujos en arcos y que sean una solución de coste mínimo.

4.2. Componentes de la red

4.2.1. Red de bicicleta en Sevilla

La red bici ha crecido bastante en los últimos 15 años, puesto que en 2004 se identifica la insatisfacción de muchos ciudadanos con las diferentes opciones de movilidad existentes en aquel entonces. Por ello, entre 2006 y 2007 se construye la Red Básica de bicicletas en Sevilla (77 km), y sobre la que se apoyan las Redes Complementarias construidas hasta la actualidad, conformando un total de 180 km como se comentó en el apartado 3.1.2.

Contabilizando la zona centro dentro de la red de bicicleta se consigue un total de 203 km aproximadamente.

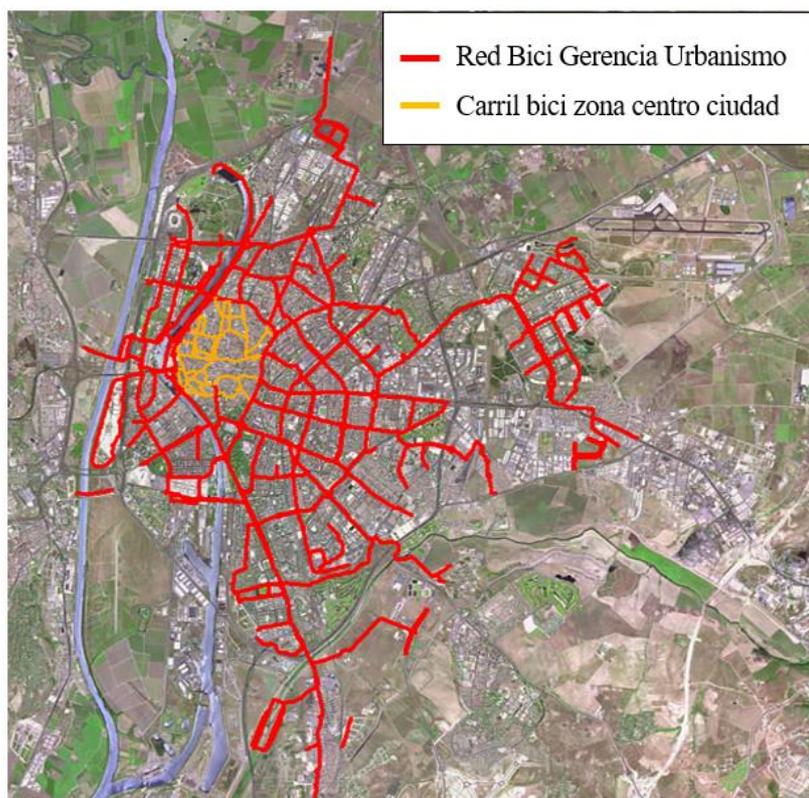


Figura 4-3. Red bici utilizada en la asignación

A la hora de realizar la asignación, es muy importante tener en cuenta la dirección de tránsito de cada una de las vías, por ello se representa en la siguiente figura las vías de uno o ambos sentidos. Se obtiene un total de 167 km de carril bici de ambos sentidos de circulación y 36 de un único sentido.

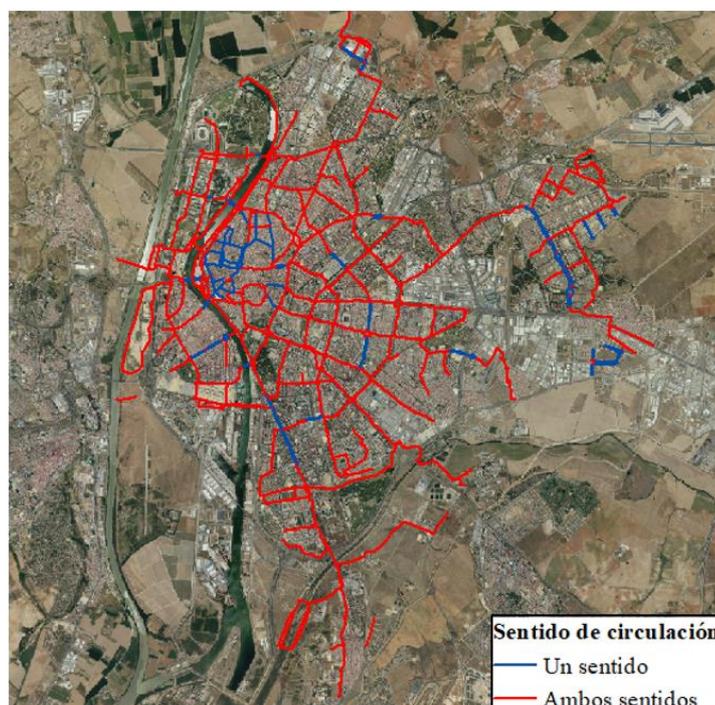


Figura 4-4. Sentido de circulación de la Red de Bicicleta

La pendiente de las vías también sería un factor fundamental a tener en cuenta, puesto que puede ser un factor determinante a la hora de elegir una u otra ruta, sin embargo, Sevilla por lo general es bastante plana, no siendo

un componente imprescindible a tener en cuenta por los usuarios en estudio. Como se comentará más adelante (véase apartado 5.3), el hecho de que la red de bicicletas de Sevilla sea principalmente plana lleva asociado que los usuarios no tengan que desarrollar gran esfuerzo físico para realizar sus trayectos, debido a una baja ganancia en altura.

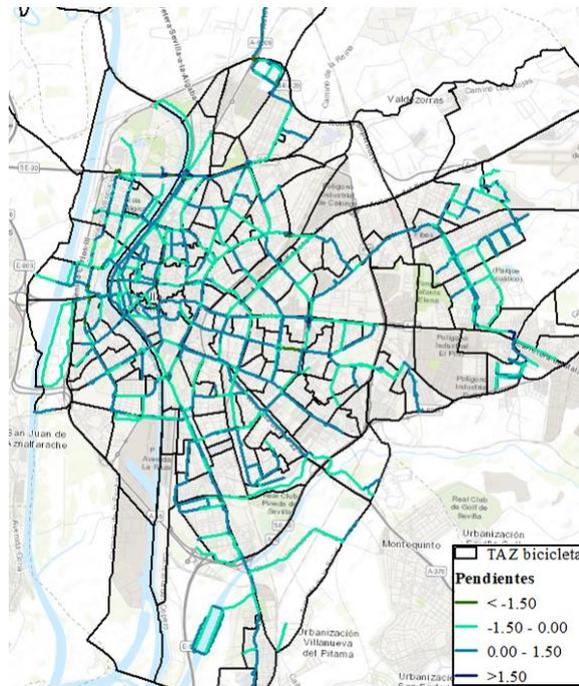


Figura 4-5. Pendientes de la Red de Bicicleta

4.2.2. Zonas de análisis de transporte

Las zonas de análisis de transporte se definen lo más homogéneamente posible teniendo en cuenta la densidad de población, las actividades que se desarrollan y los usos de suelo, por tanto, están muy relacionadas con las variables socioeconómicas. Tener definidas las zonas de análisis de transporte en un estudio es muy importante, puesto que es la unidad geográfica que representa el origen o destino de los usuarios que realizan el desplazamiento.

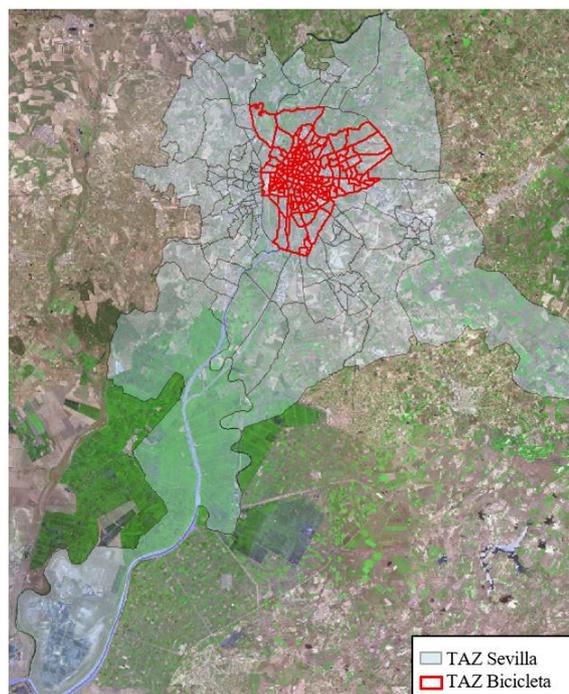


Figura 4-6. Macrozonificación de Sevilla

En este caso, y dado que se realiza una macrosimulación, se dispone de la zonificación del Área Metropolitana de Sevilla utilizada para el estudio de movilidad que se realizó tras la Encuesta Domiciliaria de Movilidad de 2007, compuesta por 271 macrozonas, pero de las cuales solo se hace uso de los 162 del municipio de Sevilla, dado que actualmente el transporte interurbano en bicicleta es absolutamente minoritario.

4.2.3. Centroides

Cada una de las TAZ representadas con anterioridad, llevan asociado un Centroide. Estos son unos puntos por los cuales se simplifica la realidad, puesto que representan a la zona de análisis de transporte en la simulación a realizar, lo que significa que todos los usuarios que en la realidad tienen su mismo origen o destino en algún punto de una misma zona de transporte, en la simulación macroscópica comenzarán o finalizarán su viaje en un mismo punto, el centroide de la zona origen o destino, respectivamente. Los centroides llevan asociado un conector, el cual es un arco ficticio que le permite la conexión con la red de transporte.

De lo anterior es posible extraer la problemática de la simplificación realizada, pues se están concentrando todos los usuarios que están asociados a un centroide en un único punto de la red, pudiéndose obtener concentraciones de usuarios donde realmente no existen. Por ello, es importante localizar los arcos susceptibles de sufrir esta dificultad.

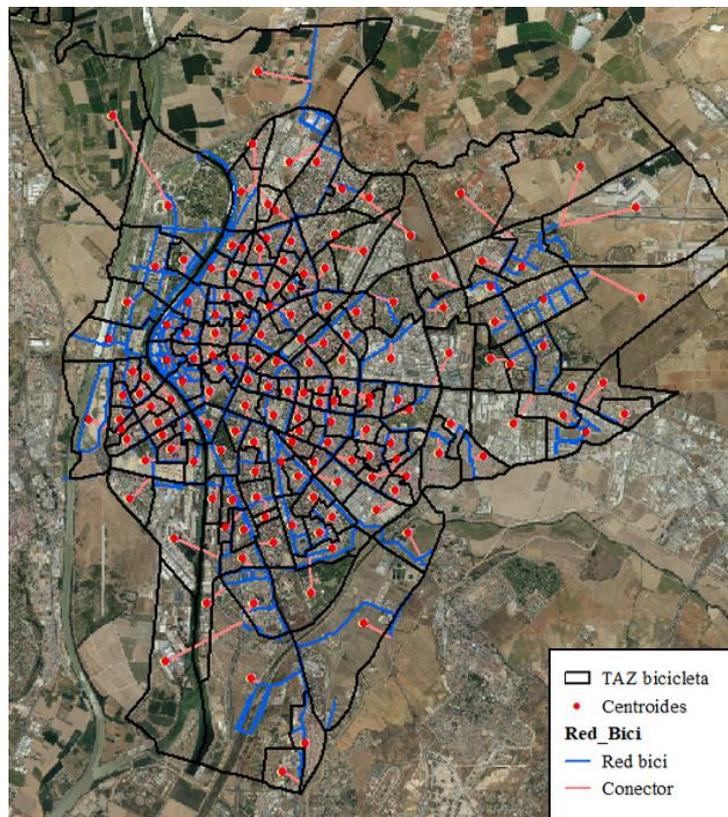


Figura 4-7. Red de transporte y Centroides

4.3. Método de asignación

El método de asignación utilizado es conocido como “*All or Nothing*” (*todo o nada*), puesto que se asume que el sistema de transporte en bicicleta no está congestionado y que las decisiones tomadas por un usuario no afectan al resto. Si a la no congestión del sistema se le suma que todos los usuarios eligen su ruta bajo el criterio del menor costo, se obtiene que las funciones de demora no se encuentran influenciadas por el volumen en los arcos, y, por ello, las rutas mínimas entre cada par permanecen invariantes.

Esto es una asignación de no equilibrio (no es necesario establecer un equilibrio entre los usuarios que eligen una y otra ruta atendiendo a diferentes criterios).

4.4. Asignación: resultados

Una vez se dispone de toda la información anteriormente comentada y elegido el método de asignación, se procede con la asignación, para la cual se ha utilizado el programa *TransCAD*. El resultado de la misma se presenta en la Figura 4-8.

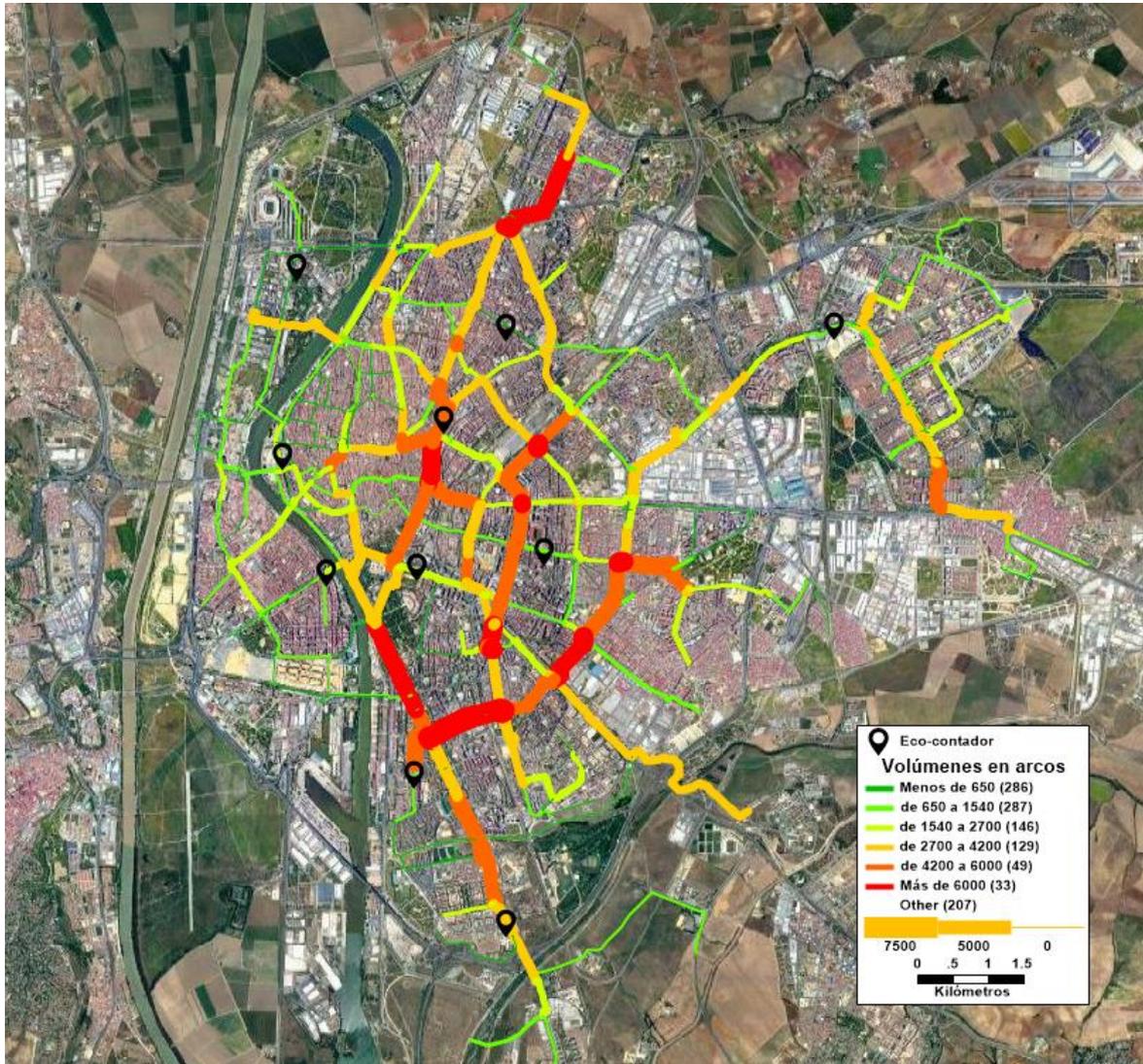


Figura 4-8. Resultado de la asignación

La comprobación de volúmenes con respecto a los reales es necesario para comprobar que el ajuste de la matriz se ha realizado de forma correcta:

Tabla 4-1. Error relativo de volúmenes aforados

Contador	contad01	contad02	contad04	contad05	contad06	contad07	contad09
	jardines	Avda. Llanes	Plaza Armas	Palacio Congressos	Plaza Cuba	S. Sebastián	E. Dato
Aforados	4315.3	577.7	1549.7	847.4	987.4	2694.3	1456.0
Asignados	4315.3	577.7	1549.6	847.4	987.4	2694.3	1456
Error relativo	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Como se puede observar, los errores son despreciables, por ello, se considera correcto el ajuste realizado.

En el siguiente capítulo, se utilizará esta información con el fin de obtener un mapa esquemático de líneas principales de bicicleta con el fin de incentivar el uso de la misma.

5. ESTRATEGIAS PARA FOMENTAR EL TRANSPORTE EN BICICLETA

Las políticas que impulsaron el uso del automóvil, como se comentó en el apartado 1, presentan un gran impacto no solo ambiental, sino también social y sobre la calidad de los espacios públicos. Las grandes ciudades pierden accesibilidad dada los niveles de colapso que presentan, además de empeorar la calidad de vida debido al ruido, la pérdida de seguridad vial y la contaminación en pleno centro ciudad. Es por ello, que muchas ciudades están intentando romper con el círculo vicioso del automóvil (Figura 1-1) para así potenciar otros modos de transportes, como el transporte público o la bicicleta.

En este caso, se analiza la bicicleta, de tal forma que se presentan una serie de estrategias y recomendaciones para intentar promover el uso de la misma, y llegar a alcanzar el nivel buscado en *Copenhague*, donde se busca que la bicicleta llegue a un reparto modal del 50%.

Todas las estrategias y promociones que se exponen deben estar apoyadas por las administraciones competentes, las cuales dependerán de la ideología política del país y del cumplimiento de las directivas europeas. A pesar de que la política es un pilar fundamental para llegar a ser una *ciudad verde*, esta no va a ser tratada en este Trabajo Fin de Máster, pues una mayor o menor promoción de la bicicleta dependerá del de la ideología de privatización de cada uno de los partidos existentes.

5.1. La bicicleta como modo de transporte

En los apartados anteriores se ha comentado vagamente algunos aspectos positivos del uso de la bicicleta. En este apartado se tratarán de forma más profunda, teniendo en cuenta no solo aquellos aspectos de mejora para el individuo, sino también para la ciudad, así como ciertos inconvenientes que puedan derivar en rechazo a este modo de transporte, y, por tanto, los que habrá que trabajar para hacer más llamativa la bicicleta.

En cuanto al individuo [1]:

- Autonomía, flexibilidad y accesibilidad: a diferencia del transporte público, la bicicleta está disponible en cualquier momento, y no está sujeta a horarios ni rutas fijas, dando total libertad al individuo que la utilice, al igual que el transporte privado. Además, todas las personas cuyo estado de salud se lo permita, puede utilizar la bicicleta, no existiendo una diferenciación por edades como ocurre con los vehículos motorizados.
- Fiabilidad y económica: dado que el sistema de transporte asociado a la bicicleta no está congestionado, los tiempos de viajes se mantienen, a diferencia del transporte privado. Además, esta requiere una menor inversión no sólo inicial, sino también de mantenimiento frente al automóvil.
- Eficacia: en distancias cortas, la bicicleta es más competitiva que el transporte público o privado.
 - o Para viajes menores de los 2 km la bicicleta presenta mayor competitividad que el automóvil, siendo un factor primordial el aparcamiento disponible. Para distancias menores que la presentada, los tiempos de viajes en ambos modos son parecidos, presentando la bicicleta mayor eficiencia a la hora de aparcar dada su ligereza y pequeñas dimensiones con respecto al automóvil.
 - o Para viajes menores de los 5 km, la bicicleta es más competitiva que el transporte público, pues como se ha comentado esta presenta mayor autonomía y flexibilidad. Para distancias mayores, el transporte público presenta ventajas, siendo lo óptimo la intermodalidad (situación win-win o de ganancia mutua).

Analizando las encuestas realizadas (apartado 2.4.3), en particular el histograma en distancias (Figura

3-10), aproximadamente el 25% de los viajes están por debajo de los 3 km y el 54% de los viajes menor de los 5 km de distancia, mostrando eficiencia hasta los 7km de distancia. Conociendo que la mitad de los trayectos urbanos en vehículo privado en España están por debajo de los 5 km, se puede establecer la bicicleta como una buena opción para realizar estos trayectos.

A pesar de estas ventajas, también se encuentran inconvenientes que general rechazo al uso de la bicicleta. Teniendo en cuenta diferente bibliografía [1] [8] y las encuestas realizadas a peatones (apartado 2.4.1), las razones que llevan a un individuo a no optar por este modo son:

- Condiciones climáticas
- Pendientes pronunciadas en el trayecto
- Incomodidad a la hora del transporte de mercancía o niños
- Preocupación por el robo

Estos son los principales puntos a tratar en las estrategias que serán expuestas posteriormente.

La bicicleta, no solo presenta beneficios para el usuario que la utiliza, sino que también presenta ventajas para el resto de la población, y, por tanto, para la ciudad, si y solo si esta es capaz de aumentar su reparto modal atacando al de los vehículos motorizados, es decir, solo si se da una transferencia de demanda de vehículos privados a la bicicleta. Estas son [35] [36] [37] [38]:

- Menor tasa de sedentarismo, lo que conlleva un aumento de la salud de la población.
- Menos contaminación (de agua, suelo y atmosférica) y ruido, lo que aumenta el bienestar social.
- Humanización, pues facilita el contacto interpersonal
- Mayor seguridad vial, pues se reduce el tráfico motorizado.
- Mayor disponibilidad de recursos al reducir el consumo de petróleo.
- Menor impacto sobre el territorio y mayor eficiencia, pues la bicicleta requiere menor ocupación del suelo urbano, además de menor mantenimiento, menor inversión inicial y apenas requiere gastos policiales, lo que conlleva a su vez un ahorro económico.

De aquí se extrae que la bicicleta es un modo de transporte bastante favorable y necesario teniendo en cuenta las situaciones desfavorables debido al tráfico motorizado que se están alcanzando en algunas ciudades españolas.

Para conseguir el cambio, es necesario establecer una serie de estrategias que busquen la movilidad sostenible. Como se ha comentado con anterioridad, estas no sólo deben estar enfocadas a la mejora o construcción de las infraestructuras existentes, sino también en un proceso de promoción el cual consiga la atracción de usuarios al uso de la bicicleta. Para ello, es necesario tener en cuenta los tres pilares de la movilidad sostenible:

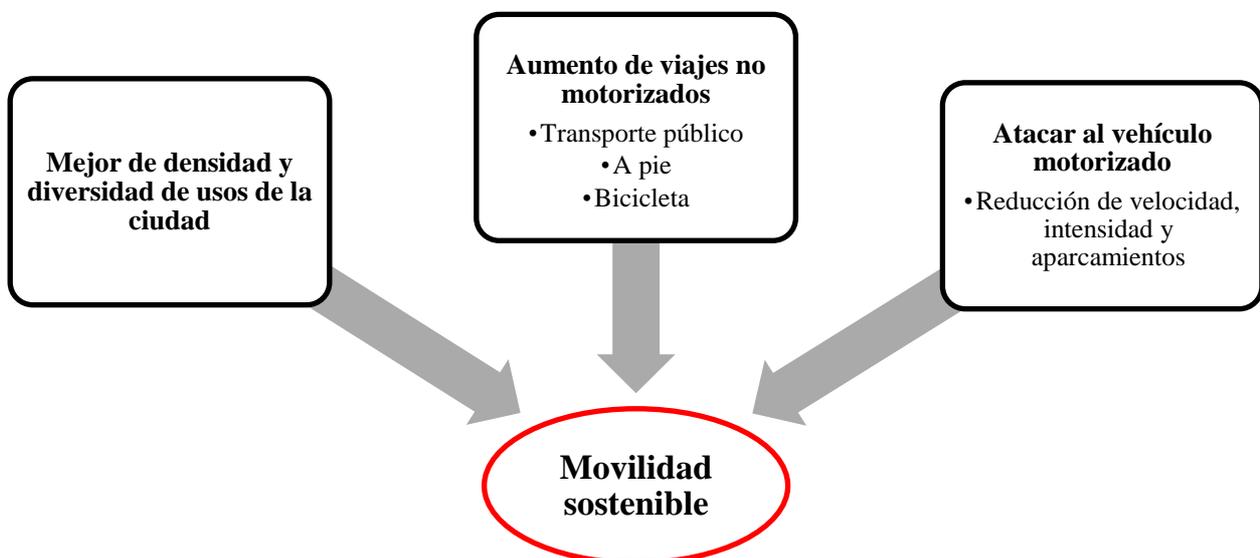


Figura 5-1. Estrategias para alcanzar la movilidad sostenible [1]

5.2. Estrategia para promover el uso de la bicicleta

En este apartado se exponen recomendaciones para incentivar el uso de la bicicleta. Estas versan sobre la infraestructura asociada a este modo, así como en políticas y promociones para estimular su uso.

5.2.1. Estudio de la población

Para poder captar mayor número de ciclistas en una ciudad y poder gestionar el cambio, es necesario estudiar a la población para conocer cuáles son sus motivaciones e impedimentos. Aunque las acciones y encuestas realizadas en otros países pueden ser de utilidad, no se aconseja tomar dichos datos como ciencia cierta, pues en cada zona hay matices, como la cultura, que pueden afectar sustancialmente al uso o no de la bicicleta.

Hay algo común en el ser humano a la hora de tomar decisiones, y es la necesidad de establecer costumbres a partir de prejuicios. Normalmente, cada usuario tiene sus hábitos, y son reacios al cambio, es por ello, que es necesario atacar dichas rutinas, con el fin de desplazarlo de su zona de confort y advertirle y mostrarle que no lo conocido o habitual no es lo más idóneo, pudiendo extraer mayores ventajas con otras costumbres.

Tomando como referencia lo estipulado por Icek Ajzen [39], los humanos toman sus decisiones en base a las normas subjetivas (relacionadas con la sociedad y cultura), a las creencias del individuo sobre el comportamiento (relacionada con la actitud y la experiencia) y a las creencias del individuo sobre el control (relacionada con el control percibido de la conducta), recogiendo todo esto en la **Teoría de la Acción Planificada (TPB)**, la cual afirma que el comportamiento está planificado y que, por tanto, puede ser predicho.

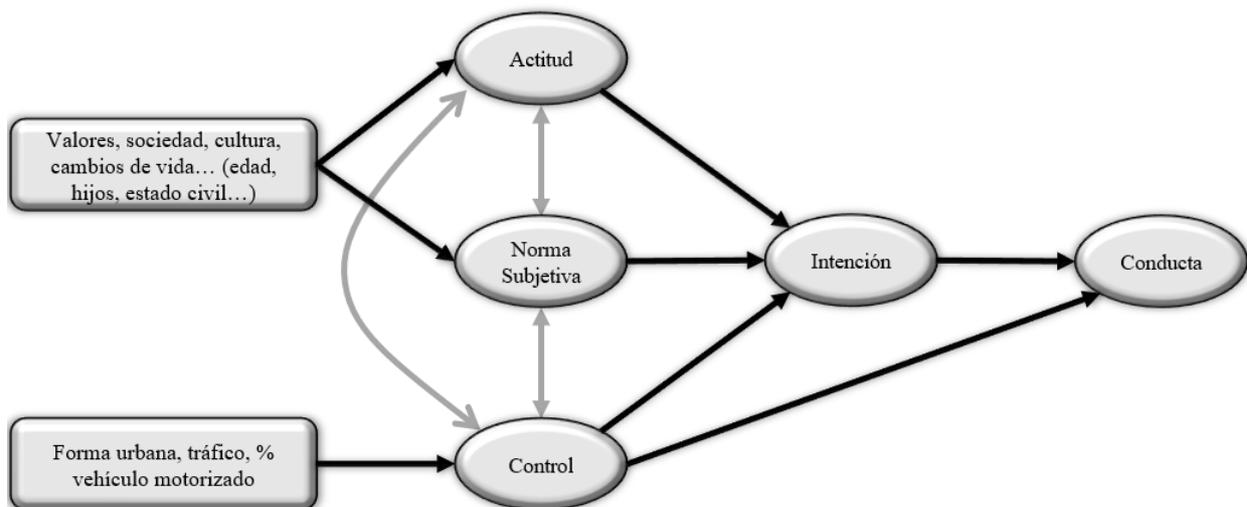


Figura 5-2. Teoría del Comportamiento Planeado

Para influir sobre la toma de decisiones, habría que actuar sobre los tres factores anteriormente mencionados, la actitud, las normas subjetivas y la percepción del comportamiento, a pesar de que los hábitos estén sujetos sobre todo con el último aspecto. Esto se puede conseguir de dos formas:

- Cambiando la percepción de los diferentes factores que intervienen en la decisión de elección de modo.
- Informando sobre cada uno de los modos de transporte, estableciendo sus ventajas e inconvenientes y así modificando el valor de la costumbre.

Además de los hábitos, otro factor a tener en cuenta en la toma de decisiones otro factor son los prejuicios. Normalmente, los individuos que no utilizan la bicicleta defienden que es un modo inseguro, que requiere un gran esfuerzo físico, no cómodo que no permiten el transporte de mercancías y niños, en el cual quedas expuesto a las condiciones meteorológicas y que no es tan rápido como otros modos. Todo esto lleva al rechazo de la bicicleta por ser un *modo poco efectivo*. Sin embargo, estos no son más que ideas preconcebidas, pues como se observa en la siguiente figura, la mayoría de estos prejuicios han sido reevaluados obteniendo valores positivos, según los datos extraídos por la *Comisión de las Comunidades Europeas (2000)*.

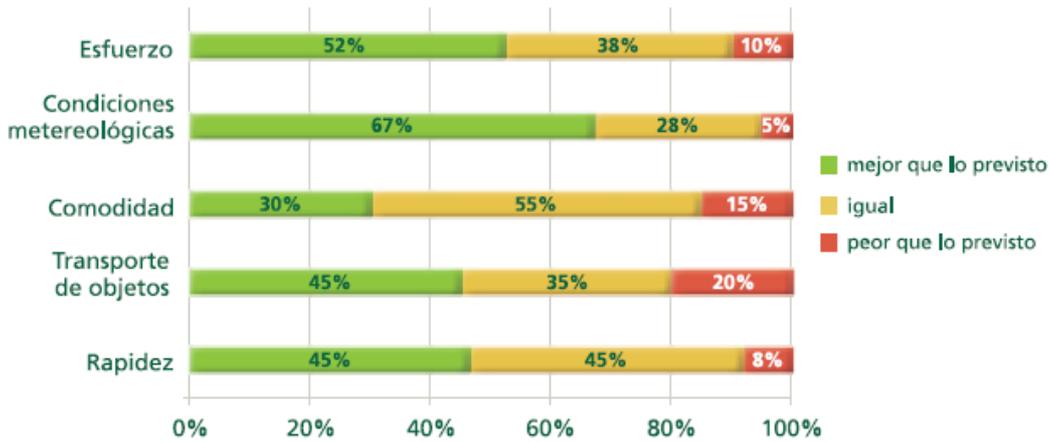


Figura 5-3. Reevaluación de algunos prejuicios por automovilistas obligados a recurrir a la bicicleta [1]

Atacar estos prejuicios es algo primordial, por ello, lo principal en una ciudad en inicio de desarrollo hacia un modo de transporte más ecológico es trabajar la concienciación y educación colectiva, con el fin de mejorar la imagen ciclista. Hay que convencer al usuario para que pruebe el nuevo modo de transporte con el fin de que la propia experiencia le lleve a repetir y así consolidar el reparto modal.

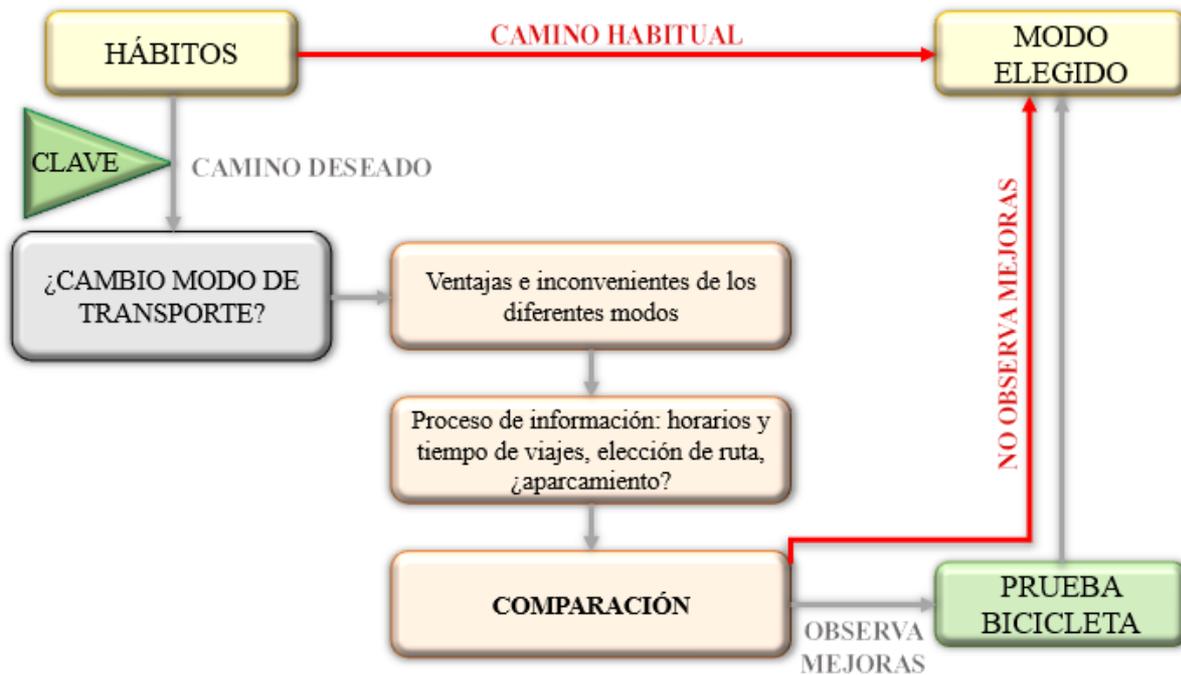


Figura 5-4. Modificación del modo de transporte habitual [1]

El hecho de buscar rápidas mejoras en un modo de transporte puede ser contraproducente, pues, por ejemplo, la construcción de una nueva red de transporte de forma urgente, puede llevar a tomar decisiones que comprometan la calidad del servicio, con el posterior fracaso de la infraestructura pues el usuario no va a encontrar mejoras sustanciales en aquellas barreras que son causantes de elegir un modo diferente al que se quiere incentivar. Es por ello, que es necesario prestar atención al proceso, no tomar decisiones sin haber realizado un estudio previo, pues un buen estudio tanto de la situación social, como de las costumbres y culturas llevarán al éxito del reparto modal ecológico.

Lo expuesto anteriormente se conoce como modificación positiva, y versa sobre un cambio de hábito mostrando al usuario las ventajas del modo que se quiere expandir y básicamente se busca informar al usuario. Por otro lado, existe la modificación negativa, la cual busca el cambio de costumbre mediante un ataque al mismo, ya sea porque el usuario se ve obligado a utilizar este nuevo modo de transporte, o por campañas de concienciación y sensibilización por la cual se cree rechazo al modo de transporte habitual.

Tomando de ejemplo a Copenhague, para incentivar al cambio, esta ciudad estableció restricciones a los

vehículos motorizados, reduciendo su espacio urbano para dedicarlo a otros modos más sostenibles y saludables, como son las bicicletas y los peatones. Algunas de las acciones empleadas en esta ciudad para atacar el vehículo motorizado son por ejemplo: la disminución de aparcamientos, la capacidad de carreteras, o incluso aumentando las tasas de estos hasta en un 150%. Todo esto ha llevado a que la población valore otros modos de transporte, optando por la bicicleta y conformando finalmente un reparto modal del 29% de este modo, con unas políticas y promociones que buscan alcanzar el valor del 50% de viajes realizados en bicicleta.

5.2.2. Políticas de actuación

Como se comentó en el apartado 1.1.2, cada ciudad es diferente y cada población tiene unos hábitos, costumbres y culturas distintas, es por ello, que las estrategias aplicadas en una ciudad no tienen por qué tener el mismo resultado en otra. Sin embargo, existen unas medidas comunes las cuales se recomiendan tomar en función de la fase en la que se encuentre la región de estudio (ver Figura 1-2), la cual depende del reparto modal de la bicicleta y el estado y calidad de la infraestructura asociada a este modo. Estos dos factores están relacionados, pues una infraestructura de baja calidad creará rechazo a los usuarios de la red, y, por tanto, la demanda de la misma disminuirá. En la siguiente figura se encuentran estas medidas, las cuales reclamarán un mayor o menor esfuerzo en función de la fase de la ciudad, no teniendo porqué ser este esfuerzo un sinónimo de inversión.

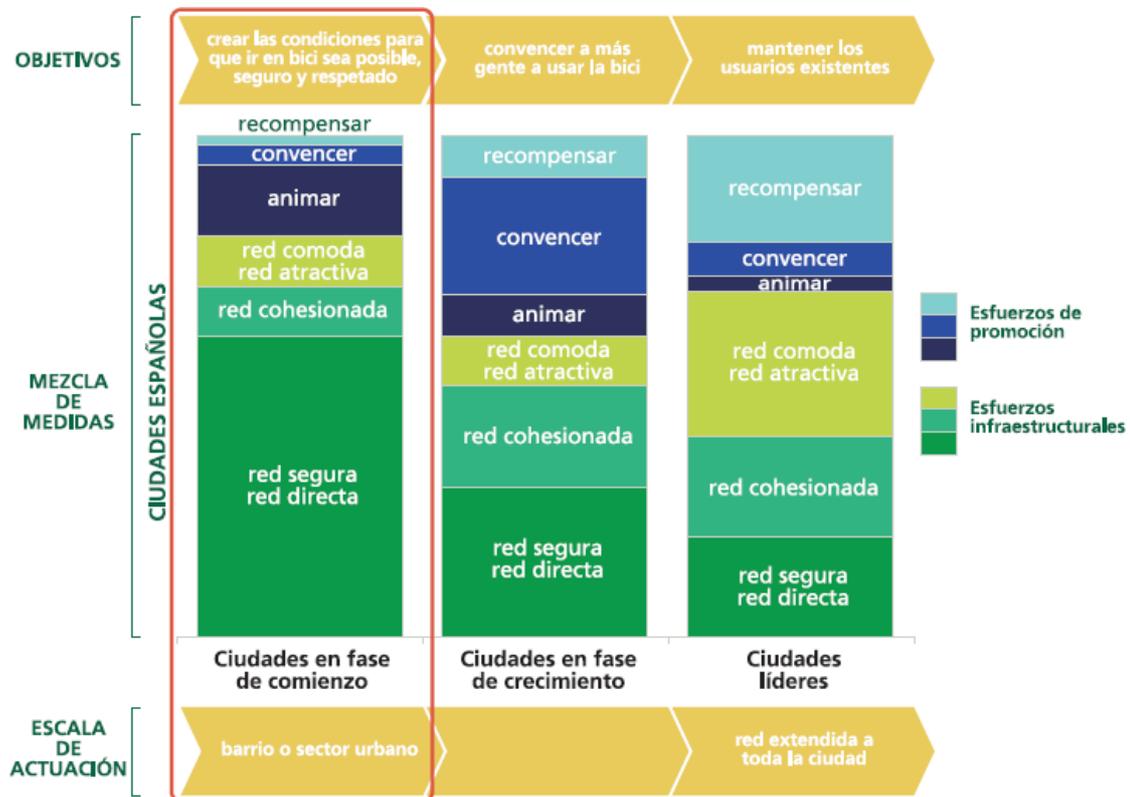


Figura 5-5. Tipología de estrategias a implementar según la etapa de desarrollo ciclista [1]

Teniendo en cuenta que las ciudades españolas aún se encuentran en la fase de comienzo y dadas las medidas recomendadas en la Figura 5-5, lo principal se basaría en la actuación sobre la infraestructura. La mejora de la infraestructura debe estar apoyada por la comunicación, pues la población debe ser informada sobre los nuevos aspectos que esta presenta, y así poder incitar al cambio de hábitos (Figura 5-4), sin embargo, la promoción de estas medidas deben de realizarse una vez se hayan estudiado las diferentes medidas, y se disponga de un plan de actuación, para así conseguir la máxima eficacia.

Las ideas anteriores se segmentan en tres puntos básicos de desarrollo:

- Mejora de las condiciones de la infraestructura de tal forma que se ataque la percepción de los usuarios con respecto a la bicicleta, para que los **prejuicios** que versan sobre la inseguridad e incomodidad desaparezcan. Las acciones principales de este bloque son: la reducción de velocidad de los vehículos motorizados, el mantenimiento de la red existente, buen diseño de intersecciones, aparcamientos disponibles y seguros, etc....

- Priorización de las actuaciones sobre la infraestructura, comenzando por aquellas que presenten una necesidad más inmediata. Para ello, se recomienda estudiar las diferentes opciones en función de barrios o sectores urbanos.
- Campañas de información, concienciación y sensibilización al usuario, por medio de actividades, eventos y publicidad, las cuales consigan hacer más atractiva la bicicleta, incitando al cambio.

En general, la aplicación efectiva de las medidas anteriores solo será posible si se realizan de forma combinada, es decir, se deben combinar las actuaciones sobre la infraestructura, las campañas de promoción y de la priorización y gestión de la demanda, de tal forma que se traten como un paquete integrados y coherentes de medidas. [1]

En la siguiente figura [1], se presentan ejemplos de acciones palanca para el fomento de la bicicleta:



Figura 5-6. Acciones palanca para el fomento de la bicicleta [1]

5.2.2.1. Actuaciones infraestructurales

Para que una ciudad presente una gran demanda de usuarios en bicicleta, esta debe disponer de una infraestructura segura y de calidad. Existen varias recomendaciones para poder alcanzar esta meta de forma óptima, siempre buscando un equilibrio entre los diferentes modos disponibles. Las recomendaciones para ello son:

- Estudiar a los usuarios potenciales de tal forma que se conozcan las necesidades de los mismos.
- Crear una red de transporte que permita rutas seguras, rápidas y directas.
- Estudiar las intersecciones y los puntos singulares de la red de forma independiente, de tal forma que para cada caso se obtenga la mejor solución posible, evitando así futuras inconformidades. Además, es primordial la ubicación estratégica de los aparcamientos, optimizando su volumen y nivel de seguridad asociado.

En cuanto a la red, se conocen dos tipologías principales:

- Red segregada, o también conocida como carril bici. Esta transmite mayor seguridad, comodidad y respeto hacia la bicicleta.
- Red integrada, en la cual se comparte la calzada con los vehículos motorizados.

Lo óptimo sería la construcción de una red en la cual se mezclaran ambas tipologías de red, ya que, aunque no se consiguiera tanta seguridad como se podría dar en una red únicamente segregada, se estaría consiguiendo la máxima accesibilidad posible, lo cual es otro factor importante a la hora de satisfacer al ciclista. Claramente, la elección de cada tipología en la ciudad está sujeta a una serie de condiciones:

- Red segregada en aquellas vías en las cuales se observe un gran volumen de tráfico, o cuya velocidad máxima permitida sea superior a los 50 km/h.
- Red integrada en vías donde los usuarios dispongan de unas condiciones de comodidad y seguridad adecuado, las cuales pueden ser conseguidas reduciendo las velocidades máximas del tráfico motorizado a los 30 km/h.

En la construcción o modificación de una red ciclista, hay que establecer criterios que busquen satisfacer las necesidades de los usuarios, que como se han comentado son la seguridad, comodidad, que permita realizar rutas directas, que esté cohesionada y sea atractiva, según algunos estudios basados en encuestas desarrollados en Holanda.

Para conseguir cada una de estas características que afiancen la calidad de la infraestructura se propone: [1]

- Seguridad: se puede conseguir realizando 3 acciones:
 - o Reducir la velocidad de los vehículos motorizados a 30 km/h.
 - o Construcción de carril bici (arcos segregados) en aquellas vías potencialmente peligrosas.
 - o Buena señalización en el caso de no poder construir carril bici cuando es necesario. Tratar los cruces de tal forma que se dispongan pasos elevados o inferiores, regulándolo con semáforos o disminuyendo la velocidad o volumen del tráfico motorizado.
- Comodidad: el usuario busca realizar el menor ejercicio físico y mental posible, así como evitar todo tipo de obstáculos, mal firme, un gran número de paradas que alarguen el tiempo de duración del viaje.
- Ruta directa: evitar rodeos entre orígenes y destinos, un gran número de cruces, semáforos, grandes pendientes, pues todo esto aumenta la duración del viaje, y, por tanto, se dará una menor demanda.
- Red cohesionada: todos los orígenes y destinos deben tener conexión, por ello, se debe asegurar la continuidad de la ruta. Problemas de conexión de algunos pares OD pueden ser solventados permitiendo una conexión con transporte público, que permita la intermodalidad de la ruta.
- La red debe ser atractiva: *ser agradables visualmente* de tal forma que se integre con el entorno, proveerla de buena iluminación que permita al usuario apreciar los obstáculos y señales en todo momento.

Todas estas recomendaciones permitirán establecer una red de calidad, siempre dependiendo del grado de cumplimiento de las mismas y de la categorización y cultura de la población, así como el nivel de importancia de las barreras existentes en la zona.

Otro factor importante en la mejora de la infraestructura es el apoyo mediante un sistema de bicicleta pública, donde el usuario rompe con las barreras relacionadas con el miedo al robo y a los problemas de aparcamiento.

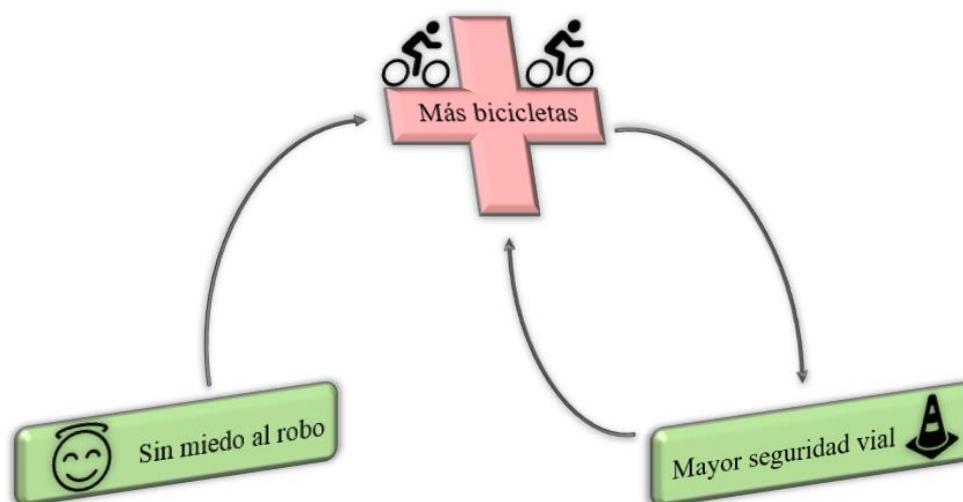


Figura 5-7. Síntesis de la contribución de la bicicleta pública a la promoción de la bicicleta

5.2.2.2. Promoción de la bicicleta

Como se comentó al principio de este apartado (695.2.2) toda infraestructura de calidad necesita de un proceso de información, concienciación y sensibilización, pues lo principal es romper con los hábitos y prejuicios de las personas para así tener mayores individuos potenciales de iniciarse en el mundo del ciclo-commuter.

La promoción de la bicicleta se enfoca en las siguientes tres estrategias:

- Percepción de las alternativas de modo: la captación de demanda se puede conseguir a través de la información.
- Los hábitos y costumbres: pueden ser atacados con campañas de sensibilización.
- Prejuicio de la bicicleta como modo de transporte urbano: el cual se puede trabajar a través de la práctica.

Atendiendo a estas estrategias, las actividades recomendadas son las siguientes: [1]

- Campañas de información y concienciación, por la cual se busca *atrapar* un nuevo público y van dirigidas a aquellos individuos que son potencialmente reclutables.
- Programas de formación y educación, dirigidas a individuos con un mayor potencial de uso de la bicicleta o que necesitan información y formación específica.
- Campañas personalizadas, donde se transmiten mensajes personalizados a personas las cuales se determinen que necesitan ser abordadas de manera diferente para que sea efectivo.

Otra acción a tener en cuenta a la hora de la promoción es el desarrollo de guías de bicicleta y de mapas de líneas, y se identifican como elementos obligatorios de la promoción de la bicicleta.

5.3. Sevilla como bicycle-friendly city

Sevilla, como se comentó en el apartado 1.1.2, con el Plan Director de la Bicicleta 2007-2010, consiguió aumentar el reparto modal en bicicleta hasta alcanzar un 6%, valor bastante alto en aquella época en España. Desde entonces, apenas se tiene información sobre el desarrollo y uso de la bicicleta en la ciudad, siendo evidente su descenso en el índice mostrado en la Figura 1-3, es por ello, que se necesita aumentar dicho valor, pues como se comenta a continuación, Sevilla cumple con unas condiciones favorables al uso de la bicicleta.

Tabla 5-1. Reparto modal de la bicicleta de algunas ciudades europeas [40]

<i>Ciudad</i>	Reparto modal: modo bicicleta
<i>Copenhague</i>	29%
<i>Ámsterdam</i>	32%
<i>Utrecht</i>	25%
<i>Barcelona</i>	2%
<i>Berlín</i>	13%
<i>Londres</i>	2%
<i>París</i>	3%
<i>Estocolmo</i>	4%
<i>Zúrich</i>	8%

Sevilla, presenta muchas similitudes con Copenhague, donde existe un 29% del reparto modal en bicicletas, relacionadas con la climatología, la topografía, la densidad poblacional y la extensión de la ciudad, todo esto en orientado en un sentido positivo hacia el uso de la bicicleta, pues muchas de las barreras presentes en los no usuarios no son aplicables en estas ciudades. A continuación, se mencionan algunas de estas características favorables al ciclismo:

- Topografía: Copenhague presenta la ventaja de presentar una topografía relativamente constante, esto significa que la región se considera potencialmente plana, con bajas pendientes. Sevilla, como se ha comprobado en el apartado 4.2.1 del presente documento, presenta valores de pendientes que raramente superan el 1.5%, por lo tanto, se destaca la similitud en este aspecto con Copenhague. Esta particularidad permite a los ciclistas realizar sin apenas esfuerzo físico, lo que facilita la atracción de usuarios hacia este modo.

- Climatología: Sevilla por lo general presenta mejor climatología que Copenhague.
 - Viento: La ciudad danesa presenta rachas de viento en invierno de hasta 35 km/h, aumentando la peligrosidad y esfuerzo del viaje. Sevilla, por el contrario, apenas se ve influenciada por este fenómeno.
 - Lluvia: en Copenhague se establece que, de los 365 días del año, de media llueven 171 días, lo que se traduce en casi un 50% de días lluviosos al año. Sevilla, igual que en el caso anterior, presenta ventajas en este aspecto para impulsar la bicicleta, pues la media de días lluvioso al año es de 84.

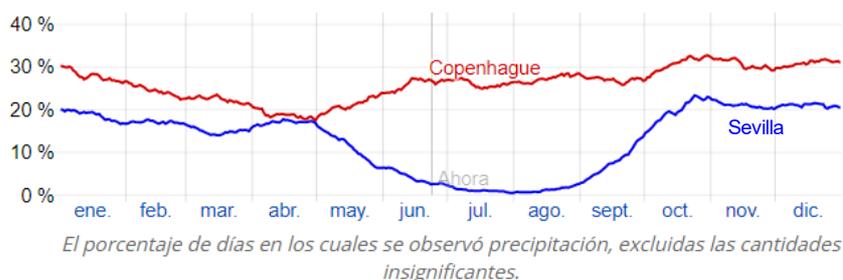


Figura 5-8. Comparación de la probabilidad diaria de precipitación [41]

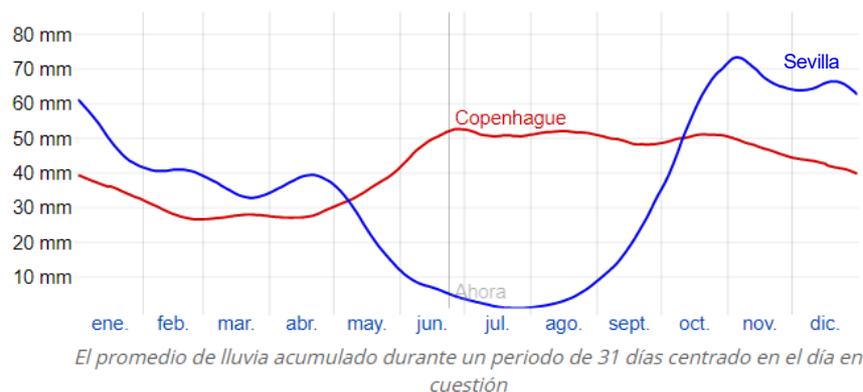


Figura 5-9. Comparación de la precipitación de lluvia mensual promedio [41]

- Temperatura: en invierno, Copenhague sufre nevadas y temperaturas frías, en verano se dan temperaturas suaves favorables al uso de la bicicleta. En Sevilla sobre todo son desfavorables las temperaturas en verano, pues se llegan a alcanzar valores por encima de los 40°C.

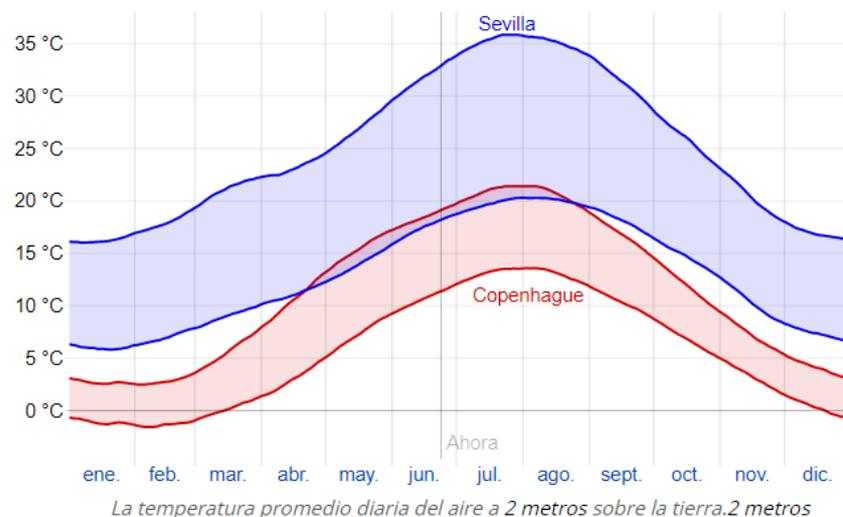


Figura 5-10. Comparación de las temperaturas promedios entre Sevilla y Copenhague [41]

A pesar de haber comentado que las soluciones adoptadas por una ciudad no tienen por qué funcionar en otras, Copenhague es un referente mundial, al igual que Ámsterdam y Utrecht, y Copenhague presenta una

Además de una buena infraestructura, Copenhague realiza muchas actividades de promoción con las cuales se busca la concienciación de la población desde edad temprana, de tal forma que la población vea la bicicleta como algo necesario convirtiéndose así en un modo de transporte principal.

Este esfuerzo por aumentar el número de ciclistas versa sobre *La Estrategia de la Bicicleta a 2025*, donde Copenhague busca alcanzar el 50% de viajes diarios en bicicleta mediante una reducción de los viajes motorizados.

Sevilla, aunque sus viajes diarios en bicicleta no sean llamativos a nivel europeo, presenta buenas condiciones para entrar en el *club de las grandes ciudades verdes*. Desde un punto de vista más modesto a fin de evitar posibles fallos por la codicia que la fama supone, Sevilla debería aspirar a ser la *Copenhague del Sur*.

5.4. Promoción de la bicicleta: mapa esquemático

Dada la importancia del lanzamiento de un mapa de la red bici en el proceso de promoción de la bicicleta, se decide realizar un plano que pueda ayudar en un futuro a la atracción de demanda para así aumentar el reparto modal de la bicicleta en Sevilla, e intentar llegar a la altura de lo conseguido en ciudades como Copenhague. Con este plano se presente por un lado presentar una imagen del transporte en bicicleta como una opción moderna, de ahí su semejanza en el diseño a un plano de líneas de un sistema metro urbano.

En este apartado se explica el proceso de creación de un mapa esquemático que representará las líneas de mayor importancia en la red bici sevillana. La determinación de las mismas se ha realizado a partir del mapa de flujos extraído del programa *TransCAD* resultado de la asignación realizada (Figura 4-8).

Para la realización del plano, se contemplan los siguientes apartados:

- Determinación de puntos de interés
- Elección de arcos principales
- Elección de las líneas principales
- Elaboración del mapa esquemático

5.4.1. Determinación de puntos de interés

Establecer puntos de interés en un mapa guía de líneas, ayuda a los usuarios a localizar rápidamente su destino. Estos puntos o lugares de interés se refieren a estaciones de metro, estación de autobuses y cercanías, los cuales permiten la intermodalidad, zonas de gran interés turístico y centros comerciales (para incentivar el uso de la bicicleta para viajes no obligados), siendo muy importante la localización del servicio de bicicleta pública más cercano a dichos puntos.

Los sitios de interés propuestos se muestran en la Tabla Anexo D-0-1.

5.4.2. Elección de los arcos principales

En la realización del mapa esquemático es necesario estipular una serie de arcos principales, así como la localización de grandes centroides de atracción y generación. Esta necesidad reside en el deber de establecer un conjunto de líneas del modo de transporte de la bicicleta con el fin de hacer atractivo el uso de la misma por medio de líneas simples y directas de los principales orígenes destinos.

Para conseguir esto, se seleccionan aquellos arcos que presenten mayor volumen de usuarios, el cual se ha obtenido gracias a la asignación realizada en el apartado 4.4, que serían aquellos arcos con un volumen mayor a 4900 usuarios (Figura 5-12). Estos arcos deben formar parte de las líneas principales a desarrollar en el siguiente apartado, ayudándose a su vez de otras líneas de menor volumen.

Para entender la prioridad de dichos arcos, se presenta a continuación la Tabla 5-3 en la cual se exponen los volúmenes asociados a dichos arcos principales frente al total de viajes de la red.

Tabla 5-3. Volúmenes asignados en los arcos principales

	<i>Calle</i>	<i>Volumen asignado</i>	<i>% del total de viajes (67 866)</i>
1	Calle Alfonso Lasso de la Vega	8477	12%
2	Avenida de la Palmera	7898	12%
3	Kansas City	7100	10%
4	Avenida Ronda del Tamarguillo	7042	10%
5	Avenida San Francisco Javier	6767	10%
6	Calle Luis de Morales	6669	10%
7	Calle Recaredo	6654	10%
8	Salida del barrio de Pino Montano	6140	9%
9	Calle Páez de Rivera (Reina Mercedes)	5945	9%
10	Calle Federico Mayo Garraye	5939	9%
11	Avenida de Jerez	5835	9%
12	Calle Luis Montoto	5151	8%

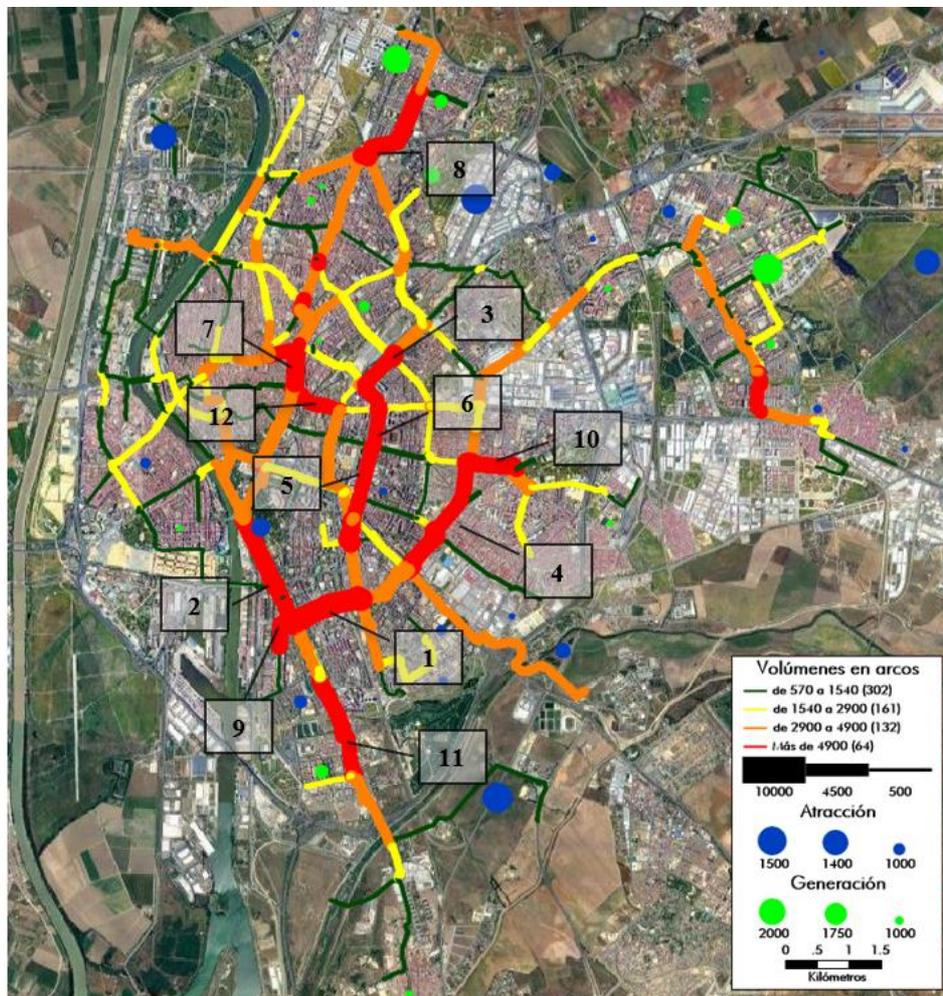


Figura 5-12. Arcos y centroides principales

5.4.3. Determinación de líneas principales

El proceso de creación de las líneas principales de desplazamiento en bicicleta se ha realizado por medio de un estudio simplificado de la demanda asociada a cada par. En primer lugar, se deciden utilizar líneas directas que contemplen las rutas mínimas que capten mayor volumen de demanda, permitiendo a usuarios interesados en otros viajes realizar transbordos entre las líneas.

Teniendo en cuenta el planteamiento anterior, se decide analizar los pares donde al menos uno de los centroides

se encuentre en zonas o barrios externos de Sevilla. Estas zonas o barrios externos se caracterizan por tener una delimitación clara con el resto del sistema, pues su acceso por medio de la bicicleta se realiza por uno o muy pocos arcos de la red. Los barrios que se han delimitado y se han tomado como externos son los siguientes:

- Estadio Olímpico
- San Jerónimo
- Pino Montano
- Miraflores
- Sevilla Este
- Amate
- Cerro del Águila
- Universidad Pablo de Olavide
- Polígono Sur
- Los Bermejales – Bellavista
- Los Remedios
- Triana

Establecer líneas cuyo origen y destino se correspondan con las zonas periféricas del sistema anteriormente comentadas, permiten satisfacer otros flujos que se den dentro de la red, pues teniendo en cuenta el histograma de viajes en distancia (ver Figura 3-10), la gran mayoría de los viajes se realizan en cortas-medias distancias, lo que significa que existirán muchos viajes entre centroides muy próximos.

Para estudiar los volúmenes asociados a cada uno de los centroides que conforman las zonas externas del sistema, se ha utilizado la herramienta “*Zone Query Builder*” perteneciente al software *TransCAD*, que permite extraer la matriz de viajes en formato vectorial asociada a un arco, con su posterior representación gracias a la herramienta “*Desire Lines*”. Este proceso se ha realizado para cada una de las zonas mencionadas, cuyos datos se encuentran en el Anexo E.- Análisis de Demanda. A esto le precede un análisis exhaustivo de los datos extraídos, que se basa en un agrupamiento de los volúmenes de atracción y generación según una macrosectorización la cual consiste en la unión de centroides próximos para crear una macrozonificación aún más simplificada (pues el objetivo final versa sobre una esquematización del sistema), lo que permite reducir de 26 082 pares OD a 580. (Ver Tabla Anexo E-0-1)

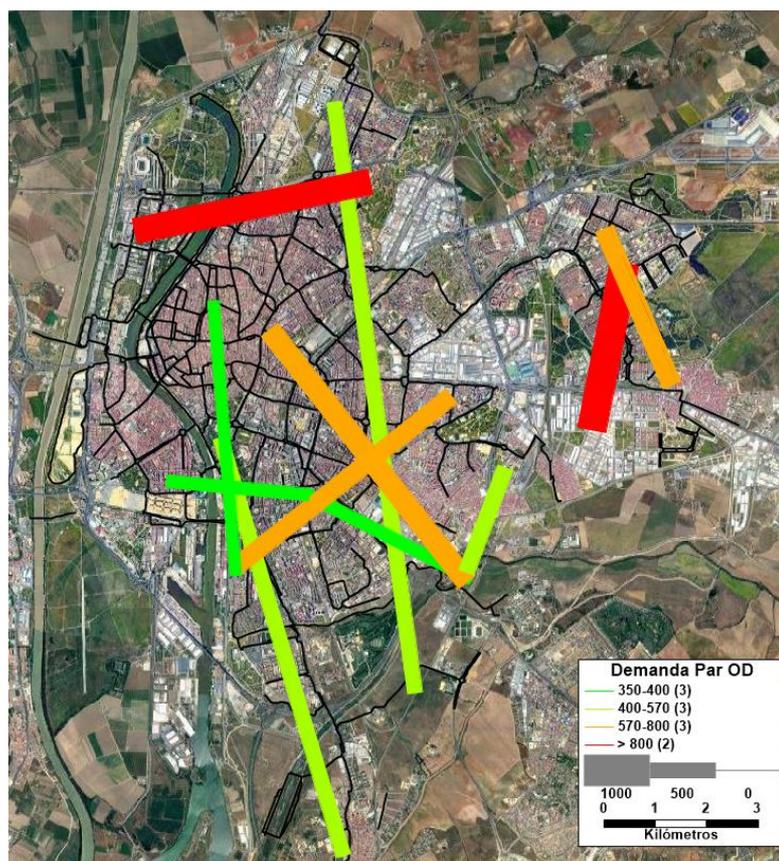


Figura 5-13. Líneas de deseo principales (demanda > 350) de la matriz ajustada

La elección del estudio de las zonas periféricas se basa en un previo análisis de los flujos principales de la matriz OD obtenida del ajuste (Figura 5-13), que en una posterior comprobación de los flujos recogidos gracias a las consultas realizadas por medio del software *TransCAD*, se obtiene que el total de demanda estudiada para la realización de las líneas es del 54% del total que recoge la matriz, recogándose en esta parte los viajes de mayor volumen.

Tabla 5-4. Demanda recogida con las consultas realizada

Zonas periféricas	Total viajes recogidos	% viajes (sobre 67 866)
Sevilla Este	2107	3%
Pino Montano	6079	9%
San Jerónimo	1231	2%
Cerro del Águila	1199	2%
UPO	2871	4%
Amate	4035	6%
Triana	3624	5%
Los Remedios	3191	5%
Miraflores	1793	3%
Estadio Olímpico	864	1%
Pol. Sur - Su Eminencia	3923	6%
Bellavista - Los Bermejales	5856	9%
TOTAL	36775	54%

Con el fin de establecer las líneas que conformen el mapa de promoción de la ciudad de Sevilla, se analizan los volúmenes obtenidos y representados en la Tabla Anexo E-0-1 en orden decreciente, de tal forma que finalmente se plantean diferentes líneas de transporte en bicicleta que recogen la demanda principal. En la Figura 5-14 se observan las líneas finalmente seleccionadas para la realización del plano esquemático.

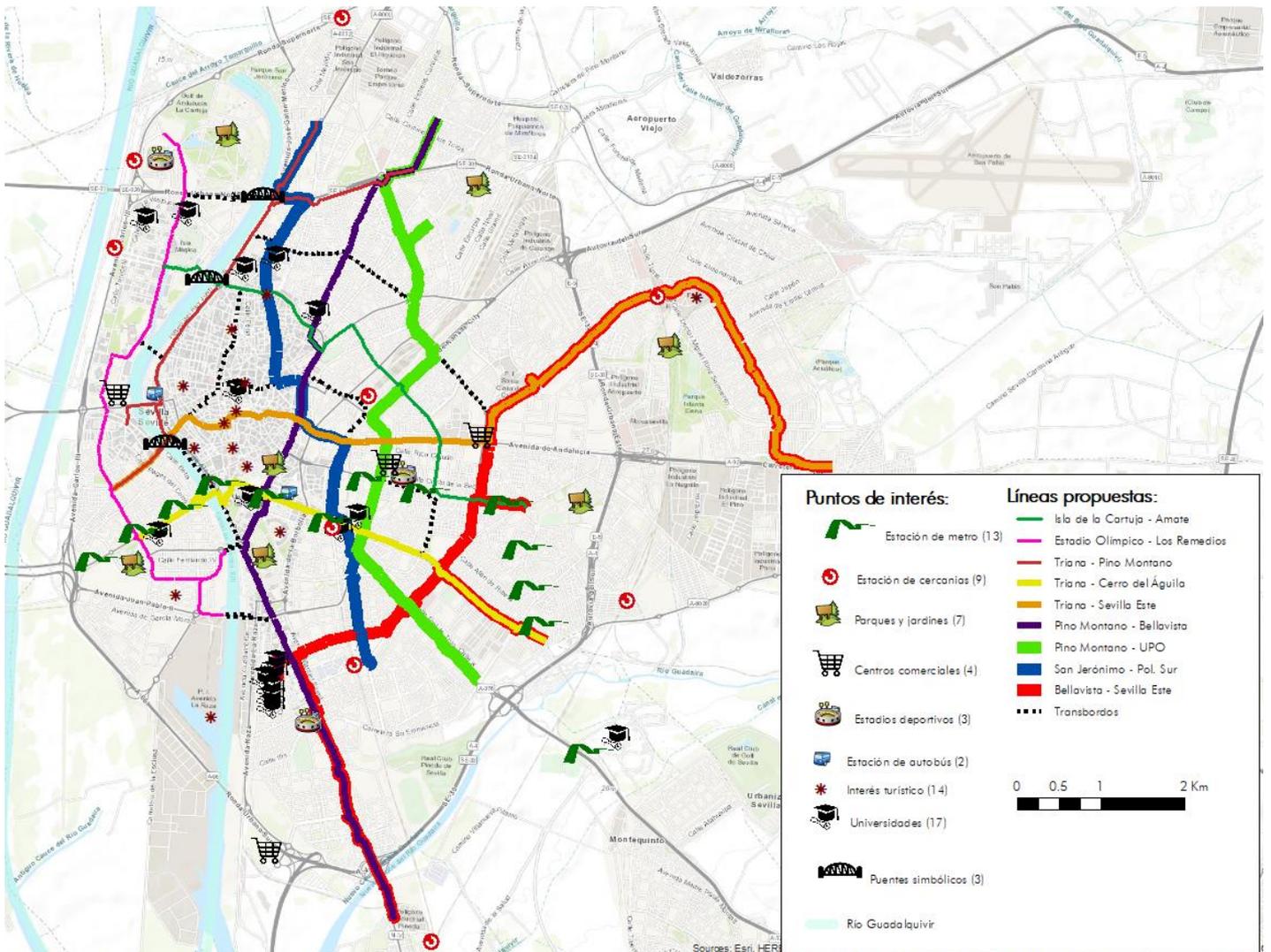


Figura 5-14. Líneas propuestas para la realización del plano esquemático

Se ha analizado la demanda que recogen, ya sea directa o indirectamente cada una de estas líneas a fin de establecer una prioridad de actuación según la importancia de cada una de ellas. En la Tabla 5-5 se recogen los datos resumen del volumen asociado a cada una de las líneas establecidas, el cual es resultado de un estudio de ruta mínima de cada uno de los 580 pares que se obtienen de la macrosectorización, la cual se recoge en la Tabla Anexo E-0-2. Matriz de demanda PAR-LÍNEA propuesta Tabla Anexo E-0-2.

Tabla 5-5. Prioridad y demanda asociada a cada línea propuesta

<i>Líneas</i>	<i>Demanda</i>	<i>Prioridad de la Línea</i>
<i>Pino Montano - UPO</i>	10409	1
<i>Sevilla Este - Bellavista</i>	8889	2
<i>Pol. Sur – San Jerónimo</i>	7985	3
<i>Pino Montano - Bellavista</i>	6792	4
<i>Sevilla Este - Triana</i>	4690	5
<i>Pino Montano - Triana</i>	4223	6
<i>Línea de la Cartuja</i>	3975	7
<i>Triana – Cerro del Águila</i>	3824	8
<i>Amate – La Cartuja</i>	3210	9

5.4.4. Elaboración del mapa esquemático

La elaboración del mapa esquemático se ha realizado por medio del software *AutoCAD*. Esta tarea ha sido un proceso estético por el cual se busca llamar la atención de la población sevillana de tal forma que vean la movilidad en bicicleta de una forma sencilla con el fin de incitar al cambio de modo (Figura 5-4).

Para conseguir esto se han llevado a cabo las siguientes acciones:

- Rectificación y esquematización del trazado.
- Inclusión de los puntos de interés ya sea por medio de iconos o imágenes de sitios de interés turístico.
- Ubicación de estaciones Sevici cerca de los puntos de interés comentados.
- Identificación de las principales vías de tránsito.

Además, se decide no incluir información sobre el tiempo y distancia de recorrido asignado a cada uno de los arcos que componen las líneas, con el fin de evitar crear rechazo al individuo, pues la distancia y tiempo se relaciona con el esfuerzo físico que el individuo estima que debe realizar, y estos son las principales barreras que llevan a gran parte de la población a rechazar este modo de transporte.

El resultado final se puede observar en el Anexo F.- Mapa esquemático de la Red de Bicicleta de Sevilla, al cual se le ha bautizado con el nombre de “*Metro-Bici Sevilla*”.



Figura 5-15. Logo *Metro-Bici SEVILLA*

6. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

A continuación, se resumen las conclusiones obtenidas de los diferentes ámbitos de estudio del presente trabajo, así como posibles futuras líneas de investigación.

6.1. Conclusiones

6.1.1. Proceso de encuestación

Del proceso de encuestación a peatones se extrae que el 10% de los encuestados afirma no saber utilizar la bicicleta existiendo una relación estadísticamente significativa con el sexo, pues casi el 75% de estos eran mujeres. Esto puede influir en el hecho de que en el proceso de encuestación a usuarios de bicicleta tan solo el 35% eran mujeres.

La edad es otro factor importante a comparar con otras variables, como por ejemplo el tipo de bicicleta, las cuales presentan una relación estadísticamente significativa, por lo tanto, los grupos de edad más jóvenes presentan mayor proporción de uso de la bicicleta de alquiler. En el caso de analizar los tiempos de viajes en función de la edad, se obtiene una significación estadística, de tal forma que a medida que avanza la edad, los tiempos de viajes por lo general tienden a ser superiores.

Siguiendo con la dinámica anterior, se analizan los tiempos de viajes donde se observa como los viajes realizados con bicicleta de alquiler son relativamente más cortos, obteniendo una asociación significativa entre el tipo de bicicleta empleada y el tiempo de trayecto.

De todo el proceso de encuestación cabe destacar la importancia, dada su implicación en el proceso de ajuste de la matriz, de:

- Histograma unitario de viajes en distancias
- El motivo de viajes de los encuestados, donde el 75% de los viajes recogidos eran por movilidad obligada

6.1.2. Ajuste de la matriz y asignación de viajes

El ajuste de la matriz ha sido uno de los procesos más importantes realizados en el presente trabajo, pues el disponer de buenos datos de partida lleva asociado una realista y coherente asignación de la demanda. Sin embargo, a pesar de utilizar datos fiables para la actualización de la matriz, esta ha presentado problemas de convergencia causados por el fenómeno denominado efecto conector comentado con anterioridad, que es consecuencia de las hipótesis asumidas al estudiar un sistema de transporte como un modelo macroscópico. Aunque el modelo no represente la realidad en un punto concreto a causa de este efecto (en este caso en la zona de Reina Mercedes), se puede comprobar que sí reproduce satisfactoriamente el resto de restricciones introducidas en el ajuste.

6.1.3. Promoción de la bicicleta

La promoción de la bicicleta debe comprender no solo las actuaciones sobre la infraestructura, sino también con una campaña de concienciación e información, con el fin de transmitir la idea de la bicicleta como un modelo eficiente y moderno, de tal forma que se influya de un modo positivo en la población no usuaria de la bicicleta para que venza los prejuicios que puedan existir sobre este modo. El sistema de transporte de una ciudad es de vital importancia para su economía, para mantener su aire lo más libre posible de emisiones contaminantes, y para en general mejorar su habitabilidad y calidad de vida de sus ciudadanos. La sociedad está ganando

conciencia de dicha importancia de una forma paulatina, como lo muestra el último movimiento estudiantil “Fridays for the future” o a nivel más local, la relevancia social y mediática que contó la derogación y posterior reactivación de la zona de bajas emisiones de “Madrid Central”. Por ello, es necesario transmitir la importancia de una apuesta estratégica de la sociedad por este modo ecológico, económico, inclusivo y eficiente, apuesta que debe ser transversal a todos los grupos políticos para que pueda mantenerse fuera de los ciclos políticos.

Este Trabajo Fin de Máster pretende aportar dicha visión por medio del mapa esquemático Metro-Bici, presentado en un formato similar al de un modelo de líneas del modo de transporte público (metro), con el fin de hacer más atractiva la idea de la bicicleta como modo de transporte, dado el anhelo persistente durante tantos años de los sevillanos por una auténtica red de metro en Sevilla. Además, se identifica de forma clara las líneas principales de demanda, lo cual establece una prioridad de actuación atendiendo a la importancia de cada una.

La ciudad de Copenhage es un referente mundial en cuanto a la promoción y uso de la bicicleta, por esa razón se han comparado las condiciones que favorecen dicho comportamiento con las de la ciudad de Sevilla. Se extraen muchas similitudes entre ambas ciudades, e incluso mejores condiciones en Sevilla en aspectos como por ejemplo el clima. Sin embargo, esta semejanza no se traduce en un mayor número de usuarios en la capital andaluza, por lo que un objetivo deseable sería alcanzar los resultados de la ciudad danesa.

6.2. Líneas futuras de investigación

Las futuras líneas de investigación propuestas a continuación son consecuencia de la detección de mejoras dadas las problemáticas encontradas durante la realización del presente trabajo.

Como se ha comentado en el Ajuste de la Matriz realizado, no se obtienen suficientes datos de atracción para que el ajuste sea del todo realista. Esta falta de información lleva asociados errores en el ajuste de la matriz que pueden ser solventados teniendo en cuenta las siguientes deficiencias encontradas:

- Sólo proporciona rangos de asalariados en grandes empresas, pudiéndose tratar de rangos desde 50 asalariados de diferencia hasta los 250 (ver apartado ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).
- Sólo se dispone información de empresas de más de 50 empleados, lo que no significa que no existan otras empresas minoritarias en la zona de estudio que pudieran afectar significativamente a los valores de atracción de dicha TAZ.
- No se dispone de información georreferenciada sobre viajes de movilidad no obligada.

Esta inconsistencia informativa deriva en gran parte del uso de la matriz global de movilidad publicada en 2007 (EDM07), la cual está muy desactualizada. Actualmente existe una nueva encuesta cuyos resultados aún no han sido publicados. La oficialización de dichos resultados derivará en una nueva matriz origen-destino, que debe ser incluida en el modelo estudiado como dato de partida y actualizando el total de viajes en bicicleta.

Para terminar, sería interesante intentar obtener las líneas preferentes de mejora por medio de la aplicación de un método de optimización o de diseño de redes.

ANEXO A.- MODELOS DE ENCUESTAS

Estudio del Modo de Transporte Bicicleta



Fecha: _____ Hora: _____
 Punto encuesta: _____

Origen/Destino		Datos del encuestado			
Origen:	Destino:	Edad	Menos de 18	Ocupación actual	Menor
			18-27		Estudiante
			28-37		Trabajador
			38-47		Ama/o de casa
			48-57		Jubilado/Pensionista
			58-67		Parado
			Más de 67		Otro:
Duración del trayecto (min):	Sexo	Hombre	Tipo de bicicleta	Sevici	
		Mujer		Propia	
				Otro:	
Frecuencia de uso		Motivo del viaje		Motivo de elección de la bicicleta	
A diario		Trabajo		1. Más económico	
Algún día por semana		Estudios		2. Menor tiempo	
Algún día por mes		Ocio		3. Más ecológico	
Casi nunca		Otro:		4. Facilidad de aparcamiento	
Solo los fines de semana					5. Comodidad
				6. Otro:	
¿Realizaba este desplazamiento en otro modo de transporte?			¿Utiliza en el mismo trayecto otro modo de transporte además de la bicicleta?		
No			No		
Sí	A pie		Sí	Bus urbano	
	Coche conductor			Bus interurbano	
	Coche compartido			Tren	
	Motocicleta			Metro	
	Bus urbano			Metrocentro	
	Bus interurbano			Otro:	
	Tren				
	Taxi				
Metro					
Metrocentro					
Otro:					
¿Qué mejoraría del modo de transporte Bicicleta?			Desde el punto de vista de la seguridad vial, problemas que detecta en el uso de la bicicleta		
1. Ampliación de la red de carriles			1. Conflicto con vehículos motorizados		
2. Más aparcamiento			2. Conflicto con peatones		
3. Ampliación de las paradas/bicicletas de Sevici			3. Señalización		
4. Mejora técnica de Sevici			4. Estado conservación infraestructura		
5. Más seguridad (robos)			5. Diseño, trazado		
6. Mejor mantenimiento de la red			6. Otro:		
7. Otro:					
Observaciones					

Figura Anexo A-0-1. Modelo de encuesta de bicicleta 2016-2017

FECHA	Día	Mes	HORA	N° ENCUESTA	PUNTO DE ENCUESTA
1 DATOS DEL ESCRUTADO		2 FRECUENCIA USO		3 MOTIVO NO USO BICI	
EDAD 1- <18 2- 18-25 3- 26-35 4- 36-50 5- 50-65 6- >65 SEXO 1- Hombre 2- Mujer	ACTIVIDAD 1- Trabajador 2- Parado 3- Jubilado 4- Estudiante 5- Otro USO BICI 1- Sí 2- No	1- Casi todos los días MaT 2- Casi todos los días M/T 3- Casi todos los días M 4- Casi todos los días T 5- Algún día por semana 6- Solo fines de semana 7- Un par de días al año 8- Opción anterior (1-7) sin contar días de lluvia	1- No sabe 2- Larga distancia 3- Peligrosa 4- Esfuerzo físico 5- Mala conexión 6- Inseguridad (robo) 7- Problemas salud		4 EDAD APRENDIZAJE BICI 1- <10 2- 10 TO 20 3- 20 TO 30 4- 30 TO 40 5- 40 TO 50 6- 50 TO 60 7- >60 5 ÚLTIMA VEZ QUE USO BICI
Otros:					

Figura Anexo A-0-3. Modelo de encuesta de peatón 2018-2019

FECHA	Día	Mes	HORA	N° ENCUESTA	PUNTO DE ENCUESTA
1 DATOS DEL ESCRUTADO		2 FRECUENCIA USO		3 O/D	
EDAD 1- <18 2- 18-25 3- 26-35 4- 36-50 5- 50-65 6- >65 SEXO 1- Hombre 2- Mujer	ACTIVIDAD 1- Trabajador 2- Parado 3- Jubilado 4- Estudiante 5- Otro TIPO BICICLETA 1- Propia 2- Sevíci / Alquilada 3- Patinete eléctrico	1- Casi todos los días MaT 2- Casi todos los días M/T 3- Casi todos los días M 4- Casi todos los días T 5- Algún día por semana 6- Solo fines de semana 7- Un par de días al año 8- Opción anterior (1-7) sin contar días de lluvia	ORIGEN DESTINO		4 TIEMPO Y LONGITUD TIEMPO (min) LONGITUD (km)
7 ASPECTOS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE BICICLETA A MEJORAR		8 REALIZABA ANTERIORMENTE ESTE MSMO DESPLAZAMINTO EN OTRO MODO		9 MODO ALTERNATIVO	
1- Ampliación de Km de carril bici 2- Mas aparcamientos bici 3- Bici publica SEVICI 4- Señalización 5- Más seguridad (robos) 6- Seguridad vial 7- Otros (especificar)		NO: <input type="checkbox"/> SÍ: <input type="checkbox"/> MODO (solo caso afirmativo) 1- A pie 2- Coche conductor 3- Coche acompañante 4- Moto 5- Bus urbano 6- Bus interurbano 7- RENFE 8- Taxi		1- Trabajo 2- Estudios 3- Ocio, en el día 4- Médico/Samdad 5- Compras 6- Personal / Deporte 7- Otros (especificar)	
				6 MOTIVO USO BICICLETA 1- Más económico 2- Menor tiempo 3- Más ecológico 4- Motivos de salud 5- Facilidad aparcamiento 6- Comodidad 7- Otros (especificar)	
Otras obsevaciones:					

Figura Anexo A-0-2. Modelo de encuesta de bicicleta 2018-2019

ANEXO B. MATRIZ EXTRAÍDA DEL PROCESO DE ENCUESTACIÓN

Para determinar los OD, se ha buscado la unificación de resultados, eliminando aquellas encuestas cuyas respuestas no se han podido determinar con claridad. Más tarde, se ha asociado cada uno de estos puntos de origen y destino a la TAZ correspondiente.

Tras esto, como se ha comentado, se asocia cada O y D con el centroide correspondiente, obteniendo la generación y atracción de cada uno de ellos.

Tabla Anexo B-0-1. Matriz OD extraída de encuestas

ORIGEN	DESTINO	Nº Viajes
1	13	1
1	39	1
1	50	1
1	134	1
1	139	1
2	39	2
3	14	1
3	21	1
3	37	2
3	39	4
3	50	2
3	69	1
3	76	1
5	9	1
5	23	1
5	28	1
5	37	4
5	39	18
5	40	1
5	50	1
5	56	3
5	73	7
5	76	1
5	81	1
5	85	6
5	124	1
5	134	3
5	140	1
5	141	2
6	39	1
6	40	1
6	49	1
6	50	1
6	56	1
6	69	1
6	82	1
7	28	1
7	39	3
7	63	1
7	73	1
7	74	1
7	79	1
7	85	1
7	135	1
7	140	1
7	141	1
7	146	1
8	39	2
8	67	1
8	69	1

ORIGEN	DESTINO	Nº Viajes
8	134	1
8	141	1
9	5	12
9	9	2
9	21	2
9	28	3
9	37	1
9	39	8
9	42	4
9	49	2
9	50	6
9	54	5
9	73	3
9	74	1
9	80	1
9	85	1
9	134	1
9	139	1
9	140	1
9	142	1
9	146	1
9	152	7
10	5	1
10	7	1
10	39	4
10	73	1
10	82	1
10	134	1
10	141	1
11	38	1
11	39	1
11	44	1
11	56	1
11	152	1
12	39	1
12	45	1
12	49	1
12	73	1
12	76	1
12	141	1
13	28	1
13	29	1
13	50	1
13	85	1
14	22	1
14	28	1
14	39	1
14	45	1
14	56	1
14	79	1

ORIGEN	DESTINO	Nº Viajes
14	82	1
14	91	1
18	11	1
18	16	1
20	5	3
20	8	3
20	9	2
20	16	1
20	39	2
20	49	1
20	134	3
20	140	1
20	152	1
21	3	3
21	5	3
21	9	1
21	14	1
21	16	1
21	25	1
21	29	1
21	39	11
21	45	1
21	48	1
21	49	1
21	50	11
21	54	1
21	56	2
21	63	1
21	69	1
21	73	3
21	85	2
21	97	2
21	134	1
21	152	2
22	3	1
22	16	1
22	27	1
25	28	1
25	50	1
25	80	1
25	85	2
27	43	1
27	50	1
27	79	1
28	2	1
28	3	1
28	14	2
28	16	1
28	39	9
28	42	2

ORIGEN	DESTINO	Nº Viajes
28	43	1
28	45	1
28	46	1
28	49	1
28	50	4
28	53	1
28	55	1
28	56	2
28	69	1
28	73	2
28	79	1
28	80	1
28	85	2
28	97	2
28	109	1
28	111	1
28	134	4
28	135	1
29	3	1
29	14	1
29	39	1
29	50	1
29	67	1
29	136	1
29	140	1
30	11	1
30	27	3
30	28	1
30	80	1
31	18	1
31	28	1
31	53	1
31	152	1
37	3	2
37	16	1
37	39	3
37	56	1
37	134	1
37	152	1
39	3	1
39	5	4
39	9	1
39	28	1
39	43	1
39	50	1
39	106	1
39	134	3
39	135	1
39	140	1
39	145	1

ORIGEN	DESTINO	N° Viajes
39	146	3
40	5	1
40	12	3
42	14	1
42	49	1
42	79	1
43	28	1
43	32	1
43	79	1
44	13	1
44	29	1
44	37	1
44	39	1
44	50	1
45	11	1
45	12	1
45	28	2
46	10	1
46	14	2
46	39	1
46	50	2
46	52	1
46	69	3
46	79	2
46	85	1
46	145	1
48	39	1
48	50	1
49	49	1
49	50	2
49	79	1
49	134	2
49	152	1
50	5	3
50	39	1
50	53	1
50	61	1
50	73	1
50	76	1
50	79	1
50	85	1
53	39	1
53	50	4
53	73	1
53	145	1
54	48	1
54	152	1
55	2	1
55	9	1
55	16	1
55	28	1
56	5	2
56	14	2
56	21	1
56	29	1
56	39	1
56	50	1
56	79	1
56	85	1
57	37	1
57	50	2
60	28	2
60	134	1
61	3	1
61	152	1
63	7	1
63	25	1
63	50	1
64	80	1

ORIGEN	DESTINO	N° Viajes
66	8	1
66	14	1
67	96	1
68	44	1
68	46	1
68	50	1
68	76	1
69	37	1
69	39	6
69	50	2
69	58	1
69	73	1
69	79	1
69	80	1
69	81	1
69	82	2
69	85	3
69	86	2
69	141	1
70	21	1
70	80	1
71	28	1
71	45	1
71	79	1
73	5	3
73	7	1
73	9	3
73	16	1
73	21	3
73	25	2
73	28	1
73	39	6
73	43	1
73	46	2
73	50	6
73	51	1
73	53	1
73	55	1
73	69	2
73	79	1
73	98	1
73	134	5
73	142	1
74	14	1
74	39	1
74	111	1
75	134	1
76	5	2
76	10	1
76	16	1
76	39	1
76	50	1
76	79	1
76	134	1
79	1	1
79	5	1
79	9	1
79	12	2
79	14	1
79	16	1
79	30	1
79	39	5
79	45	1
79	46	1
79	50	3
79	69	2
79	73	1
79	80	1
79	134	1

ORIGEN	DESTINO	N° Viajes
80	3	1
80	11	1
80	13	1
80	28	1
80	44	1
80	46	1
80	79	1
80	105	1
80	135	1
80	164	1
81	135	1
82	5	1
82	14	1
82	41	1
83	29	1
85	5	6
85	21	1
85	39	1
85	50	4
85	72	1
85	73	2
85	74	1
85	79	2
85	134	1
86	12	1
86	13	1
86	38	1
86	50	1
86	73	1
86	134	1
87	5	1
87	41	1
88	5	1
88	12	1
89	61	1
89	80	1
91	28	1
91	37	1
91	79	1
91	134	1
91	155	1
93	2	1
96	28	1
96	152	1
97	5	3
97	21	1
97	39	1
97	79	1
97	97	1
97	134	1
98	5	1
100	69	1
101	12	1
101	135	1
103	39	1
103	73	1
105	39	1
105	89	1
106	3	1
106	39	1
106	50	1
106	155	1
106	158	1
108	37	1
108	141	1
111	25	1
111	79	1
112	50	1
112	79	2

ORIGEN	DESTINO	N° Viajes
112	85	1
118	135	1
121	7	1
122	122	2
130	134	1
134	3	1
134	5	6
134	9	6
134	11	1
134	12	1
134	21	3
134	28	3
134	39	38
134	40	1
134	41	1
134	49	1
134	50	4
134	56	2
134	60	1
134	61	1
134	63	1
134	66	1
134	68	1
134	73	4
134	74	1
134	76	1
134	80	1
134	82	1
134	85	1
134	97	1
134	140	2
134	141	2
134	158	2
134	160	1
135	10	1
135	37	1
135	39	5
135	68	1
135	76	1
135	140	3
136	3	2
136	31	1
136	39	1
136	69	2
136	79	1
136	82	1
136	158	1
137	39	1
138	5	1
138	49	1
139	5	1
139	7	1
139	11	1
139	12	1
139	16	1
139	28	1
139	39	1
139	50	1
139	80	1
139	141	1
139	143	1
140	6	1
140	11	2
140	21	1
140	29	1
140	39	2
140	50	1
140	73	1
140	79	3

ORIGEN	DESTINO	Nº Viajes
140	85	1
140	134	1
140	139	1
141	3	1
141	5	1
141	7	1
141	11	1
141	13	1
141	39	2
141	42	1
141	135	1
141	136	1

ORIGEN	DESTINO	Nº Viajes
141	152	1
142	54	1
144	135	1
145	37	1
145	39	6
145	152	1
145	160	1
146	19	1
146	37	2
146	39	11
146	41	1
146	42	1

ORIGEN	DESTINO	Nº Viajes
147	37	1
147	39	1
148	5	1
151	7	1
152	5	4
152	9	2
152	37	2
152	39	1
152	56	1
152	134	1
152	141	1
157	96	1

ORIGEN	DESTINO	Nº Viajes
158	2	1
158	5	1
158	9	1
158	12	1
158	14	1
158	25	1
158	28	2
158	39	6
158	134	1
164	28	1
164	73	1

ANEXO C.- TABLAS UTILIZADAS EN EL AJUSTE DE LA MATRIZ OD

Tabla Anexo C-0-1. Población asociada a cada centroide

Centroide	Población	Proporción	Centroide	Población	Proporción	Centroide	Población	Proporción
1	5121.851	0.75%	53	4754.540	0.69%	104	1511.223	0.22%
2	5921.420	0.86%	54	560.322	0.08%	105	8456.833	1.23%
3	4913.953	0.72%	55	6202.670	0.90%	106	11071.619	1.61%
4	3130.672	0.46%	56	2037.207	0.30%	107	4982.064	0.73%
5	3403.814	0.50%	57	5379.824	0.78%	108	7061.548	1.03%
6	4468.337	0.65%	58	6229.031	0.91%	109	4058.036	0.59%
7	5145.322	0.75%	59	5916.735	0.86%	110	5874.226	0.86%
8	3046.059	0.44%	60	4796.513	0.70%	111	5641.902	0.82%
9	4296.839	0.63%	61	2043.486	0.30%	112	1476.299	0.22%
10	2744.971	0.40%	62	1316.775	0.19%	113	4184.179	0.61%
11	4305.502	0.63%	63	12829.298	1.87%	114	4238.552	0.62%
12	3659.621	0.53%	64	3540.676	0.52%	115	8677.085	1.26%
13	2340.606	0.34%	65	2886.135	0.42%	116	7902.523	1.15%
14	3232.401	0.47%	66	9484.377	1.38%	117	14390.150	2.10%
15	1962.717	0.29%	67	3950.100	0.58%	118	2010.023	0.29%
16	131.999	0.02%	68	4332.309	0.63%	119	6221.900	0.91%
17	1374.642	0.20%	69	2422.736	0.35%	120	21646.624	3.15%
18	7123.275	1.04%	70	5982.987	0.87%	121	6579.910	0.96%
19	2938.954	0.43%	71	3353.368	0.49%	122	10268.835	1.50%
20	4699.655	0.68%	72	2867.857	0.42%	123	1279.931	0.19%
21	3135.822	0.46%	73	3173.223	0.46%	124	273.594	0.04%
22	4184.095	0.61%	74	1744.865	0.25%	125	202.153	0.03%
23	3023.659	0.44%	75	2905.222	0.42%	126	407.003	0.06%
24	6247.348	0.91%	76	1808.470	0.26%	127	1725.200	0.25%
25	6836.847	1.00%	77	4468.132	0.65%	128	2662.646	0.39%
26	4197.228	0.61%	78	627.673	0.09%	129	3043.498	0.44%
27	3043.740	0.44%	79	3444.362	0.50%	130	5062.960	0.74%
28	4163.532	0.61%	80	4725.773	0.69%	131	6078.767	0.89%
29	4761.719	0.69%	81	2500.958	0.36%	132	1703.738	0.25%
30	8689.838	1.27%	82	4307.617	0.63%	134	3669.468	0.53%
31	3379.536	0.49%	83	3202.043	0.47%	135	1222.946	0.18%
32	3109.351	0.45%	84	2612.311	0.38%	136	4631.469	0.67%
33	927.102	0.14%	85	4416.285	0.64%	137	3104.040	0.45%
35	339.257	0.05%	86	3673.312	0.54%	138	5131.863	0.75%
37	81.454	0.01%	87	5462.739	0.80%	139	5347.691	0.78%
38	29.130	0.00%	88	6616.509	0.96%	140	4346.176	0.63%
39	7.151	0.00%	89	8001.893	1.17%	141	6631.214	0.97%
40	19.625	0.00%	90	4541.301	0.66%	142	6811.180	0.99%
41	503.560	0.07%	91	7209.069	1.05%	143	1631.960	0.24%
42	897.082	0.13%	92	5930.976	0.86%	144	526.981	0.08%
43	590.235	0.09%	93	6515.901	0.95%	145	4234.934	0.62%
44	5238.631	0.76%	94	4536.525	0.66%	146	3733.026	0.54%
45	6986.276	1.02%	95	4825.795	0.70%	147	9443.694	1.38%
46	5916.564	0.86%	96	5051.945	0.74%	148	8458.041	1.23%
47	5178.218	0.75%	97	4066.752	0.59%	149	4740.011	0.69%
48	2113.316	0.31%	98	1959.552	0.29%	150	6270.161	0.91%
49	1931.079	0.28%	99	2957.254	0.43%	151	13573.195	1.98%
50	1033.173	0.15%	100	8976.451	1.31%	152	6262.488	0.91%
51	362.035	0.05%	101	4769.689	0.69%	153	4287.522	0.62%
52	335.300	0.05%	103	4113.020	0.60%	154	123.486	0.02%

Centroide	Población	Proporción
155	952.113	0.14%
156	1860.244	0.27%
157	20563.468	3.00%
158	12453.103	1.81%

Centroide	Población	Proporción
159	1212.863	0.18%
160	730.891	0.11%
162	2096.185	0.31%
163	1697.444	0.25%

Centroide	Población	Proporción
164	402.302	0.06%
184	229.530	0.03%
Σ	686329.79	

Tabla Anexo C-0-2. Empresas asociadas a cada centroide

Centroide	De 50 a 99	De 100 a 149	De 150 a 199	De 250 a 499
2	1	0	0	0
5	1	0	0	0
6	1	0	0	0
7	2	0	0	0
8	1	0	0	0
9	6	0	0	0
10	3	0	0	0
12	7	0	0	0
14	3	0	0	0
19	1	0	0	0
20	1	0	0	0
21	1	0	0	0
22	1	0	0	0
24	1	0	0	0
25	2	0	0	0
28	1	0	0	0
30	1	0	0	0
32	2	0	0	0
33	1	0	0	0
35	5	0	0	0
36	0	0	1	0
37	4	0	0	0
38	2	0	0	0
39	19	2	1	0
40	4	0	0	0
41	1	0	0	0
44	3	1	0	0
45	2	0	0	0
47	1	0	0	0
48	2	0	0	0
49	1	0	0	0
51	1	0	0	0
52	1	0	0	0
53	1	0	0	0
55	1	0	0	0
56	0	1	0	0
60	1	0	0	0
62	1	0	0	0
63	2	0	0	0
64	7	0	0	0
65	7	1	1	0
68	4	0	0	0
69	1	0	0	0

Centroide	De 50 a 99	De 100 a 149	De 150 a 199	De 250 a 499
70	2	0	0	0
73	4	0	0	1
74	2	0	0	0
75	1	0	0	0
78	3	0	0	0
80	4	0	0	0
81	4	0	0	0
82	2	0	0	0
83	1	0	0	0
89	1	0	0	0
92	2	0	0	0
96	1	0	0	0
99	2	1	0	0
104	14	0	0	0
105	1	0	0	0
106	2	0	0	0
109	2	0	0	0
111	2	0	0	0
112	1	0	0	0
113	11	0	0	0
114	7	0	0	0
115	1	0	0	0
117	3	0	0	0
118	8	0	0	0
119	2	0	0	0
120	1	0	0	0
122	2	0	0	0
123	1	0	0	0
124	1	0	0	0
126	1	0	0	0
128	4	0	0	0
130	1	0	0	0
131	1	0	0	0
132	1	0	0	0
134	1	0	0	0
137	1	0	0	0
142	2	0	0	0
143	2	0	0	0
144	9	0	0	1
149	1	0	0	0
151	1	0	0	0
156	6	0	0	0
Σ	227	6	3	2

Tabla Anexo C-0-3. Universidades asociadas a cada centroide

Centroide	15	16	28	39	44	45	50	63	80	102	134	135	136
Universidades	1	1	1	2	1	1	7	1	1	1	1	1	1

ANEXO D.- PUNTOS DE INTERÉS

Tabla Anexo D-0-1. Puntos de interés incluidos en el mapa esquemático

<i>Tipología</i>	Nombre	Estación de Sevíci cercana
<i>Estaciones de cercanía</i>	SAN JERONIMO	No
	SEVILLA-SANTA JUSTA	Sí
	PALACIO DE CONGRESOS	Sí
	PADRE PIO-PALMETE	No
	CARTUJA	No
	ESTADIO OLIMPICO	No
	SAN BERNARDO	Sí
	VIRGEN DEL ROCIO	No
	BELLAVISTA	No
JARDINES DE HERCULES	No	
<i>Estaciones de metro</i>	PABLO OLAVIDE	No
	COCHERAS	No
	LA PLATA	No
	AMATE	SÍ
	1º DE MAYO	Sí
	GRAN PLAZA	Sí
	NERVIÓN	SÍ
	SAN BERNARDO	SÍ
	PRADO DE SAN SEBASTIÁN	Sí
	PUERTA JEREZ	Sí
	PLAZA DE CUBA	No
	PARQUE DE LOS PRÍNCIPES	Sí
	BLAS INFANTE	No
<i>Estación de autobuses</i>	PLAZA DE ARMAS	SÍ
	PRADO	SÍ
<i>Universidad</i>	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA FACULTAD DE COMUNICACIÓN	Sí
	FACULTAD DE PODOLOGÍA Y FISIOTERAPIA	Sí
	FACULTAD DE MEDICINA (VIRGEN MACARENA)	Sí
	CENTRO UNIVERSITARIO DE ENFERMERÍA CRUZ ROJA	Sí
	FACULTAD DE BELLAS ARTES	Sí
	EL RECTORADO / FACULTAD DE FILOLOGÍA	Sí
	FACULTAD DE PSICOLOGÍA, CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES, TURISMO Y FINANZAS	Sí
	FACULTAD DE DERECHO Y CIENCIAS DEL TRABAJO	Sí
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR	Sí
	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA	Sí
	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE LA EDIFICACIÓN	Sí
	CAMPUS REINA MERCEDES	Sí
	INSTITUTO DE IDIOMAS	Sí
	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INFORMÁTICA	Sí
	FACULTAD DE FARMACIA	Sí
	PABLO DE OLAVIDE	No
	<i>Estadio</i>	OLÍMPICO
BENITO VILLAMARÍN		Sí
RAMÓN SÁNCHEZ-PIZJUÁN		Sí
<i>Centro comercial</i>	LOS ARCOS	Sí
	NERVIÓN PLAZA	Sí
	TORRE SEVILLA	Sí
	PALMAS ALTAS	Sí

<i>Tipología</i>	Nombre	Estación de Sevice cercana
<i>Zona o edificio simbólico</i>	PUERTO DE SEVILLA	No
	REAL DE LA FERIA	Sí
	PLAZA DE ESPAÑA	Sí
	TORRE DEL ORO	Sí
	REAL ALCÁZAR DE SEVILLA	No
	CATEDRAL DE SEVILLA	No
	PLAZA DE TOROS	Sí
	AYUNTAMIENTO DE SEVILLA	Sí
	PLAZA DEL SALVADOR	No
	LAS SETAS/PLAZA DE LA ENCARNACIÓN	Sí
	ALAMEDA DE HÉRCULES	Sí
	ARCO DE LA MACARENA	Sí
	PALACIO DE CONGRESOS	Sí
<i>Parque</i>	LOS PRÍNCIPES	Sí
	MIRAFLORES	Sí
	AMATE	Sí
	INFANTA ELENA	No
	MARÍA LUISA	Sí
	ALAMILLO	No
	JARDINES DE MURILLO	Sí
<i>Puente simbólico</i>	ALAMILLO	-
	BARQUETA	-
	TRIANA	-

ANEXO E.- ANÁLISIS DE DEMANDA

Para una mejor visibilidad del resultado, todas las figuras muestran los pares preferentes de más de 100 usuarios.

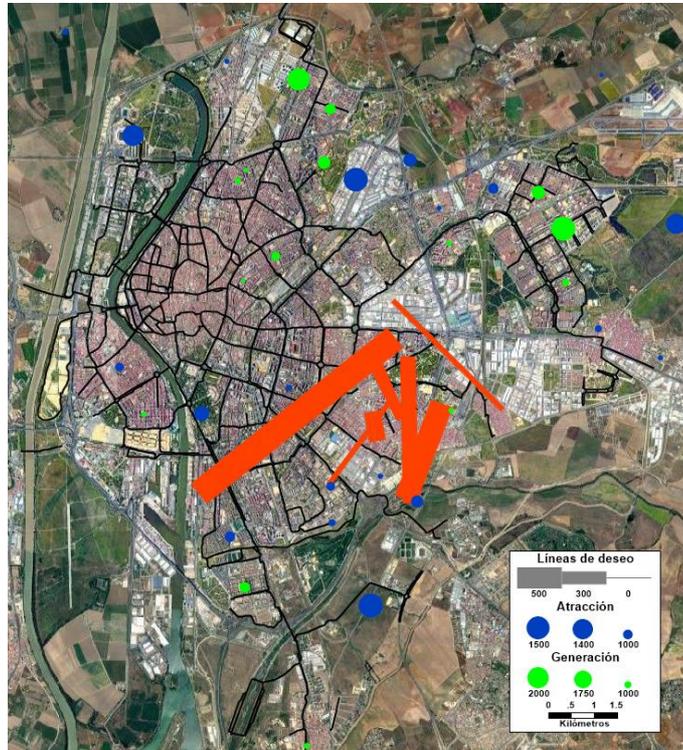


Figura Anexo E-0-1. Líneas de deseo principales. Amate

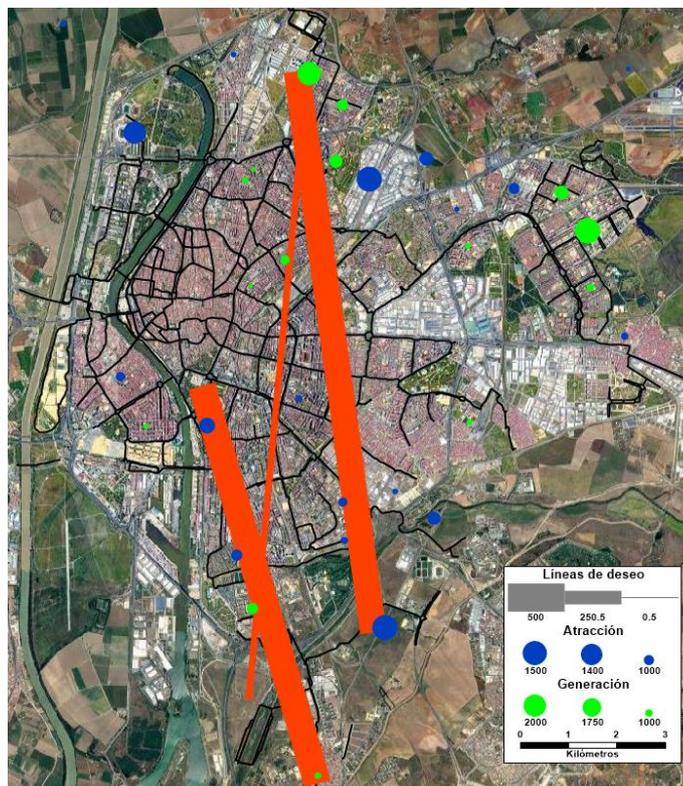


Figura Anexo E-0-2. Líneas de deseo principales. Los Bermejales – Bellavista

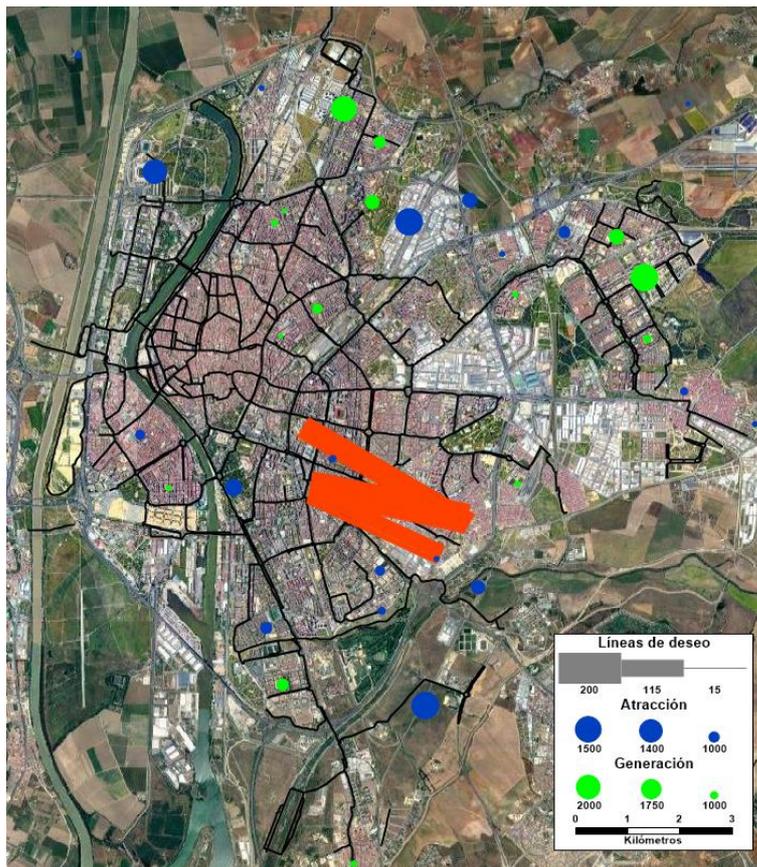


Figura Anexo E-0-3. Líneas de deseo principales. Cerro del Águila

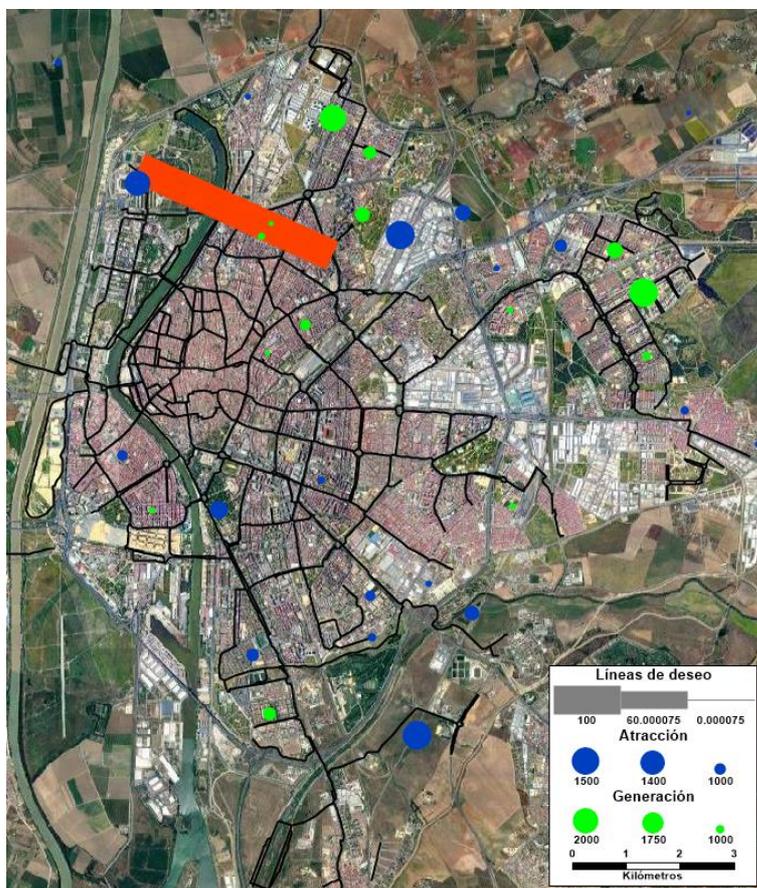


Figura Anexo E-0-4. Líneas de deseo principales. Estadio Olímpico

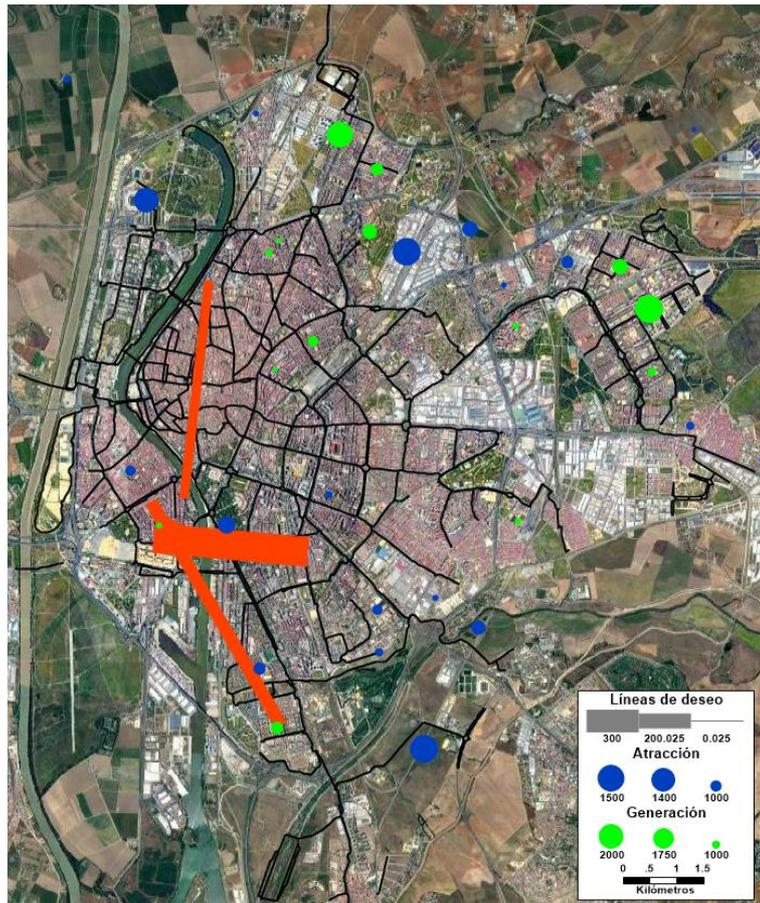


Figura Anexo E-0-5. Líneas de deseo principales. Los Remedios

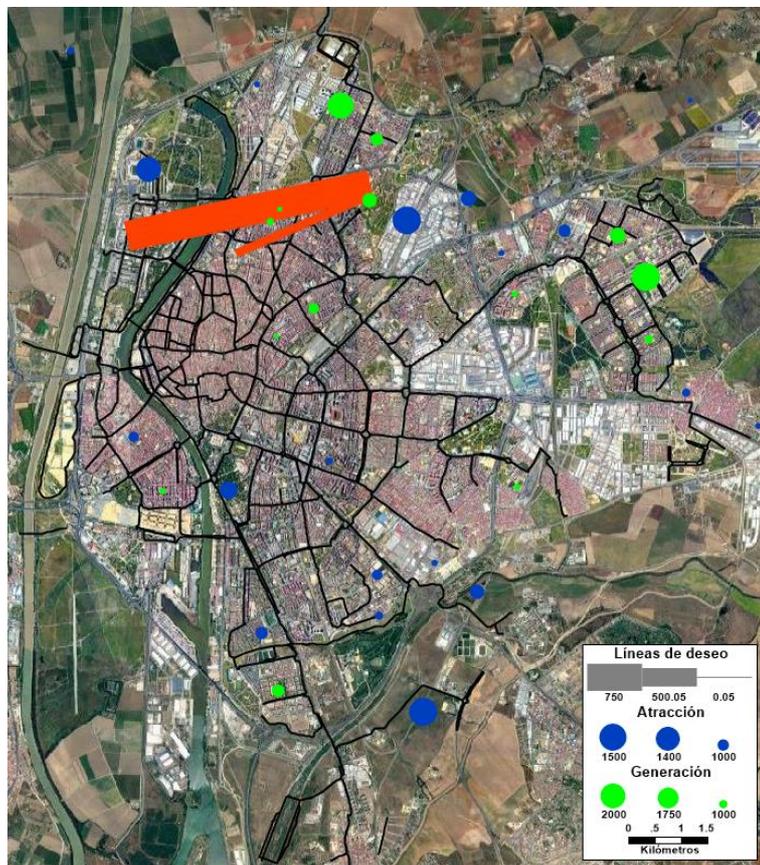


Figura Anexo E-0-6. Líneas de deseo principales. Miraflores

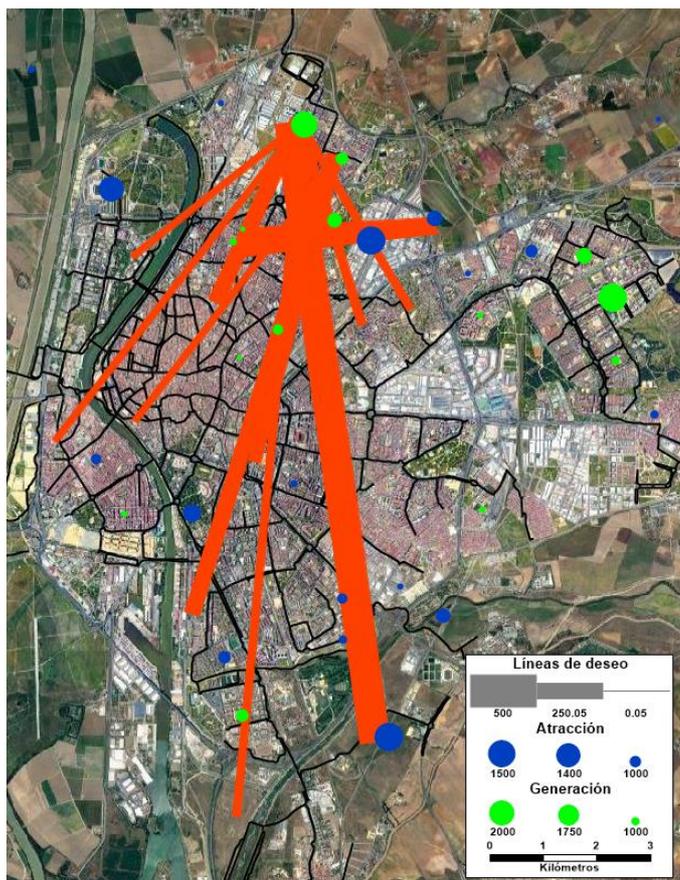


Figura Anexo E-0-7. Líneas de deseo principales. Pino Montano

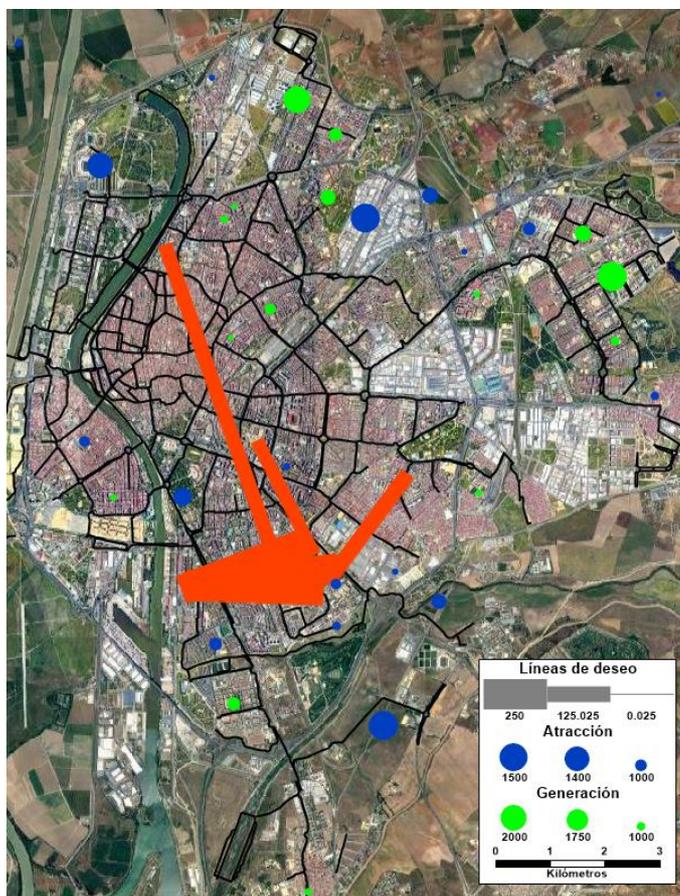


Figura Anexo E-0-8. Líneas de deseo principales. Polígono Sur

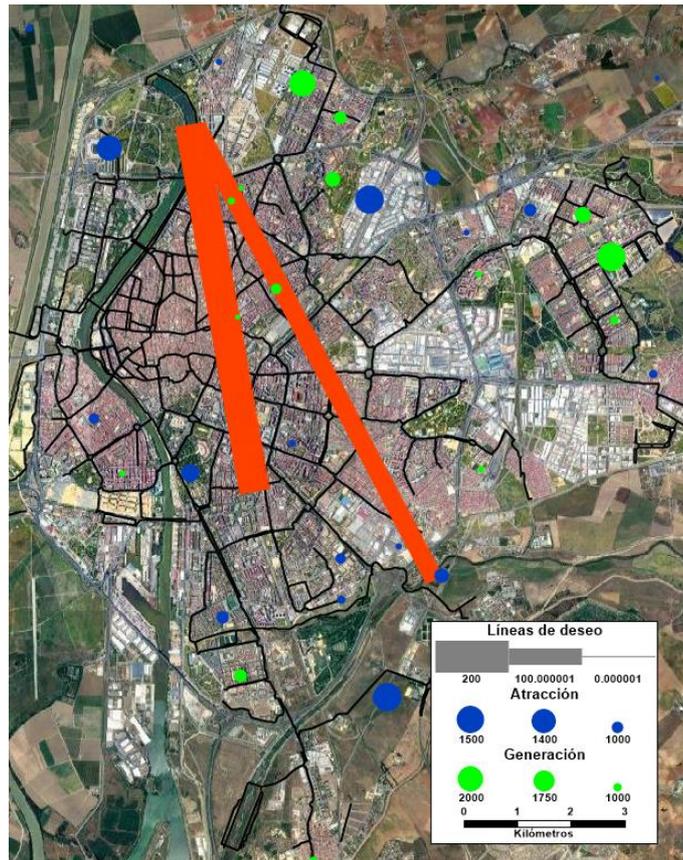


Figura Anexo E-0-9. Líneas de deseo principales. San Jerónimo

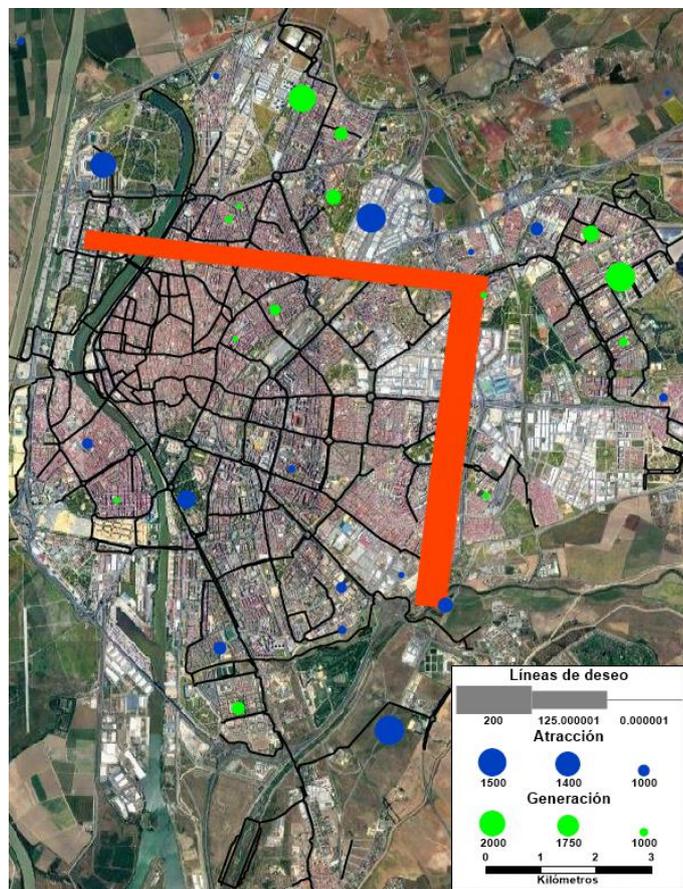


Figura Anexo E-0-10. Líneas de deseo principales. Sevilla Este

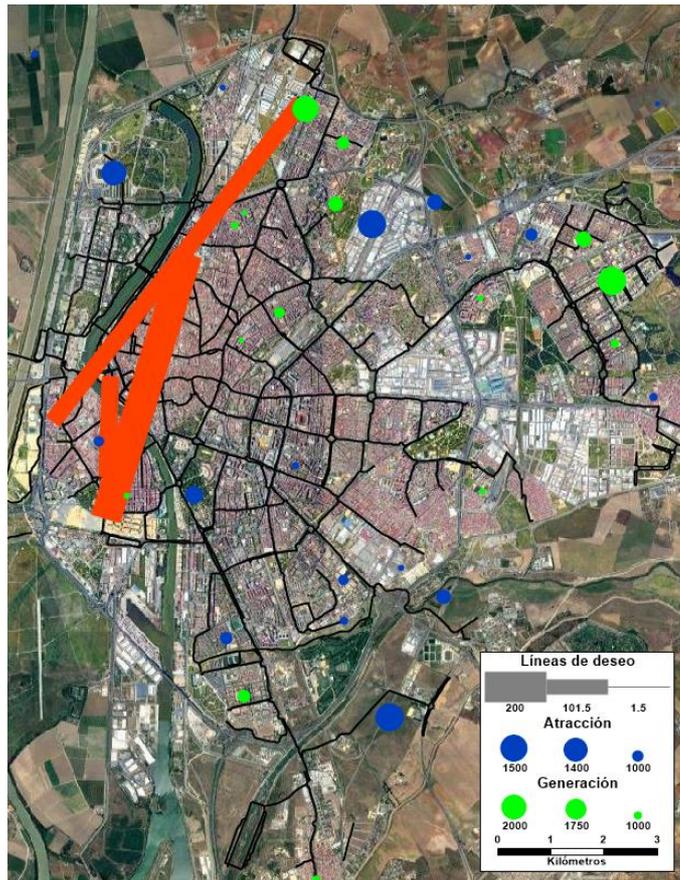


Figura Anexo E-0-11. Líneas de deseo principales. Triana

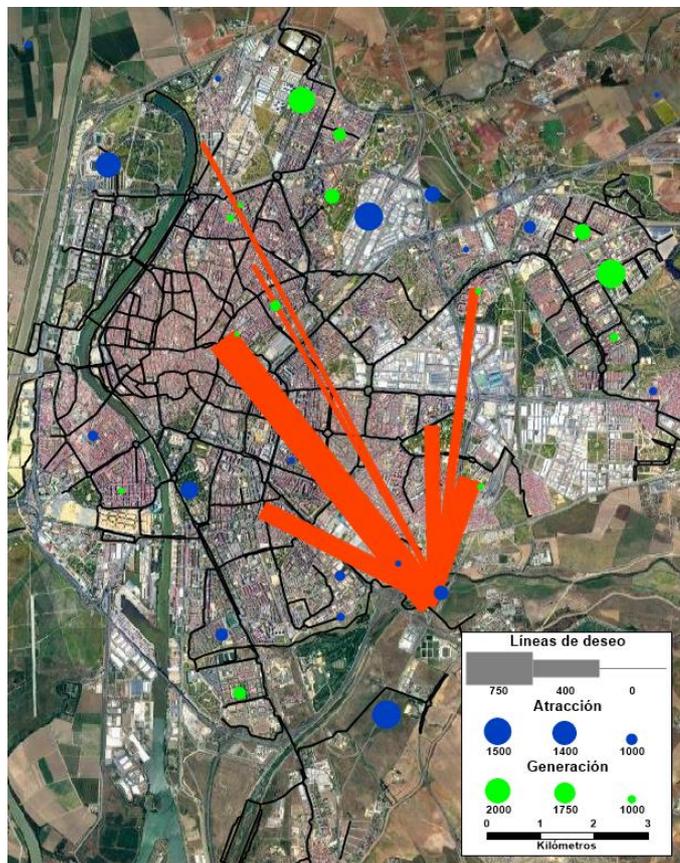


Figura Anexo E-0-12. Líneas de deseo principales. Universidad Pablo Olavide

Tabla Anexo E-0-1. Análisis de la demanda por macrosectorización

	Sevilla Este	Pino Montano	San Jerónimo	Cerro del Águila	UPO	Amate	Triana	Los Remedios	Miraflores	Estadio Olímpico	Pol. Sur - Su Eminencia	Bellavista - Los Bermejales
<i>Alameda de Hércules</i>	1	75	2	0	0	0	3	0	3	3	7	0
<i>Amate</i>	50	119	16		867			136	143	37	221	
<i>Bellavista</i>		987		14		45		141		76	19	3514
<i>Centro-Catedral</i>	2	7	0	35	0	8	16	41	26	0	0	49
<i>Cerro del Águila</i>	27	113			0	72				3		
<i>Ciudad Jardín</i>	9	50	4	33	26	6	17	22	18	7	2	94
<i>Cruz Roja - Ronda de Capuchinos</i>	93	139	45	5	101	195	40	83	69	125	60	19
<i>Duche</i>	1	37	0	0	24	21	1	3	5	0	25	0
<i>El Porvenir</i>	119	71	5	122	15	16	41	45	27	2	41	78
<i>Puerto de Sevilla (Este)</i>	1	0	2	0	0	53	0	69	0	0	18	0
<i>Estadio Olímpico</i>												
<i>Gran Plaza</i>	14	5	30	14	1	44	49	88	23	4	104	44
<i>Isla de la Cartuja - Empresas</i>	153	33	3	0	0	31	85	55	801	1	2	40
<i>Isla Mágica</i>	1	106	0	1	0	0	112	5	1	1	0	4
<i>El Juncal</i>	108	19	4	0	3	19	28	16	7	4	11	23
<i>Luis Montoto</i>	1	3	0	1	0	2	6	96	0	2	14	1
<i>Av. Menéndez Pelayo</i>	20	12	10	3	5	4	45	54	0	24	11	8
<i>Pol. Sur - Su Eminencia</i>		69		23	9			111		4		
<i>Las Almenas</i>	0	535	13	14	79	46	68	56	35	32	116	3
<i>CC Los Arcos</i>	1	3	0	12	0	16	41	5	0	0	0	15
<i>Los Bermejales</i>	21	51	6	2	9	99	88	301	2	11	376	8
<i>Los Pájaros</i>	1	27	0	6	1	985	8	3	12	2	88	16
<i>Los Remedios</i>		92	60	10			614			21		
<i>Macarena</i>	82	411	235	0	14	41	405	206	346	6	171	35
<i>Centro-Metrosol Parasol</i>	75	56	29	22	0	187	132	9	6	15	85	32
<i>Miraflores</i>	46	216	86	0	79		43	40		172	200	33
<i>Nervión</i>	297	417	75	353	1	68	244	235	52	9	206	335
<i>Ronda Tamarguillo - Clemente Hidalgo</i>	2	21	1	1	13	5	46	30	1	1	7	3
<i>UPO</i>		87						41		0		1
<i>Parque María Luisa</i>	6	54	0	13	0	1	3	0	0	0	9	4
<i>Pino Montano</i>										29		
<i>Plaza de Armas</i>	3	6	59	1	45	30	125	46	2	8	59	42
<i>Centro-Plaza de la Magdalena</i>	10	2	9	0	0	2	3	52	6	5	3	0
<i>Plaza España</i>	0	1	0	0	2	1	2	4	0	0	1	0
<i>Centro-Plaza Toros</i>	126	111	50	9	53	48	3	2	7	7	11	15
<i>Pol. Norte</i>	1	105	5	0	13	4	38	24	19	2	22	2
<i>Pol Indust Carretera Amarilla</i>	3	34	0	3	4	246	45	51	2	0	7	14
<i>Prado de San Sebastián</i>	1	3	4	9	0	1	16	7	1	1	4	13
<i>Puerto de Sevilla (Oeste)</i>	39	1	0	0	0	145	19	21	0	0	38	4
<i>Reina Mercedes</i>	62	276	1	14	0	834	25	152	1	2	1151	6
<i>San Bartolomé</i>	33	15	8	0	13	4	11	58	3	14	21	28
<i>San Bernardo</i>	2	20	1	1	13	2	11	23	2	0	3	3
<i>San Gil</i>	52	2	8	4	0	0	3	5	12	11	0	5
<i>San Jerónimo</i>	0	157		11	111		152			29	44	94
<i>San Julián</i>	5	68	27	0	0	4	14	25	31	12	158	14
<i>San Lorenzo</i>	10	59	0	1	0	14	58	1	22	1	6	0
<i>San Pablo</i>	69	272	31	72	11	161	182	165	1	12	25	103
<i>Centro-Puerta Jerez / Pal. San Telmo</i>	65	1	82	0	0	6	43	2	0	3	0	470
<i>Santa Clara</i>	3	121	2	8	0	4	15	10	5	1	4	51
<i>Zona Santa Justa</i>	152	232	7	9	681	333	439	122	2	30	18	48
<i>Sevilla Este</i>		129	3		243			41		15	18	391
<i>Tiro de Línea</i>	21	120	192	356	424	171	179	455	16	2	393	58
<i>Triana-Torre Sevilla</i>	15	11	1	0	0	21	90	8	1	0	2	3
<i>Triana</i>	303	364		9	3	34				115	54	130
TOTAL	2107	6079	1231	1199	2871	4035	3624	3191	1793	864	3923	5856

PAR	DEMANDA	PINO MONTANO-BELLAVISTA	PINO MONTANO-UPO	SEVILLA ESTE-BELLAVISTA	SEVILLA ESTE-TRIANA	LINEA CARTUJA	PINO MONTANO-TRIANA	TRIANA-CERRO DEL ÁGUILA	POÍJGONO SUR-SAN JERÓNIMO	AMATE-LA CARTUA
Pino Montano - Miraflores	216		216							
Pino Montano - Nervión	417		417							
Pino Montano - Ronda Tamarguillo - Clemente Hidalgo	21		21	21						
Pino Montano - UPO	87		87							
Pino Montano - Parque María Luisa	54	54								
Pino Montano - Plaza de Armas	6						6			
Pino Montano - Centro-Plaza de la Magdalena	2	2						2		
Pino Montano - Plaza España	1	1								
Pino Montano - Centro-Plaza Toros	111	111						111		
Pino Montano - Pol. Norte	105						105		105	
Pino Montano - Pol Indust Carretera Amarilla	34		34	34	34					
Pino Montano - Prado de San Sebastián	3	3						3		
Pino Montano - Puerto de Sevilla (Oeste)	1	1				1				
Pino Montano - Reina Mercedes	276	276								
Pino Montano - San Bartolomé	15	15								
Pino Montano - San Bernardo	20	20						20		
Pino Montano - San Gil	2						2		2	
Pino Montano - San Jerónimo	157						157			
Pino Montano - San Julián	68	68								
Pino Montano - San Lorenzo	59						59		59	59
Pino Montano - San Pablo	272		272							
Pino Montano - Centro-Puerta Jerez / Pal. San Telmo	1	1						1		
Pino Montano - Santa Clara	121		121							
Pino Montano - Zona Santa Justa	232		232							
Pino Montano - Sevilla Este	129		129	129	129					
Pino Montano - Tiro de Línea	120		120						120	
Pino Montano - Triana-Torre Sevilla	11						11			
Pino Montano - Triana	364						364			
San Jerónimo - Alameda de Hércules	2						2			2
San Jerónimo - Amate	16							16	16	
San Jerónimo - Centro-Catedral	0						0			0
San Jerónimo - Ciudad Jardín	4							4	4	
San Jerónimo - Cruz Roja - Ronda de Capuchinos	45							45	45	
San Jerónimo - Duche	0							0		
San Jerónimo - El Porvenir	5							5		
San Jerónimo - Puerto de Sevilla (Este)	2	2						2		
San Jerónimo - Gran Plaza	30							30	30	
San Jerónimo - Isla de la Cartuja - Empresas	3						3			
San Jerónimo - Isla Mágica	0						0			
San Jerónimo - El Juncal	4		4					4		
San Jerónimo - Luis Montoto	0							0		
San Jerónimo - Av. Menéndez Pelayo	10							10		
San Jerónimo - Las Almenas	13	13					13			
San Jerónimo - CC Los Arcos	0			0				0	0	
San Jerónimo - Los Bermejales	6	6						6		
San Jerónimo - Los Pájaros	0							0	0	
San Jerónimo - Los Remedios	60	60				60		60		
San Jerónimo - Macarena	235							235		
San Jerónimo - Centro-Metrosol Parasol	29							29		
San Jerónimo - Miraflores	86		86				86			
San Jerónimo - Nervión	75							75		
San Jerónimo - Ronda Tamarguillo - Clemente Hidalgo	1			1	1			1	1	
San Jerónimo - Parque María Luisa	0	0						0		
San Jerónimo - Plaza de Armas	59						59			
San Jerónimo - Centro-Plaza de la Magdalena	9						9			9
San Jerónimo - Plaza España	0	0						0		
San Jerónimo - Centro-Plaza Toros	50	50						50	50	
San Jerónimo - Pol. Norte	5							5		
San Jerónimo - Pol Indust Carretera Amarilla	0			0	0			0	0	
San Jerónimo - Prado de San Sebastián	4	4					4	4		
San Jerónimo - Puerto de Sevilla (Oeste)	0	0				0		0		
San Jerónimo - Reina Mercedes	1	1						1		
San Jerónimo - San Bartolomé	8							8		
San Jerónimo - San Bernardo	1	1					1	1		
San Jerónimo - San Gil	8							8		
San Jerónimo - San Julián	27							27	27	
San Jerónimo - San Lorenzo	0						0		0	
San Jerónimo - San Pablo	31							31	31	
San Jerónimo - Centro-Puerta Jerez / Pal. San Telmo	82	82						82	82	
San Jerónimo - Santa Clara	2		2					2	2	

PAR	DEMANDA	PINO MONTANO-BELLAVISTA	PINO MONTANO-UPO	SEVILLA ESTE-BELLAVISTA	SEVILLA ESTE-TRIANA	LINEA CARTUJA	PINO MONTANO-TRIANA	TRIANA-CERRO DEL ÁGUILA	POLÍGONO SUR-SAN JERÓNIMO	AMATE-LA CARTUJA
San Jerónimo - Zona Santa Justa	7								7	7
San Jerónimo - Sevilla Este	3				3				3	3
San Jerónimo - Tiro de Línea	192								192	
San Jerónimo - Triana-Torre Sevilla	1						1			
Cerro del Águila - Alameda de Hércules	0							0	0	
Cerro del Águila - Bellavista	14			14						
Cerro del Águila - Centro-Catedral	35				35			35	35	
Cerro del Águila - Ciudad Jardín	33							33		
Cerro del Águila - Cruz Roja - Ronda de Capuchinos	5	5						5	5	
Cerro del Águila - Duche	0							0	0	
Cerro del Águila - El Porvenir	122							122		
Cerro del Águila - Puerto de Sevilla (Este)	0			0						
Cerro del Águila - Gran Plaza	14							14		
Cerro del Águila - Isla de la Cartuja - Empresas	0							0	0	0
Cerro del Águila - Isla Mágica	1							1	1	1
Cerro del Águila - El Juncal	0							0		
Cerro del Águila - Luis Montoto	1		1		1			1		
Cerro del Águila - Av. Menéndez Pelayo	3							3	3	
Cerro del Águila - Pol. Sur - Su Eminencia	23			23						
Cerro del Águila - Las Almenas	14	14						14	14	
Cerro del Águila - CC Los Arcos	12			12						
Cerro del Águila - Los Bermejales	2			2						
Cerro del Águila - Los Pájaros	6			6						
Cerro del Águila - Los Remedios	10	10		10		10				
Cerro del Águila - Macarena	0							0	0	
Cerro del Águila - Centro-Metrosol Parasol	22							22	22	
Cerro del Águila - Miraflores	0		0					0		0
Cerro del Águila - Nervión	353		353					353		
Cerro del Águila - Ronda Tamarguillo - Clemente Hidalgo	1			1						
Cerro del Águila - Parque María Luisa	13	13						13		
Cerro del Águila - Plaza de Armas	1						1	1		
Cerro del Águila - Centro-Plaza de la Magdalena	0							0	0	
Cerro del Águila - Plaza España	0							0		
Cerro del Águila - Centro-Plaza Toros	9							9		
Cerro del Águila - Pol. Norte	0							0	0	
Cerro del Águila - Pol Indust Carretera Amarilla	3			3						
Cerro del Águila - Prado de San Sebastián	9							9		
Cerro del Águila - Puerto de Sevilla (Oeste)	0	0		0		0				
Cerro del Águila - Reina Mercedes	14			14						
Cerro del Águila - San Bartolomé	0							0	0	
Cerro del Águila - San Bernardo	1							1		
Cerro del Águila - San Gil	4							4	4	
Cerro del Águila - San Jerónimo	11							11	11	
Cerro del Águila - San Julián	0	0						0	0	
Cerro del Águila - San Lorenzo	1							1	1	1
Cerro del Águila - San Pablo	72							72		72
Cerro del Águila - Centro-Puerta Jerez / Pal. San Telmo	0							0		
Cerro del Águila - Santa Clara	8			8						
Cerro del Águila - Zona Santa Justa	9		9					9		
Cerro del Águila - Tiro de Línea	356			356					356	
Cerro del Águila - Triana-Torre Sevilla	0						0	0		
Cerro del Águila - Triana	9							9		
UPO - Alameda de Hércules	0		0						0	0
UPO - Amate	867			867						
UPO - Centro-Catedral	0		0		0				0	
UPO - Cerro del Águila	0			0						
UPO - Ciudad Jardín	26			26				26		
UPO - Cruz Roja - Ronda de Capuchinos	101	101	101						101	101
UPO - Duche	24		24						24	
UPO - El Porvenir	15		15							
UPO - Puerto de Sevilla (Este)	0			0						
UPO - Estadio Olímpico	0		0			0			0	0
UPO - Gran Plaza	1			1				1		
UPO - Isla de la Cartuja - Empresas	0		0			0			0	0
UPO - Isla Mágica	0		0			0			0	0
UPO - El Juncal	3			3				3		
UPO - Luis Montoto	0		0		0					
UPO - Av. Menéndez Pelayo	5		5						5	
UPO - Pol. Sur - Su Eminencia	9			9						
UPO - Las Almenas	79	79	79							
UPO - CC Los Arcos	0			0						

PAR	DEMANDA	PINO MONTANO-BELLAVISTA	PINO MONTANO-UPO	SEVILLA ESTE-BELLAVISTA	SEVILLA ESTE-TRIANA	LINEA CARTUJA	PINO MONTANO-TRIANA	TRIANA-CERRO DEL ÁGUILA	POLÍGONO SUR-SAN JERÓNIMO	AMATE-LA CARTUA
Amate - Centro-Puerta Jerez / Pal. San Telmo	6			6				6		
Amate - Santa Clara	4			4						
Amate - Zona Santa Justa	333		333							333
Amate - Tiro de Línea	171		171	171						
Amate - Triana-Torre Sevilla	21				21		21			21
Amate - Triana	34				34					34
Triana - Alameda de Hércules	3				3					
Triana - Centro-Catedral	16				16					
Triana - Ciudad Jardín	17				17					17
Triana - Cruz Roja - Ronda de Capuchinos	40	40			40					
Triana - Duche	1				1					
Triana - El Porvenir	41				41				41	
Triana - Puerto de Sevilla (Este)	0	0				0				
Triana - Gran Plaza	49				49					49
Triana - Isla de la Cartuja - Empresas	85					85				
Triana - Isla Mágica	112					112				
Triana - El Juncal	28			28				28		
Triana - Luis Montoto	6				6					
Triana - Av. Menéndez Pelayo	45				45					
Triana - Las Almenas	68	68			68					
Triana - CC Los Arcos	41				41					
Triana - Los Bermejales	88	88				88				
Triana - Los Pájaros	8				8					
Triana - Los Remedios	614					614				
Triana - Macarena	405						405			
Triana - Centro-Metrosol Parasol	132				132					
Triana - Miraflores	43	43	43		43				43	
Triana - Nervión	244		244		244					
Triana - Ronda Tamarquillo - Clemente Hidalgo	46			46	46					
Triana - Parque María Luisa	3							3		
Triana - Plaza de Armas	125						125			
Triana - Centro-Plaza de la Magdalena	3				3					
Triana - Plaza España	2							2		
Triana - Centro-Plaza Toros	3							3		
Triana - Pol. Norte	38				38				38	
Triana - Pol Indust Carretera Amarilla	45				45					
Triana - Prado de San Sebastián	16							16		
Triana - Puerto de Sevilla (Oeste)	19					19				
Triana - Reina Mercedes	25	25				25				
Triana - San Bartolomé	11				11				11	
Triana - San Bernardo	11							11		
Triana - San Gil	3				3				3	
Triana - San Jerónimo	152						152			
Triana - San Julián	14	14			14				14	
Triana - San Lorenzo	58						58			
Triana - San Pablo	182		182		182					
Triana - Centro-Puerta Jerez / Pal. San Telmo	43							43		
Triana - Santa Clara	15		15		15					
Triana - Zona Santa Justa	439		439							
Triana - Tiro de Línea	179							179	179	
Triana - Triana-Torre Sevilla	90					90				
Los Remedios - Alameda de Hércules	0				0	0				
Los Remedios - Amate	136							136		136
Los Remedios - Bellavista	141	141				141				
Los Remedios - Centro-Catedral	41				41	41				
Los Remedios - Ciudad Jardín	22							22		
Los Remedios - Cruz Roja - Ronda de Capuchinos	83	83				83				
Los Remedios - Duche	3	3				3			3	
Los Remedios - El Porvenir	45							45	45	
Los Remedios - Puerto de Sevilla (Este)	69	69				69				
Los Remedios - Gran Plaza	88							88		
Los Remedios - Isla de la Cartuja - Empresas	55					55				
Los Remedios - Isla Mágica	5					5				
Los Remedios - El Juncal	16	16		16		16				
Los Remedios - Luis Montoto	96	96			96			96		
Los Remedios - Av. Menéndez Pelayo	54	54						54		
Los Remedios - Pol. Sur - Su Eminencia	111	111		111		111				
Los Remedios - Las Almenas	56	56				56				
Los Remedios - CC Los Arcos	5	5			5			5		
Los Remedios - Los Bermejales	301	301				301				
Los Remedios - Los Pájaros	3			3				3		3

PAR	DEMANDA	PINO MONTANO-BELLAVISTA	PINO MONTANO-UPO	SEVILLA ESTE-BELLAVISTA	SEVILLA ESTE-TRIANA	LINEA CARTUJA	PINO MONTANO-TRIANA	TRIANA-CERRO DEL ÁGUILA	POLÍGONO SUR-SAN JERONIMO	AMATE-LA CARTUA
Los Remedios - Macarena	206				206	206			206	206
Los Remedios - Centro-Metrosol Parasol	9				9	9				
Los Remedios - Miraflores	40	40	40		40	40				
Los Remedios - Nervión	235		235					235		
Los Remedios - Ronda Tamarguillo - Clemente Hidalgo	30			30				30		30
Los Remedios - UPO	41		41					41		
Los Remedios - Parque María Luisa	0	0				0				
Los Remedios - Plaza de Armas	46					46	46			
Los Remedios - Centro-Plaza de la Magdalena	52				52	52				
Los Remedios - Plaza España	4	4				4				
Los Remedios - Centro-Plaza Toros	2							2		
Los Remedios - Pol. Norte	24				24	24			24	24
Los Remedios - Pol Indust Carretera Amarilla	51	51			51	51				
Los Remedios - Prado de San Sebastián	7							7		
Los Remedios - Puerto de Sevilla (Oeste)	21					21				
Los Remedios - Reina Mercedes	152	152				152				
Los Remedios - San Bartolomé	58				58	58			58	
Los Remedios - San Bernardo	23							23		
Los Remedios - San Gil	5				5	5			5	
Los Remedios - San Julián	25	25			25	25			25	
Los Remedios - San Lorenzo	1						1	1		
Los Remedios - San Pablo	165	165	165		165			165	165	
Los Remedios - Centro-Puerta Jerez / Pal. San Telmo	2							2		
Los Remedios - Santa Clara	10	10	10		10			10	10	
Los Remedios - Zona Santa Justa	122	122	122		122			122	122	
Los Remedios - Sevilla Este	41	41			41			41		
Los Remedios - Tiro de Línea	455							455	455	
Los Remedios - Triana-Torre Sevilla	8					8	8			
Miraflores - Alameda de Hércules	3	3	3							3
Miraflores - Amate	143		143	143						
Miraflores - Centro-Catedral	26	26	26		26					
Miraflores - Ciudad Jardín	18		18							18
Miraflores - Cruz Roja - Ronda de Capuchinos	69	69	69							
Miraflores - Duche	5	5	5		5					
Miraflores - El Porvenir	27		27						27	
Miraflores - Puerto de Sevilla (Este)	0	0	0							
Miraflores - Gran Plaza	23		23							23
Miraflores - Isla de la Cartuja - Empresas	801		801				801			
Miraflores - Isla Mágica	1		1				1			
Miraflores - El Juncal	7		7					7		
Miraflores - Luis Montoto	0		0		0					
Miraflores - Av. Menéndez Pelayo	0	0	0							
Miraflores - Las Almenas	35	35	35							
Miraflores - CC Los Arcos	0		0	0	0					
Miraflores - Los Bermejales	2	2	2							
Miraflores - Los Pájaros	12		12	12						
Miraflores - Macarena	346		346				346		346	
Miraflores - Centro-Metrosol Parasol	6	6	6						6	
Miraflores - Nervión	52		52							
Miraflores - Ronda Tamarguillo - Clemente Hidalgo	1		1	1						
Miraflores - Parque María Luisa	0	0	0							
Miraflores - Plaza de Armas	2		2				2			
Miraflores - Centro-Plaza de la Magdalena	6	6	6						6	
Miraflores - Plaza España	0	0	0							
Miraflores - Centro-Plaza Toros	7	7	7		7			7	7	
Miraflores - Pol. Norte	19		19				19		19	
Miraflores - Pol Indust Carretera Amarilla	2		2	2	2					
Miraflores - Prado de San Sebastián	1	1	1					1		
Miraflores - Puerto de Sevilla (Oeste)	0	0	0					0		
Miraflores - Reina Mercedes	1	1	1							
Miraflores - San Bartolomé	3	3	3							
Miraflores - San Bernardo	2		2					2	2	
Miraflores - San Gil	12	12	12							12
Miraflores - San Julián	31	31	31							
Miraflores - San Lorenzo	22	22	22							22
Miraflores - San Pablo	1		1							
Miraflores - Centro-Puerta Jerez / Pal. San Telmo	0	0	0					0		
Miraflores - Santa Clara	5		5							
Miraflores - Zona Santa Justa	2		2							
Miraflores - Tiro de Línea	16		16						16	

PAR	DEMANDA	PINO MONTANO-BELLAVISTA	PINO MONTANO-UPO	SEVILLA ESTE-BELLAVISTA	SEVILLA ESTE-TRIANA	LINEA CARTUJA	PINO MONTANO-TRIANA	TRIANA-CERRO DEL ÁGUILA	POLÍGONO SUR-SAN JERÓNIMO	AMATE-LA CARTUJA
Miraflores - Triana-Torre Sevilla	1		1				1			
Estadio Olímpico - Alameda de Hércules	3					3				3
Estadio Olímpico - Amate	37					37				37
Estadio Olímpico - Bellavista	76	76				76	76			
Estadio Olímpico - Centro-Catedral	0			0	0	0				
Estadio Olímpico - Cerro del Águila	3					3	3	3		
Estadio Olímpico - Ciudad Jardín	7					7				7
Estadio Olímpico - Cruz Roja - Ronda de Capuchinos	125					125				125
Estadio Olímpico - Duche	0					0				0
Estadio Olímpico - El Porvenir	2					2	2	2		
Estadio Olímpico - Puerto de Sevilla (Este)	0	0				0	0			
Estadio Olímpico - Gran Plaza	4					4				4
Estadio Olímpico - Isla de la Cartuja - Empresas	1					1				
Estadio Olímpico - Isla Mágica	1					1				
Estadio Olímpico - El Juncal	4					4	4	4		
Estadio Olímpico - Luis Montoto	2			2	2	2	2			
Estadio Olímpico - Av. Menéndez Pelayo	24			24	24	24	24			
Estadio Olímpico - Las Almenas	32	32				32	32			
Estadio Olímpico - CC Los Arcos	0			0	0	0			0	0
Estadio Olímpico - Los Bermejales	11	11				11	11			
Estadio Olímpico - Los Pájaros	2			2	2	2				2
Estadio Olímpico - Los Remedios	21					21				
Estadio Olímpico - Macarena	6					6	6		6	
Estadio Olímpico - Centro-Metrosol Parasol	15					15				15
Estadio Olímpico - Miraflores	172		172			172	172			
Estadio Olímpico - Nervión	9	9	9			9				9
Estadio Olímpico - Ronda Tamarguillo - Clemente Hidalgo	1			1		1				1
Estadio Olímpico - Parque María Luisa	0	0				0	0			
Estadio Olímpico - Pino Montano	29					29	29			
Estadio Olímpico - Plaza de Armas	8					8	8			
Estadio Olímpico - Centro-Plaza de la Magdalena	5					5				5
Estadio Olímpico - Plaza España	0					0	0	0		
Estadio Olímpico - Centro-Plaza Toros	7					7	7			
Estadio Olímpico - Pol. Norte	2					2			2	
Estadio Olímpico - Pol Indust Carretera Amarilla	0			0	0	0				0
Estadio Olímpico - Prado de San Sebastián	1					1	1	1		
Estadio Olímpico - Puerto de Sevilla (Oeste)	0					0				
Estadio Olímpico - Reina Mercedes	2	2				2	2			
Estadio Olímpico - San Bartolomé	14					14				14
Estadio Olímpico - San Bernardo	0					0	0	0		
Estadio Olímpico - San Gil	11					11				11
Estadio Olímpico - San Jerónimo	29					29			29	
Estadio Olímpico - San Julián	12					12				12
Estadio Olímpico - San Lorenzo	1					1				1
Estadio Olímpico - San Pablo	12					12				12
Estadio Olímpico - Centro-Puerta Jerez / Pal. San Telmo	3					3	3	3		
Estadio Olímpico - Santa Clara	1					1				1
Estadio Olímpico - Zona Santa Justa	30	30				30				30
Estadio Olímpico - Sevilla Este	15			15	15	15				15
Estadio Olímpico - Tiro de Línea	2					2		2	2	
Estadio Olímpico - Triana-Torre Sevilla	0					0				
Estadio Olímpico - Triana	115					115				
Pol. Sur - Su Eminencia - Alameda de Hércules	7								7	
Pol. Sur - Su Eminencia - Amate	221			221						
Pol. Sur - Su Eminencia - Bellavista	19			19						
Pol. Sur - Su Eminencia - Centro-Catedral	0			0					0	
Pol. Sur - Su Eminencia - Ciudad Jardín	2			2				2		
Pol. Sur - Su Eminencia - Cruz Roja - Ronda de Capuchinos	60	60								60
Pol. Sur - Su Eminencia - Duche	25			25					25	
Pol. Sur - Su Eminencia - El Porvenir	41								41	
Pol. Sur - Su Eminencia - Puerto de Sevilla (Este)	18			18						
Pol. Sur - Su Eminencia - Estadio Olímpico	4					4			4	
Pol. Sur - Su Eminencia - Gran Plaza	104			104				104		
Pol. Sur - Su Eminencia - Isla de la Cartuja - Empresas	2								2	2
Pol. Sur - Su Eminencia - Isla Mágica	0								0	0
Pol. Sur - Su Eminencia - El Juncal	11			11				11		
Pol. Sur - Su Eminencia - Luis Montoto	14		14		14					14
Pol. Sur - Su Eminencia - Av. Menéndez Pelayo	11								11	
Pol. Sur - Su Eminencia - Las Almenas	116	116								116
Pol. Sur - Su Eminencia - CC Los Arcos	0			0						

<i>PAR</i>	DEMANDA	PINO MONTANO-BELLAVISTA	PINO MONTANO-UPO	SEVILLA ESTE-BELLAVISTA	SEVILLA ESTE-TRIANA	LINEA CARTUJA	PINO MONTANO-TRIANA	TRIANA-CERRO DEL ÁGUILA	POLÍGONO SUR-SAN JERÓNIMO	AMATE-LA CARTUA
<i>Bellavista - San Jerónimo</i>	94	94							94	
<i>Bellavista - San Julián</i>	14	14								
<i>Bellavista - San Lorenzo</i>	0	0			0					0
<i>Bellavista - San Pablo</i>	103		103	103					103	
<i>Bellavista - Centro-Puerta Jerez / Pal. San Telmo</i>	470	470								
<i>Bellavista - Santa Clara</i>	51		51	51					51	
<i>Bellavista - Zona Santa Justa</i>	48		48	48					48	
<i>Bellavista - Sevilla Este</i>	391			391						
<i>Bellavista - Tiro de Línea</i>	58			58					58	
<i>Bellavista - Triana-Torre Sevilla</i>	3	3					3			
<i>Bellavista - Triana</i>	130	130				130				
TOTAL	33270	6792	10409	8889	4690	3975	4223	3824	7985	3210

ANEXO F.- MAPA ESQUEMÁTICO DE LA RED DE BICICLETA DE SEVILLA

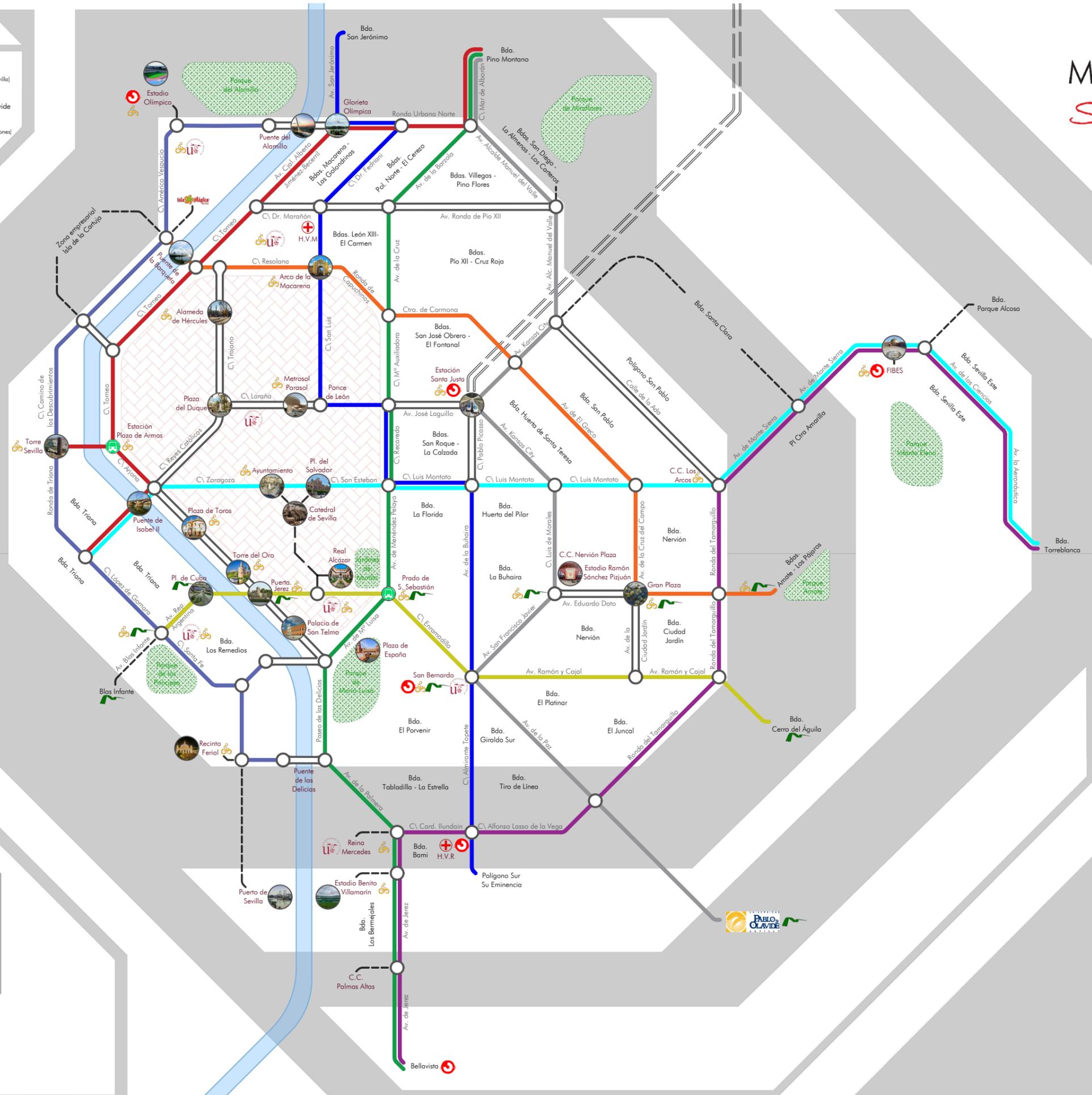
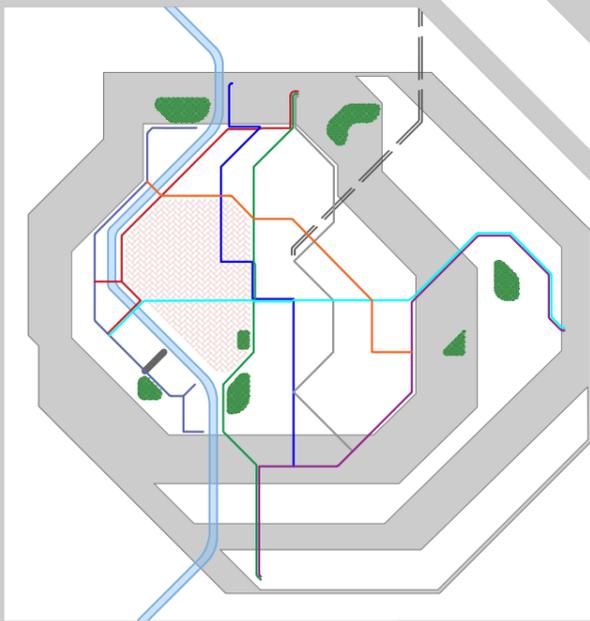
SIMBOLOGÍA - Key to Map Symbols

- | | | | | | |
|--|--|--|---|--|--|
| | Centro Histórico
Historic Center | | Intersecciones
Intersections | | Facultades (Universidad de Sevilla)
Schools (University of Seville) |
| | Parques y Jardines
Parks | | Estación de Autobús
Bus Station | | Universidad Pablo de Olavide
Pablo de Olavide University |
| | Río Guadalquivir
Guadalquivir River | | Estación de Cercanías
Commuter Train Station | | Isla Mágica (parque de atracciones)
Isla Mágica (theme park) |
| | Vías de Tren
Railway Tracks | | Estación de Metro
Underground Station | | |
| | Accesos
Accesses | | Estación Sevici
Sevici Station | | |
| | Transbordos
Transfers | | Hospital Público
Public Hospital | | |

LÍNEAS - Lines

- Línea 1:
Pino Montano - UPO
- Línea 2:
Bellavista - Sevilla Este
- Línea 3:
San Jerónimo - Pol. Sur
- Línea 4:
Pino Montano - Bellavista
- Línea 5:
Triana - Sevilla Este
- Línea 6:
Triana - Pino Montano
- Línea 7:
Estadio Olímpico - Los Remedios
- Línea 8:
Triana - Cerro del Águila
- Línea 9:
Isla de la Cartuja - Amate

RESUMEN DE LÍNEAS - Lines Diagram



METRO-BICI
SEVILLA

REFERENCIAS

- [1] CEDEX - Ministerio de Fomento (Plan Nacional I+D+i 2004-2007), PROBICI - Guía de la Movilidad Ciclista, 2010.
- [2] Red CiViNET España y Portugal, Las Ciudades y la Bicicleta, 2015.
- [3] Comisión Europea, «SMILE - Sustainable Mobility Initiative for Local Environment,» [En línea]. Available: <http://ec.europa.eu/>.
- [4] COPENHAGENIZE DESIGN CO., «Copenhagenize Index,» [En línea]. Available: <http://copenhagenizeindex.eu/>.
- [5] Gerencia de Urbanismo de Sevilla. Ayuntamiento de Sevilla., «ide.SEVILLA,» [En línea]. Available: <http://sig.urbanismosevilla.org/sevilla.art/datosabiertos/index.html>. [Último acceso: 03 04 2019].
- [6] Ministerio de Hacienda, «Sede Electrónica del Catastro,» Gobierno de España, [En línea]. Available: <https://www.sedecatastro.gob.es/>. [Último acceso: 2019].
- [7] Consejería de Economía, Conocimiento, Empresas y Universidad, «Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía,» Junta de Andalucía, [En línea]. Available: <http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/>. [Último acceso: 02 04 2019].
- [8] Sistema Integral de la Bicicleta de la Universidad de Sevilla (SIBUS), «Investigación sobre el uso de la bicicleta en la ciudad de Sevilla, 2011,» Sevilla, Septiembre 2012 versión revisada junio 2015.
- [9] B. Ortiz de Pinedo Requerey, Análisis macroscópico de la movilidad en bicicleta en la ciudad de Sevilla, Sevilla, 2017.
- [10] C. Fresneda, «La igualdad llega a las dos ruedas,» *El mndo*, 15 10 2018.
- [11] H. B. Mann y D. R. Whitney, «On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other,» *The Annals of Mathematical Statistics*, vol. 18, nº 1, pp. 50-60, 1947.
- [12] S. S. Shapiro y M. B. Wilk, «An analysis of variance test for normality (complete samples),» *Biometrika*, vol. 52, nº 3/4, pp. 591-611, 1965.
- [13] W. H. Kruskal y W. A. Wallis, «Use of ranks in one-criterion variance analysis,» *Journal of the American Statistical Association*, vol. 47, nº 260, pp. 583-621, 1952.
- [14] Ayuntamiento de Sevilla, «Estudio sobre el uso de la bicicleta en la ciudad de Sevilla,» 2010.
- [15] Junta de Andalucía, «Información estadística relevante para la política municipal de vivienda. Sevilla,» Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía - Consejería de Economía, Conocimiento, Empresas y Universidad, [En línea]. Available: <http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/>.

- [16] Ayuntamiento de Sevilla, «Urbanismo aprueba y remite al pleno el convenio entre la Junta y el Ayuntamiento para construir 17 nuevos kilómetros de carriles bici en Sevilla,» Gerencia de Urbanismo, [En línea]. Available: <https://www.urbanismosevilla.org/>.
- [17] Ayuntamiento de Sevilla, «Evolución entre años 2006-2017,» Gerencia de Urbanismo, [En línea]. Available: <https://www.urbanismosevilla.org/>.
- [18] H. Van Zuyleen y L. Willumsen, «The most likely trip matrix estimated from traffic,» *Transportation Research*, vol. 14B, pp. 281-293, 1980.
- [19] M. Bell, «The estimation of an origin-destination matrix from traffic counts,» *Transportation Science*, vol. 17, pp. 198-217, 1983.
- [20] S. Nguyen, «Estimating an O-D matrix from network data: A network equilibrium approach,» de *Publication 87, Centre de recherche sur les transports (CRT)*, Université de Montréal, Montréal, Canada, 1977.
- [21] L. LeBlanc y K. Farhangian, «election of a trip table which reproduces observed link flows,» *Transportation Research*, vol. 22B, pp. 83-88, 1982.
- [22] E. Cascetta, «Estimation of trip matrices from traffic counts and survey data: A generalized least squares estimator,» *Transportation Research*, vol. 18B, pp. 289-299, 1984.
- [23] L. Willumsen, «Estimating time-dependent trip matrices from traffic counts,» de *Proceedings of Ninth international symposium on transportation and traffic theory*, The Netherlands, Utrecht, 1984, pp. 397-411.
- [24] M. Brenninger-Göthe, K. Jornsten y J. Lundgren, «Estimation of origin/destination matrices from traffic counts using multiobjective programming formulation,» *Transportation Research*, vol. 23B, pp. 257-269, 1989.
- [25] M. D. Alvarado, «Este mes de mayo, el más lluvioso en Sevilla desde 1957,» *ABC*, 13 05 2016.
- [26] Junta de Andalucía, «Directorio de Establecimientos y Empresas con actividad económica en Andalucía,» Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, 2017. [En línea]. Available: <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/>. [Último acceso: 28 06 2019].
- [27] M. Beckmann, C. McGuire y C. Winsten, *Studies in the Economics of Transportation*, New Have: Yale University Press, 1956.
- [28] J. d. D. Ortúzar y L. Willumsen, *Modelling Transport* (third edition), Chichester (UK): John Wiley & Sons, 2002.
- [29] L. M. Bregman, «The relaxation method of finding the common points of convex sets and its application to the solution of problems in convex programming,» *USSR Computational Mathematics and Mathematical Physics*, vol. 7, n° 3, pp. 200-217, 1967-b.
- [30] E. Rouché-Fröbenius, «Sur la discussion des equations du premier degré,» 1875.
- [31] K. P. Furness, «Time function iteration,» *Traffic Engineering and Control*, vol. 7, n° 7, pp. 458-460, 1965.
- [32] J. G. Wardrop, «Some theoretical aspects of road traffic research,» *Proceedings of the Institute of Civil*

Engineers, vol. Part II, pp. 325-378, 1952.

- [33] Y. Sheffi, *Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods*, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1985.
- [34] Ayuntamiento de Sevilla, «Oficina de la Bicicleta,» [En línea]. Available: <http://www.sevilla.org/sevillaenbici/>.
- [35] P. Naess, *Urban Structure Matters: Residential Location, Car Dependence, and Travel Behavior.*, London: Routledge, 2006.
- [36] R. Ewing, K. Bartholomew, S. Winkelman, J. Walters y D. and Chen, *rowing Cooler: The Evidence on Urban Development and Climate Change*, Washington, DC: Urban Land Institute, 2008.
- [37] R. Sims, R. Schaeffer, F. Creutzig, X. Cruz-Núñez, M. D'Agosto, D. Dimitriu, M. Figueroa Meza, L. Fulton, S. Kobayashi, O. Lah, A. McKinnon, P. Newman, M. Ouyang, J. Schauer, D. Sperling y G. Tiwari, *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge & New York: Cambridge University Press, 2014.
- [38] N. a. H. J. Foletta, *ow Car(Bon) Communities: Inspiring Car-Free and Car-Lite Urban Futures.*, New York: Routledge, 2016.
- [39] I. Ajzen, «From intentions to actions: A theory of planned behavior.,» *In Action control*, pp. 11-39, 1985.
- [40] J. Henderson y N. M. Gulsrud, *Street Fights in Copenhagen*, United Kingdom: Routledge, 2019.
- [41] Cedar Lake Ventures, Inc., «Weather Spark,» [En línea]. Available: <https://es.weatherspark.com/>. [Último acceso: 23 06 2019].
- [42] K. Lopez, A. Tragellis y A. Ilyashenko, «Cycle Guide DK,» [En línea]. Available: <http://cycleguide.dk>. [Último acceso: 23 06 2019].
- [43] M. Maher, «Inferences on trip matrices from observations on link volumes: A Bayesian statistical approach,» *Transportation Research*, vol. 20B, pp. 435-447, 1983.
- [44] PRESTO, *Cycling Policy Guide: Cycling Infrastructure*, 2010b.

GLOSARIO

EBMICCP16: Encuestas a Bicicletas del Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos 2016	7, 32
EBMICCP18: Encuestas a Bicicletas del Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos 2018	7, 32
EDM07: Matriz de la Encuesta Domiciliaria de Movilidad 2007	31, 32
EPMICCP18: Encuestas a Peatones del Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos 2018	7
ICCP: Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	7, 35
OD: Origen-Destino	10, 31, 32, 33, 34, 35, 38, 39, 40, 41, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 57, 58, 59, 71, 77, 85
SIBUS: Sistema Integral de la Bicicleta de la Universidad de Sevilla	7
TAZ: Traffic Analysis zone	10, 40, 42, 43, 45, 48, 52, 63, 85

