

Trabajo Fin de Grado

Ingeniería Civil

Análisis del Sistema de Transporte Público de la ciudad de Sevilla mediante simulaciones macroscópicas. Modelo de distribución de viajes de Metro de Sevilla.

Autor: Elena Cuenca García

Tutor: Luis Miguel Romero Pérez

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

Sevilla, 2019



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería Civil

Análisis del Sistema de Transporte Público de la ciudad de Sevilla mediante simulaciones macroscópicas. Modelo de distribución de viajes de Metro de Sevilla.

Autor:

Elena Cuenca García

Tutor:

Luis Miguel Romero Pérez

Ingeniería e Infraestructura de los Transportes

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

Trabajo Fin de Grado: Análisis del Sistema de Transporte Público de la ciudad de Sevilla mediante simulaciones macroscópicas. Modelo de distribución de viajes de Metro de Sevilla.

Autor: Elena Cuenca García
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

A mi Abuela

Agradecimientos

No quería dejar pasar la oportunidad de agradecer a los que han estado en esta etapa de estudios en la Escuela, que se termina tras la defensa de este trabajo.

A mis padres, por darme la oportunidad de estudiar lo que deseaba y mostrarme su constante apoyo en estos intensos años de estudio. Lo que soy es siempre gracias a vosotros y no existen palabras para agradeceros tanto.

A mi familia, por sus muestras de cariño que han sido un impulso para seguir.

A mis amigos que han vivido conmigo esta etapa y que estarán en la siguiente.

A Isabel Chamizo, por tantísimo. Estos años serían imposible entenderlos sin ella. Qué suerte la de haberme encontrado contigo. Gracias por los miles de detalles y recoger este camino juntas.

A mis amigos que un día fueron compañeros de clase, las experiencias que hemos compartido son imborrables.

Al personal del Consorcio de Transportes del Área Metropolitana de Sevilla, especialmente a Marcos y Elena, por enseñarme tanto de este mundo.

A mi tutor, Luis Miguel Romero, por la constante entrega y disposición durante estos meses. Por enseñarme tanto y tan bien.

*Elena Cuenca García
Sevilla, 2019*

El conocimiento de la demanda y la caracterización de la movilidad son de gran importancia para el diseño del transporte público.

En este documento se desarrollará la oferta y la demanda de los modos de transporte público presentes en la ciudad de Sevilla, profundizando en este conocimiento de la demanda de dichos modos.

Recibida la matriz origen-destino de demanda de viajeros de 2017 por parte de Metro de Sevilla, se realizará un modelo de distribución gravitacional. Se elaborará una matriz con orígenes y destinos según la zonificación de la EDM realizada en Sevilla en 2007.

Utilizando la herramienta TransCAD, se generará un modelo digital de la red de TUSSAM, con el que se realizarán macrosimulaciones. Los resultados obtenidos serán analizados mediante la herramienta MatLAB, elaborando un código para relacionar la demanda de las líneas con los pares origen-destino.

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Índice	xiii
Índice de Figuras	xv
Índice de Tablas	xvii
1. OBJETIVOS Y ANTECEDENTES	1
1.1. <i>OBJETIVOS DEL DOCUMENTO</i>	1
1.2. <i>ANTECEDENTES</i>	1
1.3. <i>HERRAMIENTAS DE TRABAJO</i>	1
2. LOCALIZACIÓN Y ANÁLISIS DEMOESTRUCTURAL	3
2.1. <i>CAMPO DE APLICACIÓN</i>	3
2.2. <i>DIAGNÓSTICO DEMOGRÁFICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y TENDENCIAL</i>	3
2.3. <i>PARQUE AUTOMOVILÍSTICO</i>	9
3. EL MODELO PÚBLICO DE TRANSPORTE	11
3.1. <i>INTRODUCCIÓN</i>	11
3.2. <i>DEFINICIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE PÚBLICO DE SEVILLA</i>	11
3.2.1. <i>Red de Autobuses Urbanos TUSSAM.</i>	11
3.2.2. <i>Metrocentro de Sevilla</i>	17
3.2.3. <i>Red de Autobuses metropolitanos</i>	18
3.2.4. <i>Red de Cercanías.</i>	21
3.2.5. <i>Red de Metro.</i>	23
3.2.6. <i>Bicicleta.</i>	25
3.2.7. <i>Otros urbanos</i>	30
4. TERMINALES INTERMODALES DE SEVILLA	31
4.1. <i>Plaza de Armas</i>	31
4.2. <i>Prado de San Sebastián</i>	32
4.3. <i>San Bernardo</i>	33
4.4. <i>Santa Justa</i>	33
4.5. <i>Aeropuerto</i>	34
5. ACTUACIONES FUTURAS	35
5.1. <i>Ampliación Red de Metro.</i>	35
5.2. <i>Tranvía Metropolitano de Alcalá de Guadaíra.</i>	37
5.3. <i>Ampliación de la Red de Metrocentro.</i>	38
5.4. <i>Primera estación bici de Sevilla</i>	40
6. DEMANDA DE LOS MODOS	41
6.1. <i>Red de autobuses urbanos TUSSAM y Metrocentro</i>	41
6.2. <i>Metrocentro</i>	44
6.3. <i>Red de autobuses metropolitanos</i>	45
6.4. <i>Metro de Sevilla</i>	49
6.5. <i>SEVICI</i>	53

6.6.	<i>Resultados de los Ecocontadores</i>	56
6.7.	<i>BUS + BICI</i>	57
7.	EVOLUCIÓN HISTÓRICA GENERAL DE LA DEMANDA	59
8.	MODELO DE DISTRIBUCIÓN - MATRIZ O/D METRO 2017	61
8.1.	<i>MODELO DE DISTRIBUCIÓN</i>	71
8.2.	<i>MATRIZ DE VIAJES</i>	72
9.	MODELIZACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO DE SEVILLA EN TRANSCAD	79
9.1.	<i>GENERALIDADES DEL MODELO PÚBLICO</i>	79
9.2.	<i>ESCENARIO DEL MODELO PÚBLICO</i>	79
9.3.	<i>LA RED BASE DEL MODELO</i>	79
9.4.	<i>LA RED PEATONAL</i>	80
9.5.	<i>LA RED DE TRANSPORTE PÚBLICO</i>	80
9.5.1.	Crear un Network	80
9.5.2.	Digitalización de las rutas de transporte público	81
9.5.3.	Digitalización de las paradas de transporte público	84
9.5.4.	Vincular paradas a los nodos de la Line Layer	84
9.5.5.	Mode Table	85
9.5.6.	Creación del Transit Network	86
9.6.	<i>ASIGNACIÓN DE VIAJES</i>	88
9.6.1.	Pathfinder Method	88
9.6.2.	Configuración	88
9.6.3.	Asignación de la matriz de viajes	89
10.	RESULTADOS DE LA ASIGNACIÓN	91
10.1.	<i>OBTENCIÓN DE LOS FICHEROS</i>	91
10.2.	<i>MÉTODO DEL BALANCEO ITERATIVO</i>	97
10.3.	<i>CÓDIGO EN MATLAB</i>	99
10.4.	<i>CONCLUSIONES</i>	101
11.	CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	103
11.1.	<i>CONCLUSIONES GENERALES</i>	103
11.2.	<i>LÍNEAS FUTURAS</i>	104
	Referencias	105

Índice de Figuras

Figura 1. Ámbito de estudio	4
Figura 2. Población de los municipios del Área metropolitana	6
Figura 3. Evolución de la población	6
Figura 4. Circulo Vicioso del Transporte Público	8
Figura 5. Parque de vehículos según tipología	9
Figura 6. Parque de vehículos según combustible	9
Figura 7. Evolución del parque de vehículos	10
Figura 8. Evolución IMD principales vías de Sevilla	10
Figura 9. Líneas y paradas de Metrocentro	17
Figura 10. Corredores y Zonas tarifarias CTAS	18
Figura 11. Líneas del Consorcio Metropolitano de Transportes 2017 por corredores	19
Figura 12. Paradas del Consorcio Metropolitano de Transportes 2017	20
Figura 13. Líneas y paradas de Metro de Sevilla.	23
Figura 14. Tramos de la línea de Metro.....	24
Figura 15. Aparcabicicletas públicos y vías ciclistas de Sevilla	25
Figura 16. Tipo de vías ciclistas.....	26
Figura 17. Estaciones SEVICI y vías ciclistas de Sevilla.....	27
Figura 18. Ecocontadores de la Gerencia de Urbanismo	28
Figura 19. Terminales intermodales de Sevilla.....	31
Figura 20. Futura red de Metro de Sevilla.	35
Figura 21. Línea y Paradas del Tranvía de Alcalá de Guadaíra	37
Figura 22. Paradas de la Ampliación del Metrocentro	38
Figura 23. Futuras actuaciones en las Calles Luis de Morales y San Francisco Javier para la ampliación del Metrocentro	39
Figura 24. Evolución anual de la demanda de la línea Especial Aeropuerto de TUSAM	42
Figura 25. Distribución de la demanda por títulos de viaje. Año 2016	43
Figura 26. Lanzadera LC TUSAM. Conexión La Cartuja con el Metro.	43
Figura 27. Evolución de viajeros de Metrocentro	44
Figura 28. Demanda por líneas del Consorcio Metropolitano de Transporte.....	46
Figura 29. Demanda por corredores año 2017	47
Figura 30. Evolución mensual del número de viajes en autobús metropolitano.....	48
Figura 31. Distribución de la demanda en 2017 de autobús metropolitano según título de viaje.....	48
Figura 32. Viajeros en las paradas de Metro en 2017	49
Figura 33. Demanda anual de las paradas de Metro en 2017.....	50
Figura 34. Distribución de la demanda por saltos	50
Figura 35. Distribución de los viajes de 0 saltos por tramos	51
Figura 36. Distribución de los viajes de 1 salto por tramos.....	51
Figura 37. Distribución de la demanda diaria por tipo de jornada y hora	52
Figura 38. Utilización de los tipos de transporte en Metro.....	52
Figura 39. Evolución de alquileres SEVICI.....	53
Figura 40. Alquileres mensuales SEVICI en 2017.....	53
Figura 41. Medias de los alquileres según los meses del año	54
Figura 42. Alquileres por tramos horarios.....	54
Figura 43. Estaciones SEVICI con más movimientos.....	55
Figura 44. Perfil de los abonados de larga duración en SEVICI	55

Figura 45. Análisis del tipo de bicicleta y sexo registrado por los Eco-contadores en 2017.....	56
Figura 46. Desplazamientos diarios estimados	56
Figura 47. Conteo del uso de la bicicleta y participación en los desplazamientos totales.....	56
Figura 48. Evolución del uso del Bus+Bici en 2017	57
Figura 49. Evolución de Bus Metropolitano, Metro y TUSSAM.....	59
Figura 50. ZATS del área metropolitana de Sevilla para la EDM 2007	62
Figura 51. Polígonos de Voronoi de la herramienta QGIS.....	63
Figura 52. Áreas de influencia de las paradas de Metro	64
Figura 53. ZATS correspondientes a cada parada	66
Figura 54. ZATs correspondientes a paradas del Tramo 1	66
Figura 55. ZATs correspondientes a paradas del Tramo 2	67
Figura 56. ZATs correspondientes a paradas del Tramo 3	67
Figura 57. Acceso a las ZATS peatonal/en coche.....	68
Figura 58. Distribución de las ZATS según el tiempo de acceso a la parada	69
Figura 59. Población de las zonas de transporte.....	70
Figura 60. Densidad de Población de las zonas de transporte.....	71
Figura 61. Valor máximo de la Matriz Obtenida.....	74
Figura 62. Líneas de deseo con mayor número de viajes.....	76
Figura 63. Combinación de ZATs con mayor número de viajes – Tramo 1.	77
Figura 64. Combinación de ZATs con mayor número de viajes – Tramo 2	77
Figura 65. Combinación de ZATs con mayor número de viajes – Tramo 3	78
Figura 66. Arcos Peatonales y No peatonales	80
Figura 67. Route System.....	83
Figura 68. Dataview de la Mode Table	86
Figura 69. Access Stops.....	92
Figura 70. Cambio de los identificadores de los centroides.....	92
Figura 71. Cambio de los identificadores de las líneas y asignación de demanda	93
Figura 72. Asignación de los identificadores de los pares.....	93
Figura 73. Consulta de Access para obtener s.....	94
Figura 74. Resultado de la consulta.....	95
<i>Figura 75. Fichero Procedure.</i>	95
Figura 76. Fichero Procedure.	95
Figura 77. Fichero Demanda_Rutas.....	95
Figura 78. Fichero Grav.....	96
<i>Figura 79. Fichero POBi.</i>	96
<i>Figura 80. Vector g</i>	101
<i>Figura 81. Fichero ComprobOrig</i>	101
<i>Figura 82. Fichero ComprobLíneas</i>	102
Figura 83. Movilidad Sostenible	103

Índice de Tablas

Tabla 1. Población de los municipios del área Metropolitana en 2017	5
Tabla 2. Gestión de los sistemas de transporte público.....	11
Tabla 3. Características del Material Móvil TUSSAM	15
Tabla 4. Sistema tarifario TUSSAM	16
Tabla 5. Características de Metrocentro	17
Tabla 6. Expediciones y Amplitudes medias Año 2017	18
Tabla 7. Sistema tarifario Consorcio Metropolitano de Transportes	20
Tabla 8. Líneas Cercanías Sevilla.....	21
Tabla 9. Características técnicas de las líneas de cercanías	21
Tabla 10. Sistema tarifario Cercanías	22
Tabla 11. Horarios habituales Servicio de Metro de Sevilla	23
Tabla 12. Tarifas Metro de Sevilla	24
Tabla 13. Longitud de los tipos de vías ciclistas	26
Tabla 14. Sistema Tarifario Otros Urbanos del Área metropolitana	30
Tabla 15. Modos de transporte disponibles en los puntos intermodales.....	31
Tabla 16. Conexiones directas de la Estación Plaza de Armas con otras terminales de la ciudad de Sevilla..	32
Tabla 17. Conexiones directas de la Estación Prado de San Sebastián	32
Tabla 18. Conexiones directas de San Bernardo con otras terminales de la ciudad de Sevilla.....	33
Tabla 19. Conexiones directas de Santa Justa con otras terminales de la ciudad	33
Tabla 20. Futuras líneas de Metro.....	35
Tabla 21. Características de las futuras líneas de Metro de Sevilla	36
Tabla 22. Líneas más demandadas en el año 2017	45
Tabla 23. Demanda por corredores y saltos.....	46
Tabla 24. Trayectos más habituales en Metro	50
Tabla 25. Parámetros del Route System	83
Tabla 26. Parámetros del Route Stops	84
Tabla 27. Campos de la Mode Table	86
Tabla 28. Parámetros del Access Stops	91
Tabla 29. Número de registros	100
Tabla 30. Columnas Fichero ComprobOrig.....	101
Tabla 31. Columnas Fichero ComprobLíneas	102

1.OBJETIVOS Y ANTECEDENTES

1.1. OBJETIVOS DEL DOCUMENTO

El objetivo de este documento es la realización de un modelo de generación de viajes a partir de datos reales de demanda proporcionados por Metro de Sevilla, así como el análisis de la accesibilidad del Sistema de Transporte Público de Sevilla. Para ello, se hace uso de la herramienta informática TransCAD, la cual reúne las competencias necesarias para realizar el estudio.

Se generará por tanto la red de Transporte Público de Sevilla sobre la red de carreteras; esta red de carreteras se jerarquizará previamente, haciendo una modelización detallada y otorgándole los factores que caracterizan el tráfico sobre la red.

A partir de la red de carreteras y el sistema de transporte público generado se llevarán a cabo asignaciones de matrices haciendo uso de esta herramienta, cuyos resultados aporten dichas asignaciones serán objetivo de este estudio.

1.2. ANTECEDENTES

Este trabajo se enmarca en una de las líneas de investigación del Grupo de Ingeniería e Infraestructuras de los Transportes, del Departamento de Ingeniería y Ciencias de los Materiales y del Transporte de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla.

1.3. HERRAMIENTAS DE TRABAJO

Las fuentes de información sobre las que se han realizado el presente estudio han sido facilitadas por el Grupo de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes de la ETSI, así como de portales de datos abiertos de la Junta de Andalucía, el Ayuntamiento de Sevilla y otros organismos. Adicionalmente, datos proporcionados por el Consorcio de Transportes del Área Metropolitana de Sevilla, Metro de Sevilla y TUSSAM.

Este trabajo ha sido generado a partir de una aplicación informática de macro simulación, TransCAD, el cual es un sistema de información geográfica (SIG) diseñado especialmente para profesionales de Transporte con el objeto de almacenar, mostrar, y analizar datos de Transporte. Este software ha permitido la gestión, actualización y modificación de la red de Transporte de Sevilla, así como la creación de un modelo digital del sistema de transporte público que opera en la provincia de Sevilla.

Se ha partido de los siguientes datos y parámetros:

- La red viaria Sevilla de 2016, elaborada mediante por compañeros asociados al departamento.
- Archivos en formato Shape con las capas cartográficas de las zonas de transporte y sus centroides.
- Mapas de las redes que forman el Transporte Público de Sevilla, TUSSAM, Autobuses Interurbanos, Cercanías (RENFE) y Metro.

- Matriz de demanda anual de Metro de Sevilla del año 2017.
- Grid de población 250x250 elaborado por el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía.
- Encuesta Domiciliaria de Movilidad, 2007.
- Archivo en formato Shape que reúne todas las paradas georreferenciadas que dispone la red de Transporte Público de TUSSAM.

2.LOCALIZACIÓN Y ANÁLISIS DEMOESTRUCTURAL

2.1. CAMPO DE APLICACIÓN

Aunque la filosofía de este estudio es válida, en general, para cualquier tipo de Transporte Público, este proyecto está orientado principalmente al análisis del Transporte Público de Viajeros de la provincia de Sevilla.

El límite territorial de este estudio se impone en el ámbito de operación de los Autobuses Metropolitanos del Consorcio de Transporte, quedando fuera de él las concesiones a empresas privadas que intervienen en los municipios más periféricos de la provincia.

Los Sistemas de Transporte Público que dan cobertura a la población Sevilla y que se describirán en el capítulo 3 de este documento son:

- ❖ Red de Autobuses urbanos TUSSAM
- ❖ Metrocentro
- ❖ Red de Autobuses metropolitanos
- ❖ Red de Cercanías
- ❖ Red de Metro
- ❖ Sistemas de alquiler de bicicletas

Las demandas de estos modos de transporte se describirán en el apartado 6 de este documento. También se influye una descripción de las terminales intermodales de la ciudad de Sevilla en el apartado 4.

2.2. DIAGNÓSTICO DEMOGRÁFICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y TENDENCIAL

El ámbito de estudio está conformado por el municipio de Sevilla y otros 46 municipios que forman su corona metropolitana, reuniendo un total de 1.536.445 habitantes (Instituto Nacional de Estadística, 2017), lo que representa el 79,2% de la población total de la provincia (1.939.527 habitantes).

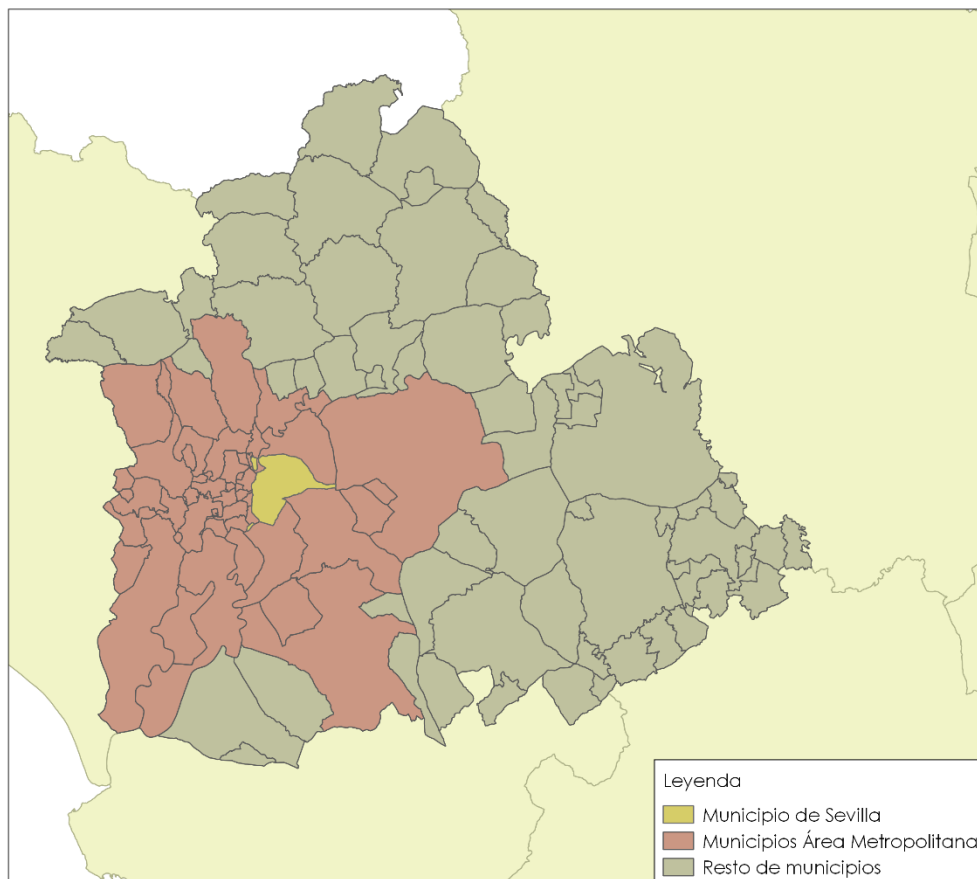


Figura 1. Ámbito de estudio
Fuente: Elaboración propia (QGIS)

Especialmente, la población metropolitana se concentra en el municipio de Sevilla, con 689.434 habitantes, lo que representa el 44,9% del total, correspondiendo el resto, casi 850.000 habitantes, a la corona metropolitana.

El área metropolitana de Sevilla, compuesta por un total de 46 municipios de la provincia, con 4905,04 km² de superficie, es la cuarta área metropolitana de España y un gran centro turístico, económico, industrial y poblacional.

2. Localización y Análisis Demoestructural

POBLACIÓN DE LOS MUNICIPIOS DEL ÁREA METROPOLITANA. AÑO 2017.			
Albaida del Aljarafe	3.137	Guillena	12.647
Alcalá de Guadaíra	75.106	Huévar del Aljarafe	2.883
Alcalá del Río	11.950	Isla Mayor	5.889
Algaba, La	16.275	Mairena del Alcor	23.222
Almensilla	5.929	Mairena del Aljarafe	45.471
Aznalcázar	4.493	Olivares	9.422
Aznalcóllar	6.116	Palacios y Villafranca, Los	38.246
Benacazón	7.167	Palomares del Río	8.418
Bollullos de la Mitación	10.512	Pilas	13.988
Bormujos	21.667	Puebla del Río, La	11.914
Brenes	12.638	Rinconada, La	38.339
Camas	27.293	Salteras	5.499
Carmona	28.540	San Juan de Aznalfarache	21.458
Carrión de los Céspedes	2.524	Sanlúcar la Mayor	13.583
Castilleja de Guzmán	2.835	Santiponce	8.445
Castilleja de la Cuesta	17.429	Sevilla	689.434
Castilleja del Campo	628	Tomares	25.042
Coria del Río	30.535	Umbrete	8.695
Dos Hermanas	132.551	Utrera	52.701
Espartinas	15.423	Valencina de la Concepción	7.860
Gelves	10.051	Villamanrique de la Condesa	4.454
Gerena	7.489	Villanueva del Ariscal	6.573
Gines	13.361	Viso del Alcor, El	19.234

Tabla 1. Población de los municipios del área Metropolitana en 2017
Fuente: Sitio Web del Instituto Nacional de Estadística

La distribución de la población en la corona metropolitana, muestra una clara jerarquización y articulación espacial. El municipio con mayor población del área es Dos Hermanas con más de 132.000 habitantes, siendo el segundo municipio Alcalá de Guadaíra con más de 75.000 habitantes (año 2017).

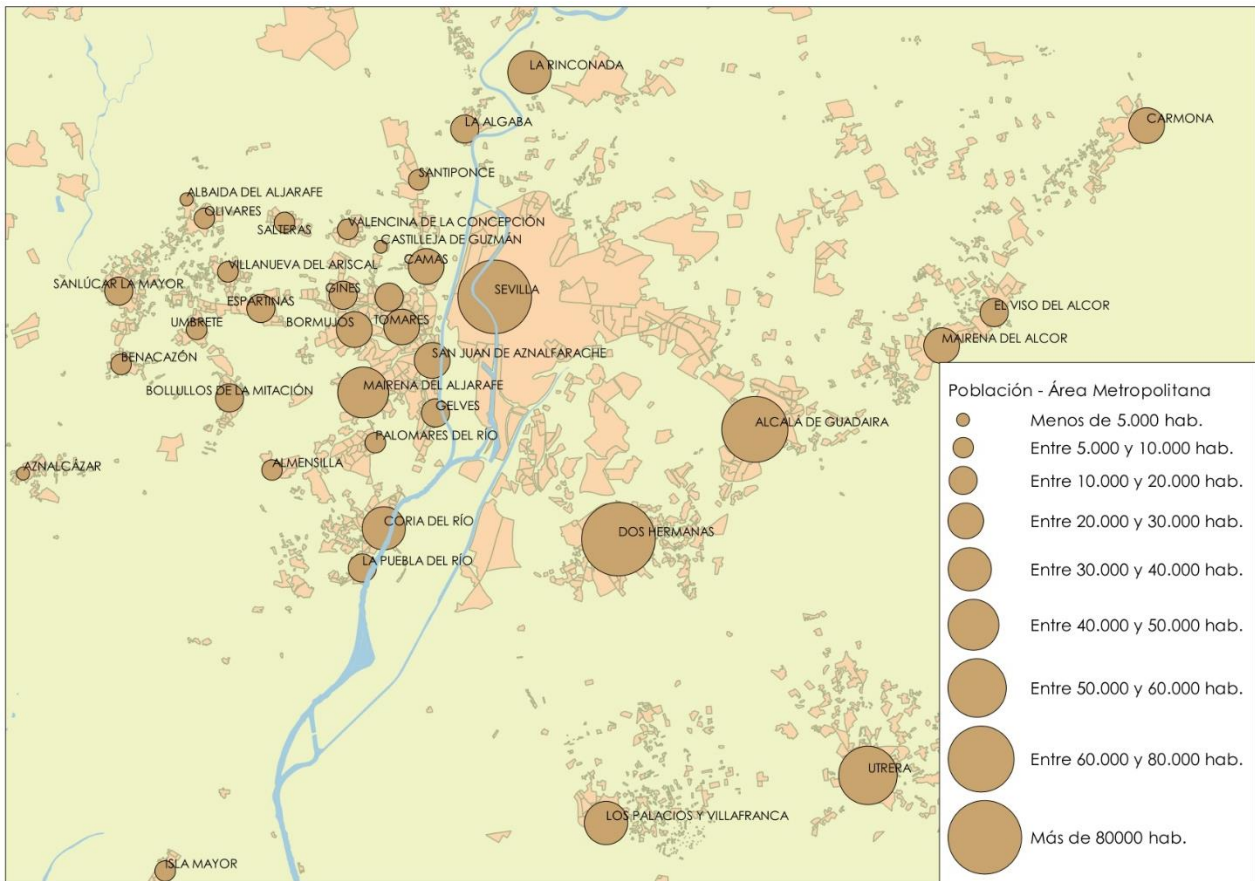


Figura 2. Población de los municipios del Área metropolitana
Fuente: Elaboración propia (QGIS)

La evolución de la distribución espacial del Área Metropolitana de Sevilla es bastante parecida a las de otras áreas metropolitanas de España; caracterizada por un estancamiento de la población en Sevilla capital y el aumento de la población de la corona metropolitana: Este fenómeno puede estar ligado a la búsqueda de un suelo más barato, una mejor calidad de la vivienda y el entorno.

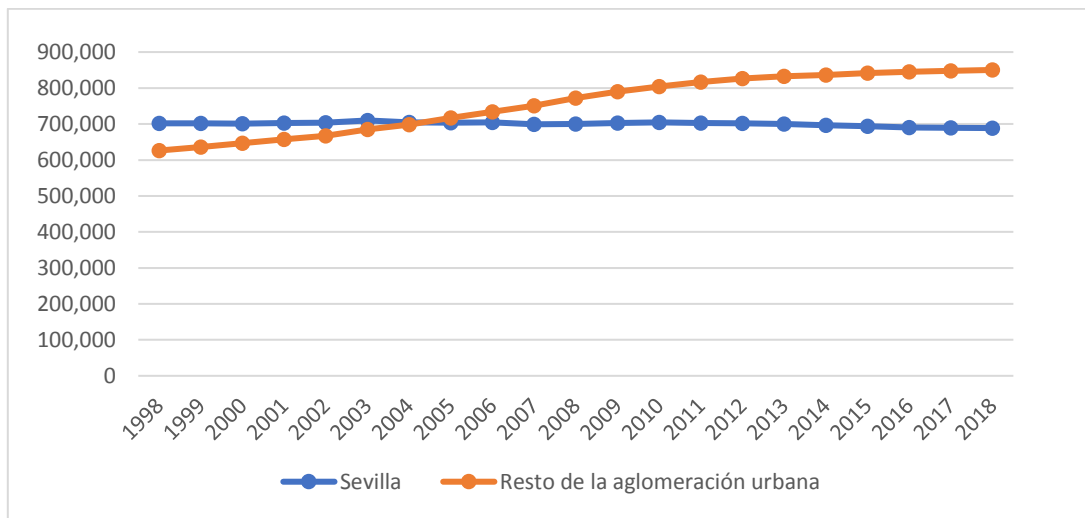


Figura 3. Evolución de la población
Fuente: Elaboración propia. Datos: INE

Así, la ciudad de Sevilla tenía en el año 1970 548.800 habitantes y representaba el 72% de la población total del área. En 1992 aún crece hasta los 704.800 habitantes, pero desciende ya al 67,5% su participación en la población del área. Desde entonces, la población permanece estacionaria, o con ligeros descensos, entre 1991 y 2001; en 2004 repunta ligeramente, alcanzando la población de 1991, pero perdiendo aún dos puntos más en su participación en el conjunto poblacional metropolitano. Esta evolución de la población de Sevilla es el resultado de un proceso de crecimiento del ámbito metropolitano caracterizado por la “expulsión” de población de la ciudad central, debido a causas diferentes y con distinta intensidad, según el período de conformación.

Otro factor que puede estar ligado al aumento de la población de los municipios de la corona metropolitana es la mejora de la red viaria metropolitana:

- Las actuaciones ligadas a la EXPO'92 suponen una ampliación de capacidad importante del viario básico metropolitano de distribución (SE-30), del viario de Sevilla, y de los corredores del Aljarafe, Sur y Este.
- Posteriormente se han aumentado la capacidad viaria con otras autovías en Ribera Norte (N-630), A-376, variante de A-4 en Bellavista, etc. Este proceso de desarrollo residencial del Área ha modificado sustancialmente la distribución de la población en la corona. Así, durante este periodo, desde 1981 a 2004, el Aljarafe Sur ha pasado de acoger el 9% de la población de la corona metropolitana al 18%, mientras que el Aljarafe Norte ha pasado del 8,7% al 11,1%. Así el ámbito total del Aljarafe pasa a reunir casi un 30% de la población metropolitana.
- El área Sur (Dos Hermanas) aumenta también de forma significativa su población y su participación en el conjunto de la corona metropolitana, pasando del 21% al 25%. En el extremo opuesto, algunos sectores metropolitanos han visto descender su participación en el total de la población metropolitana de forma muy significativa, como Alcalá de Guadaíra, o la Ribera Sur,
- En el futuro la SE-40, segunda ronda de circunvalación de Sevilla, viene a descongestionar en parte el colapsado tráfico de la SE-30, que actualmente cumple la función de articulador del Área Metropolitana de Sevilla y distribuidor de tránsitos nacionales, regionales y urbanos.

En resumen, el proceso de suburbanización residencial del Área de Sevilla presenta dos procesos claramente diferenciados:

- Hasta los años 80, los incrementos de población se ligan a las principales ciudades del Área, en relación, en parte, a la localización de la actividad industrial en los municipios más próximos a Sevilla -sobre todo en el entorno del río- buscando suelos más baratos y con un proceso de uso intensivo del suelo.
- Desde los años 80 se ha intensificado el proceso de urbanización residencial extensiva (viviendas unifamiliares) con ocupación de los espacios de mayor calidad ambiental, ajenos a menudo a los niveles urbanos preexistentes, en un proceso favorecido por la accesibilidad conferida por el aumento del viario metropolitano de gran capacidad.

Este proceso de crecimiento poblacional en el entorno metropolitano llega a su fin en 2007 con el estallido de la crisis económica que azotó Europa y tuvo gran repercusión en España.

Como síntesis, se podría entender que los incrementos de población de las zonas metropolitanas se están concentrando en los municipios inmediatos a la capital, probablemente debido a la mejora de las infraestructuras de comunicación entre ambos núcleos.

Parece factible entender que esta dispersión de la población se seguirá produciendo, entendiéndose que será inevitable continuar introduciendo mejoras en esas infraestructuras de comunicación para absorber esos incrementos de demanda que se darán en el futuro.

En ese aspecto, será preciso tomar en consideración la experiencia del **Círculo Vicioso del Transporte Público**, evitando que las mejoras en la capacidad de las carreteras no supongan un descenso del transporte público. Ya que esto supondría un descenso de la calidad debido a una menor demanda del mismo, y con ello las rutas y las frecuencias.

Por ello, ha de cuidarse y diseñarse las actuaciones procurando mantener el equilibrio óptimo entre ambos modos de transporte, como única manera de garantizar la plena efectividad de ambos.



Figura 4. *Círculo Vicioso del Transporte Público*

Fuente: *Elaboración propia*

2.3. PARQUE AUTOMOVILÍSTICO

Según la Dirección General de Tráfico, el parque de vehículos de Sevilla contó en 2017 con un total de 475.911 vehículos, lo que supone el 34,3% de la provincia y el 45% de la aglomeración urbana, porcentajes similares a los de la población.

Los turismos representan el 68% del parque de vehículos del municipio de Sevilla, seguido en importancia por motocicletas y ciclomotores.

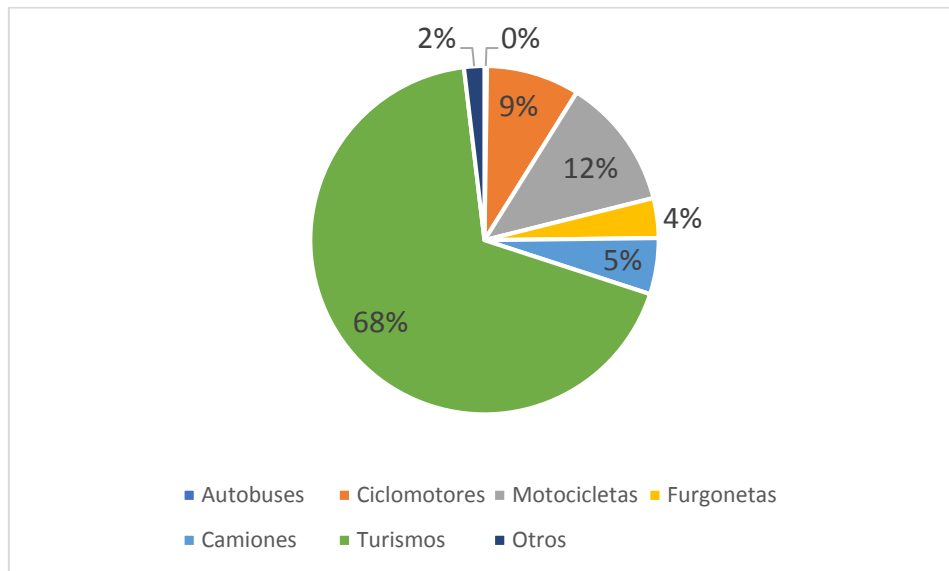


Figura 5. Parque de vehículos según tipología
Fuente: Portal estadístico DGT

En cuanto al combustible utilizado, predominan ligeramente los vehículos de gasolina (53%) frente a los de gasoil (46%).

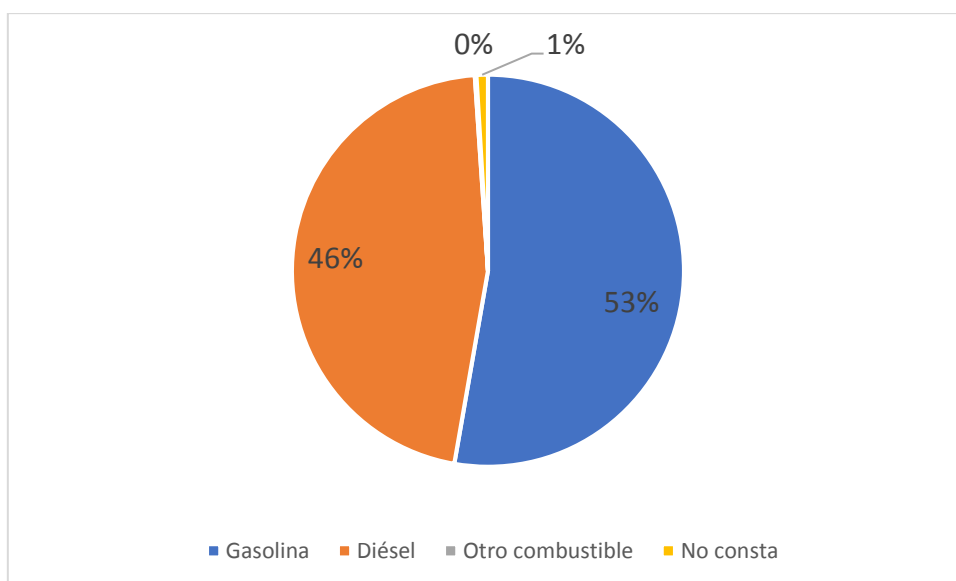


Figura 6. Parque de vehículos según combustible
Fuente: Elaboración propia. Datos: Portal estadístico DGT

El parque de vehículos y la población de Sevilla representan porcentajes similares respecto a la provincia y aglomeración urbana, pero no registran la misma evolución en el tiempo: En los últimos años, la población ha ido manteniéndose sobre las 700.000 habitantes, sin embargo, el parque de vehículos ha ido en aumento.

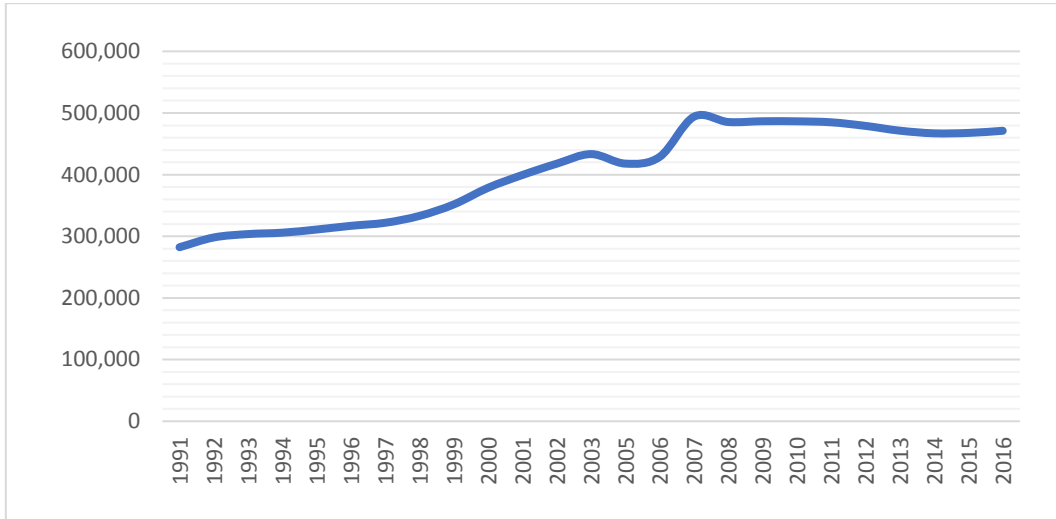


Figura 7. Evolución del parque de vehículos

Fuente: INE

En los últimos 20 años, el parque de vehículos ha aumentado considerablemente, tomando un papel protagonista en la movilidad. Se observan descensos desde el año 2007, amortiguando esta tendencia debido a la crisis económica.

Con esta crisis, también se produce un descenso de la intensidad de tráfico a partir de 2007. Este suceso puede verse en el siguiente gráfico en el que se representa la evolución de las Intensidades Medias Diarias de las principales vías de Sevilla.

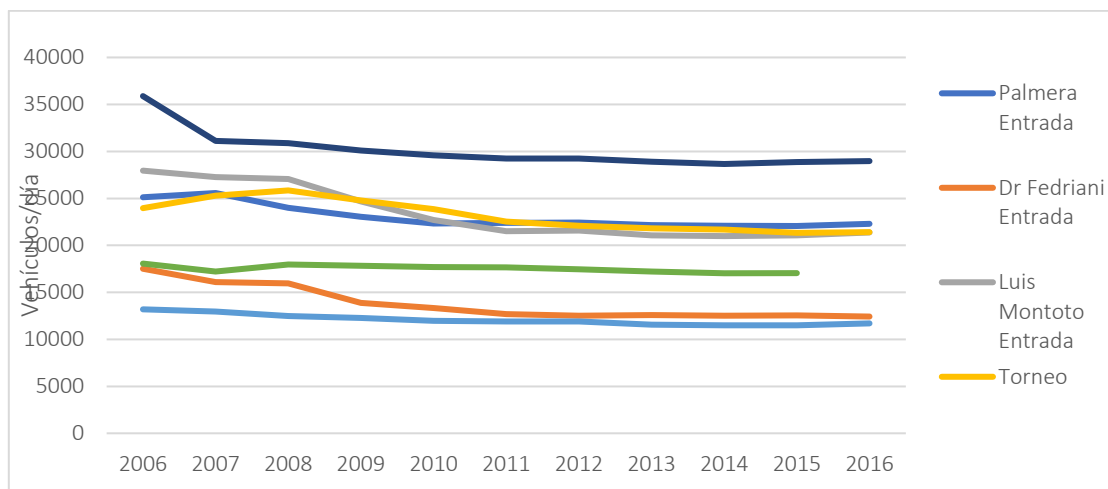


Figura 8. Evolución IMD principales vías de Sevilla

Fuente: Tráfico, Sevilla.org.

Otro motivo para este descenso del tráfico, puede deberse a la construcción del Metro de Sevilla en el año 2009. A su vez, la implantación cada vez mayor de la bicicleta como modo de transporte también ha podido influir de manera relevante en este descenso del tráfico.

3. EL MODELO PÚBLICO DE TRANSPORTE

3.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describe el sistema de Transporte Público que sirve al municipio de Sevilla y a los municipios del área metropolitana, definiendo las características de cada uno de los modos de Transporte Público presentes:

SISTEMA DE TRANSPORTE	EMPRESA QUE LO GESTIONA
Red de Autobuses Urbanos	TUSSAM
Metrocentro	TUSSAM
Red de Autobuses Metropolitanos	Consortio de Transporte del Área Metropolitana de Sevilla
Red de Cercanías	RENFE
Red de Metro de Sevilla	Globalvia

*Tabla 2. Gestión de los sistemas de transporte público
Fuente: Elaboración propia*

También se definen las características de los servicios de préstamo de bicicletas.

3.2. DEFINICIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE PÚBLICO DE SEVILLA

3.2.1 Red de Autobuses Urbanos TUSSAM.

Transportes Urbanos de Sevilla, Sociedad Anónima Municipal (TUSSAM), es la empresa pública encargada de gestionar el servicio de autobuses urbanos y Metrocentro en la ciudad de Sevilla. Fue creada por el Ayuntamiento de Sevilla en 1975, dando cobertura a una población superior a 700.000 habitantes, distribuidos sobre una extensión de 142km², mediante una red de longitud que supera los 630 km.

Cuenta con de 40 líneas diurnas, 10 líneas nocturnas y 4 líneas concesionaras. La flota consta de 428 autobuses y 4 tranvías a los que hay que sumar otros 18 vehículos de las líneas contratadas.

La red de líneas de TUSSAM tiene una estructura básicamente radial, contando cada barrio con al menos una línea que lo une con el centro de la ciudad. El resto de líneas transversales, circulares y periféricas permiten cohesionar la red y posibilitar los desplazamientos por el conjunto de la ciudad.

La distancia media entre las paradas es de 300 metros. Existen 1032 paradas de las cuales el 64% están equipadas con marquesinas para proporcionar mayor confort al usuario, coincidiendo con las de mayor subida de viajeros. El 95% de los habitantes tienen una parada a menos de 300 metros.

▪ Líneas

Se presentan las líneas de TUSSAM divididas en grupos según tipología: transversales, radiales norte, radiales este, radiales sur, radiales oeste, periféricas, de barrio, circulares, especiales y nocturnas.

-Líneas transversales: 1,2,3,5,6

Línea	Denominación	Longitud (km)	Frecuencia de paso (min)
1	Polígono Norte - Prado - C. Sanitaria	15.8	6
2	Barqueta - Pol. San Pablo - Virgen del Rocío - Heliópolis	19.43	5
3	Pino Montano - San Jerónimo - Los Bermejales - Bellavista	39.52	10
5	Puerta Triana -Prado - Gran Plaza - Santa Aurelia	17.93	8
6	S. Lázaro - Los Remedios - R. Mercedes - Virgen del Rocío	21.56	6

-Líneas radiales norte: 10,11,12,13,14,15,16

Línea	Denominación	Longitud (km)	Frecuencia de paso (min)
10	Ponce de León - San Jerónimo	10.44	8
11	Ponce de León - Los Príncipes	6.77	11
12	Ponce de León - Pino Montano	11.19	4
13	Plaza del Duque - Pino Montano	15.51	4
14	Plaza del Duque - Polígono Norte	6.91	12
15	Ponce de León - San Diego	7.92	11
16	Plaza Jerónimo de Córdoba - Valdezorras	17.27	23

- Líneas radiales este: 20,21,22,24,25,26,27,28,29,52

Línea	Denominación	Longitud (km)	Frecuencia de paso (min)
20	Ponce de León - Polígono San Pablo	10.81	11
21	Plaza de Armas - Polígono San Pablo	15.38	10
22	Prado de San Sebastián - Sevilla Este	22.53	9
24	Ponce de León - Los Pajaritos - Juan XXIII - Palmete	14.01	10
25	Prado de San Sebastián - Rochelambert	9.7	10
26	Prado de San Sebastián - Cerro del Águila	8.28	9
27	Plaza del Duque - Sevilla Este	19.88	6
28	Prado de San Sebastián - Parque Alcosa	19.21	6
29	Prado de San Sebastián - Torreblanca	19.21	7
39	C.C. Los Arcos - P.I. Ctra. Amarilla - Hac. S. Antonio - S.J. De Palmete		
52	San Bernardo - Gran Plaza - Palmete	14.32	12

3. El modelo público de transporte

- Líneas radiales sur: 30,31,32,34,37,38

Línea	Denominación	Longitud (km)	Frecuencia de paso (min)
30	Prado de San Sebastián - Barriada La Paz	9.24	11
31	Prado de San Sebastián - Polígono Sur	11.82	12
32	Plaza del Duque - Polígono Sur	15.42	6
34	Prado de San Sebastián - Los Bermejales	13.42	8
37	Puerta Jerez - Bellavista - Fuente del Rey	19.22	8
38	Prado de San Sebastián - Pitamo - U.P.O.	15.31	15

-Líneas radiales oeste: 40,41,43

Línea	Denominación	Longitud (km)	Frecuencia de paso (min)
40	Plaza Magdalena - Triana - El Tardón	7.94	12
41	Tablada - Los Remedios - Magdalena	13.27	11
43	Plaza Magdalena - Triana - El Turruñuelo	7.84	11

- Líneas periféricas: 53

Línea	Denominación	Longitud (km)	Frecuencia de paso (min)
53	Los Arcos - Centro Penitenciario Sevilla I	24.14	50

- Líneas de barrio: B3, B4

Línea	Denominación	Longitud (km)	Frecuencia de paso (min)
B3	Gran Plaza - Polígono San Pablo - Santa Clara	10.62	25
B4	San Bernardo - Alcosa - Sevilla Este - Torreblanca	29.12	16

- Líneas circulares: C1, C2, C3, C4, C5, C6

Línea	Denominación	Longitud (km)	Frecuencia de paso (min)
C1	Circular Exterior 1	14.43	5
C2	Circular Exterior 2	14.43	4
C3	Circular Interior 3	8.57	5
C4	Circular Interior 4	7.81	7
C5	Circular Centro	10.58	30
C6	Circular Macarena Norte	24.64	40

- Líneas especiales: EA, LC, LE

Línea	Denominación	Longitud (km)	Frecuencia de paso (min)
EA	Plaza de Armas - Aeropuerto	30.7	23
LC (*)	Blas Infante - Isla de la Cartuja	12.99	11
LE (**)	Prado de San Sebastián - Sevilla Este	18.9	7.5

(*): La línea LC une la estación de Metro de Blas Infante con la Cartuja. Opera en las horas punta: de 7 a 10 horas, de 13.30 a 15.30 horas y de 19 a 21 horas y suprime su servicio durante el verano.

El servicio que se realiza entre las 19 a 21 horas, se ha incorporado a los otros dos tramos horarios tras la realización de una encuesta que realizó TUSSAM a los usuarios de esta línea. El 70% de los encuestados sugirió una ampliación del horario. Otros resultados de esta encuesta fueron la elevada puntuación que recibió el recorrido, el emplazamiento de las paradas y la duración del viaje.

TUSSAM suprime los servicios de esta línea en enero de 2019. Tras la apertura del centro comercial Torre Sevilla, la demanda de otras líneas que circulan por el entorno se han incrementado. Estas son las líneas 5, 6 y las exteriores C1 y C2.

(**): La línea LE conecta el barrio de Sevilla Este con el centro de la ciudad, con 8 paradas por sentido. Supone un menor tiempo de viaje, con una reducción de hasta 12 minutos respecto a las líneas 22, 27 y B4. Estas líneas siguen prestando servicio.

Las paradas se establecieron atendiendo a aquellos lugares del recorrido donde más usuarios suben y bajan en los autobuses en la actualidad.

Cuenta con 9 autobuses articulados en hora punta y 7 en hora valle, siendo la frecuencia de paso de 7,5 minutos y 9 minutos, respectivamente. Asimismo, la línea funciona durante los días laborables –excepto agosto- en horario de 7 de la mañana a 10 de la noche.

- Líneas nocturnas

Un total de 10 líneas nocturnas (de la A1 a la A8, N29 y N16), con salidas desde el Prado de San Sebastián prestan servicio todos los días de la semana con salidas a las 00:00h, 01:00h y 02:00h. y refuerzos adicionales los viernes, sábados y vísperas de festivo hasta las 05:00.

Línea	Denominación
A1	Prado San Sebastián - Pino Montano - Polígono Norte
A2	Prado San Sebastián - Paseo Colón - Barqueta - Macarena - San Jerónimo
A3	Prado San Sebastián - Nervión - San Ildefonso - Sevilla Este
A4	Prado San Sebastián - Santa Aurelia - Palmete - Rochelambert
A5	Prado San Sebastián - Cerro del Águila - Polígono Sur
A6	Prado San Sebastián - Los Bermejales - Bellavista - Heliópolis
A7	Prado San Sebastián - Remedios - Triana - Plaza del Duque - Nervión
A8	Prado San Sebastián - Polígono San Pablo - Parque Alcosa
N16	Rialto - Valdezorras
N29	Prado San Sebastián - Av. Andalucía - Torreblanca

3. El modelo público de transporte

- **Material Móvil**

La flota de TUSSAM consta de 428 autobuses y 4 tranvías, a los que se le suman otros 17 vehículos de las líneas contratadas. Con 10 años de edad media, cuentan con:

- 100% aire acondicionado
- Sistema audiovisual interno (BUSSI)
Informa al ciudadano de las actividades y lugares de interés de la ciudad, ameniza el viaje en autobús y avisa Audiovisual de “Próxima Parada”.
- Sistema de purificación de aire en el interior
- Circuito de vigilancia en puertas y marcha atrás
- 100% piso bajo y rampa

Por accesibilidad	Sin rampa	3
	Con rampa manual y automática	263
	Con rampa automática	150
Por combustible	Eléctrico híbrido	1
	Diesel/Biodiesel	212
	GNC	203
Por dimensión del autobús	Estándar (12 metros)	300
	Estándar (15 metros)	4
	Microbus (<12 metros)	5
	Midibus (7-12 metros)	8
	Articulado (18 metros)	99
TOTAL (sin incluir tranvías)		216

*Tabla 3. Características del Material Móvil TUSSAM
Fuente: Elaboración propia*

- Sistema Tarifario

Existen diferentes métodos de pago para los usuarios de TUSSAM:

Título de Viaje		Tarifa	Descripción	
	Billete Univiaje	1.40 €	Sólo un viaje sin transbordo	
	Tarjeta Multiviaje	Sin transbordo Con transbordo	0.69 € 0.76 €	Tarjeta recargable, viaje sin transbordo Tarjeta recargable, viaje sin transbordo
	Tarjeta Turística	1 día 3 días	5.00 € 10.00 €	Sin límite de viajes durante su validez Sin límite de viajes durante su validez
Ordinario	Tarjeta 30 días	Sin descuento Fam Num General	35.30 € 28.24 €	Sin límite de viajes para el titular Descuento del 25% del precio de la tarjeta 30 días.
		Fam Num Especial	17.65 €	Descuento del 50% del precio de la tarjeta 30 días.
	Tarjeta Anual		320.00 €	Sin límite de viajes para el titular
	Tarjeta Estudiante	Periodo Julio	Sept- 190.00 €	Sin límite de viajes para el titular
		Mensual	19.00 €	Sin límite de viajes para el titular
Bajo cobertura social	Tarjeta 3º edad	Renta	Sin límite de viajes para el titular	
	Tarjeta solidaria	Gratuita	Sin límite de viajes para el titular durante 180 días	
	Tarjeta diversidad funcional	Gratuita	Sin límite de viajes para el titular durante 365 días	
	Tarjeta Social	17.65 €	Sin límite de viajes para el titular durante un mes natural	
	Tarjeta Joven	17.65 €	Sin límite de viajes para el titular durante un mes natural	
Servicio aeropuerto	Billete Univiaje Aeropuerto	4.00 €	Un solo viaje	
	Billete Ida y Vuelta Aeropuerto	6.00 €	Con validez solo el mismo día de su compra	
	Tarjeta Mensual Aeropuerto	41.00 €	Sin límite de viajes para el titular para todas las líneas	
Otros	Billete Sencillo Feria y Servicios Especiales	1.50 €	-	

Tabla 4. Sistema tarifario TUSSAM

Fuente: Elaboración propia

La tarjeta del Consocio también puede utilizarse como método de pago.

- Otros

- Terminales de Información en Parada (TIP)
Muestra al usuario el tiempo estimado que resta para la llegada del siguiente autobús.
- APP TUSAM (para dispositivos móviles)
Se puede conocer el tiempo de espera en parada, paradas cercanas, conocer el saldo de la tarjeta multiviaje y recargarla.
- Prioridad semafórica
Terminales instalados en semáforos que reciben la solicitud de demanda de prioridad de los autobuses. Instalados en 10 intersecciones críticas de la ciudad. Reduce los tiempos de espera y recorrido.

3.2.2. Metrocentro de Sevilla

Metrocentro es un sistema tranviario de transporte público que recorre el centro de la ciudad de Sevilla. Su trazado, inaugurado en octubre de 2007, une el intercambiador de la estación de ferrocarriles de San Bernardo con Plaza Nueva, situada en el casco histórico.

El sistema consta de una línea única, identificada como T1, propiedad del Ayuntamiento de Sevilla y operada por la empresa municipal de transportes TUSSAM.

El objetivo del Metrocentro es ejercer las funciones de lanzadera entre el centro de la ciudad y los principales medios de transporte público colectivo: los autobuses urbanos y metropolitanos, los trenes de cercanías y el Metro de Sevilla.

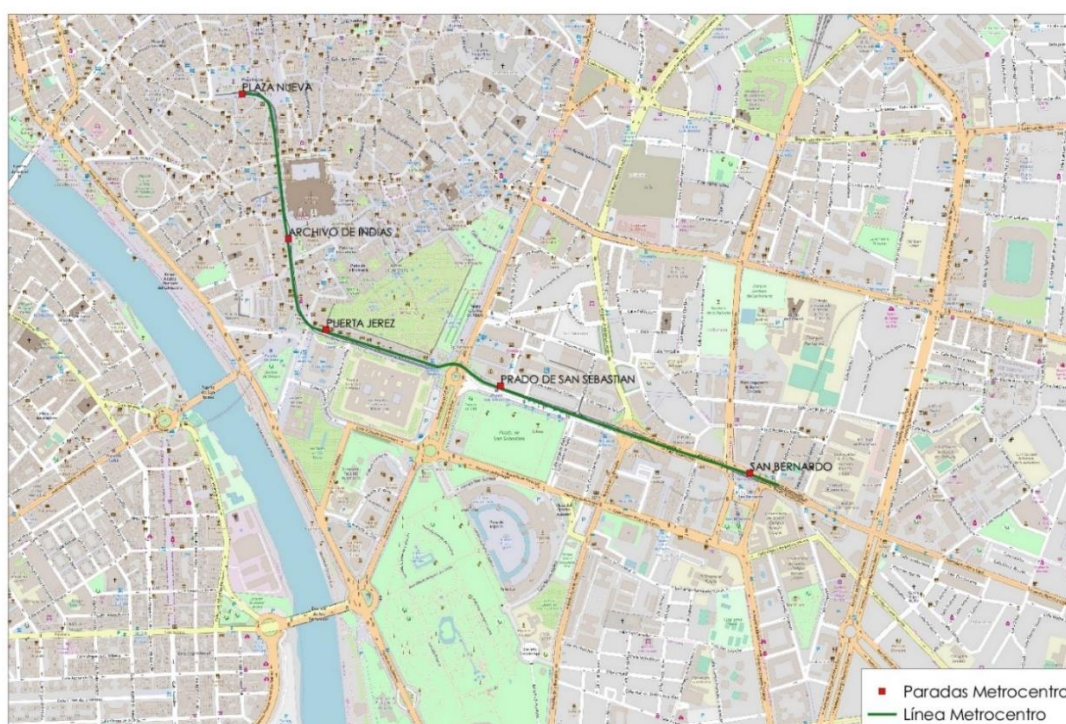


Figura 9. Líneas y paradas de Metrocentro

Fuente: Elaboración propia (QGIS)

Con la entrada en servicio del Metrocentro se ha producido una reducción de la contaminación en el Centro Histórico, debido a las emisiones contaminantes evitadas por la circulación de autobuses y turismos por dicha zona y, además, se ha reducido considerablemente la contaminación acústica y de vibraciones que soportaba, fundamentalmente, la Avenida de la Constitución.

Longitud del trazado	2000 m
Velocidad máxima	15-20 km/h
Material Movil	4
Capacidad	260 personas
Frecuencia de paso	7/9 minutos
Tiempo de recorrido (I/V)	22 minutos
Velocidad comercial	10 km/h
Nº paradas	5

Tabla 5. Características de Metrocentro

Datos: Catálogo TUSSAM 2017

El sistema ACR, basado en el empleo de ultracondensadores, embarcados en las unidades que prestan actualmente servicio en la línea de tranvía, permite que la energía se cargue en las paradas, en aproximadamente 20 segundos de tiempo empleados en la subida y bajada de los viajeros, y se emplee en el recorrido posterior entre ellas.

El sistema también mejora la eficiencia energética de la línea tranviaria como consecuencia del aprovechamiento de la energía generada en el frenado, con un ahorro del 20%.

3.2.3. Red de Autobuses metropolitanos

La red de Transporte Público Metropolitano está gestionada por El Consorcio de Transporte Metropolitano del Área de Sevilla.

A 31 de diciembre de 2017, el ámbito de prestación de servicios del Consorcio se extiende a 45 municipios, con una extensión de 4.233,1 km², el 30,4 % de la superficie total de la provincia de Sevilla y atiende a una población de 1,48 millones de habitantes, el 76,5 % del total provincial, con una densidad de 350,7 hab./ km².

Sólo queda pendiente de incorporación al Consorcio el municipio de Utrera para completar el ámbito metropolitano definido por el Plan de Ordenación del Territorio de la Aglomeración Urbana de Sevilla (POTAUS).

La oferta metropolitana de transporte en autobús consta de 59 líneas de transporte regular de viajeros, de las cuales 50 son líneas radiales que conectan los diferentes municipios del área metropolitana con Sevilla y 9 líneas transversales que conectan dos o más municipios contiguos.

	Laborables	Sábados	Domingos y festivos
Expediciones	1.999	1.081	825
Amplitud media	15	11,4	8,8

Tabla 6. Expediciones y Amplitudes medias Año 2017

Fuente: Elaboración propia. Datos: Memoria 2017 Consorcio de Transportes

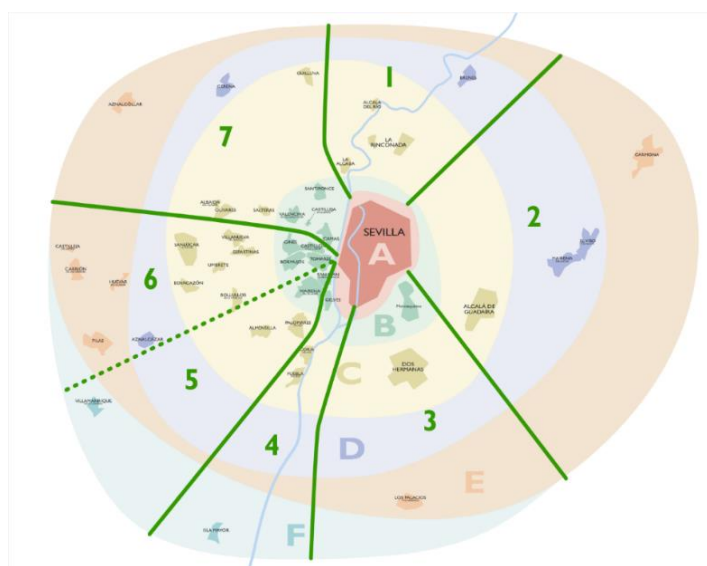


Figura 10. Corredores y Zonas tarifarias CTAS
Fuente: Consorcio de Transporte Metropolitano

3. El modelo público de transporte

El área metropolitana de Sevilla se estructura en 6 coronas tarifarias (A, B, C, D, E y F) como se muestra en el plano. La zona A se corresponde con el término municipal de Sevilla. Las líneas se agrupan por corredores (1 al 7).

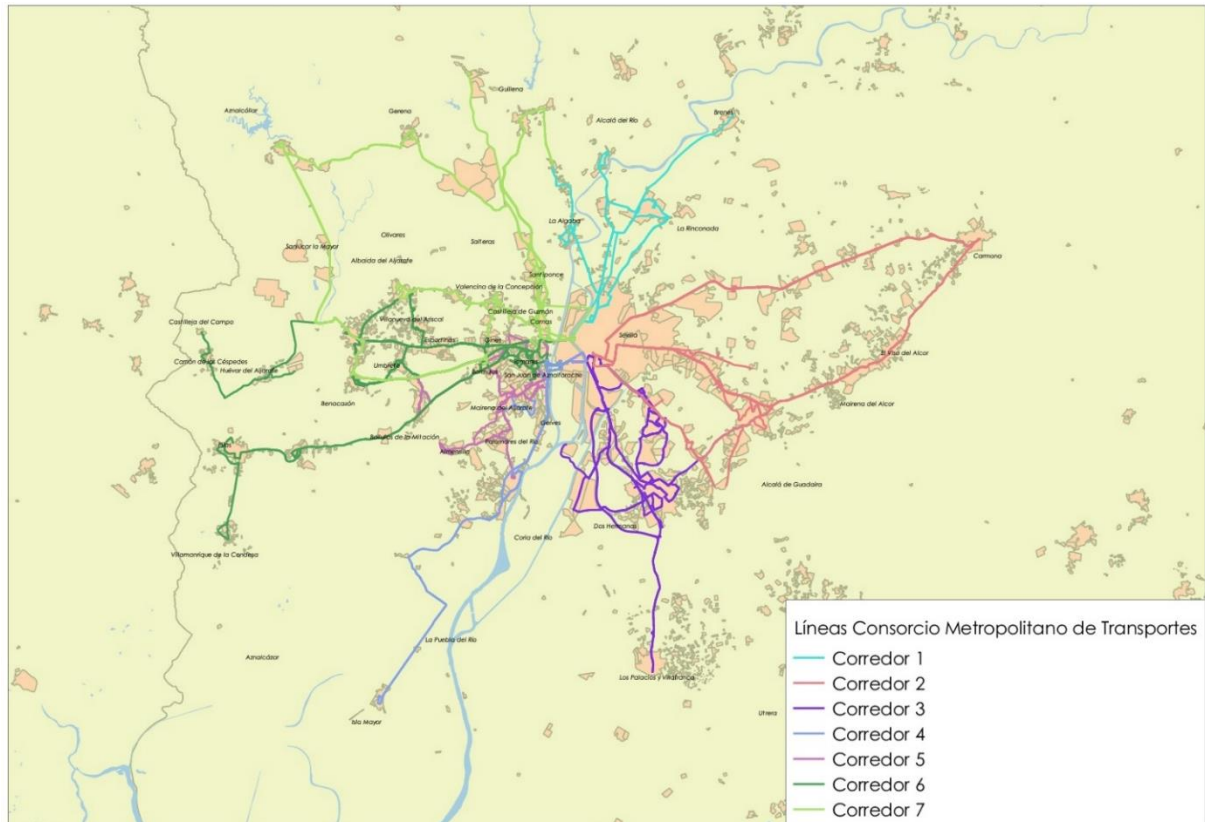


Figura 11. Líneas del Consorcio Metropolitano de Transportes 2017 por corredores
Fuente: Elaboración propia (QGIS)

- **Material móvil**
Los servicios de las líneas son atendidos por 7 operadores, mediante diferentes concesiones. Cuenta con una flota de 140 autobuses, con imagen unificada, que tiene una edad media de 7,5 años, de los cuales un 81,42% están adaptados para admitir a personas con movilidad reducida.

Actualmente existen 1.086 paradas, señalizadas con postes o marquesinas, que ofrecen información de la zona tarifaria, líneas pasantes y horarios aproximados de paso.

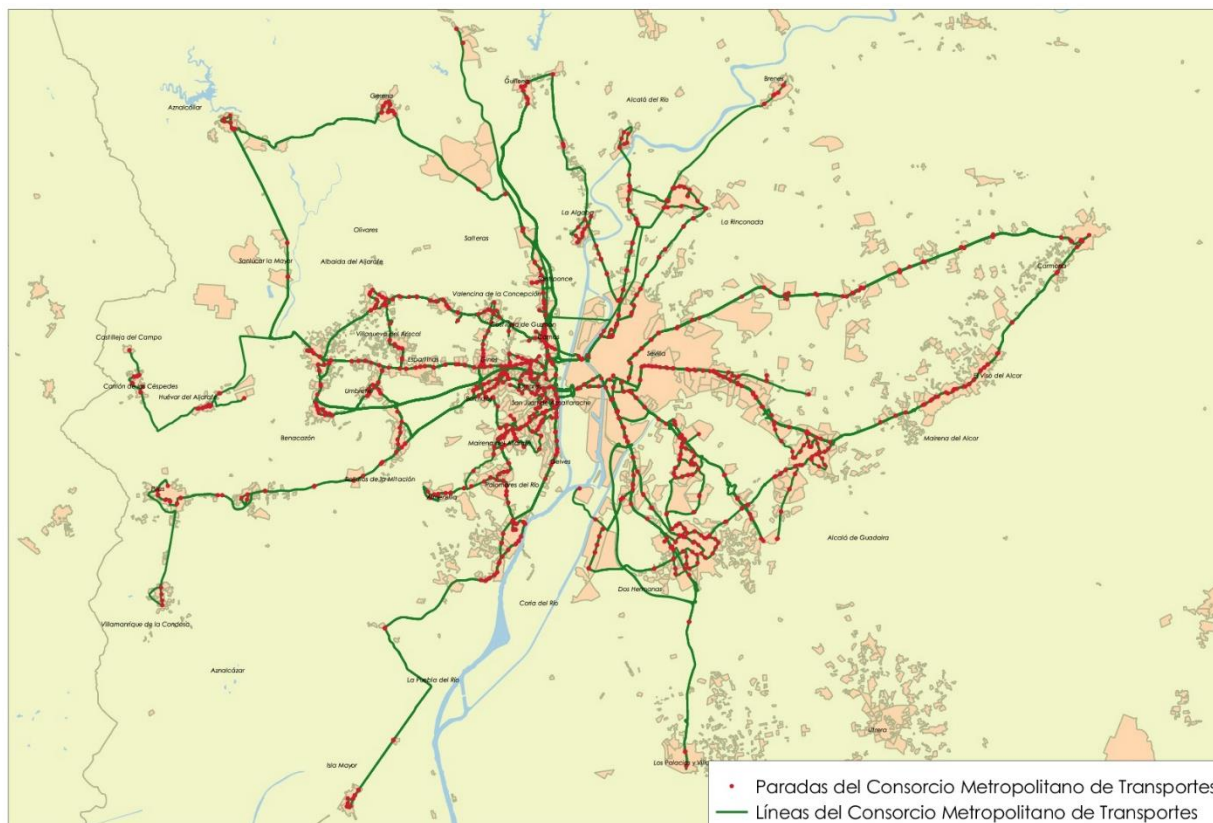


Figura 12. Paradas del Consorcio Metropolitano de Transportes 2017
Fuente: Elaboración propia (QGIS)

○ Sistema tarifario

El importe del billete está subordinado al número de saltos realizados entre zonas, desde el lugar de origen hasta el de destino:

Número de saltos	Billete sencillo	Tarjeta Consorcio
0	1.45 €	0.97 €
1	1.60 €	1.02 €
2	1.70 €	1.17 €
3	2.20 €	1.62 €
4	2.85 €	2.21 €
5	3.60 €	3.02 €

Tabla 7. Sistema tarifario Consorcio Metropolitano de Transportes
Fuente: Elaboración propia

La tarjeta de Transporte integrado del Consorcio de Transporte Metropolitano del Área de Sevilla permite realizar viajes y practicar transbordos entre líneas en la red de autobuses metropolitanos del Consorcio, Metro de Sevilla, la red de Cercanías, la red de TUSAM y las redes de autobuses urbanos de los municipios de Alcalá de Guadaíra, Dos Hermanas, Mairena del Alcor y la Rinconada.

Los transbordos entre los diferentes modos se benefician con una reducción del precio sobre la tarifa de cada modo.

3.2.4. Red de Cercanías.

Cercanías Sevilla es el servicio ferroviario explotado por Renfe Operadora sobre una infraestructura de Adif, que comunica la ciudad de Sevilla con su área metropolitana y las principales poblaciones de la Provincia de Sevilla.

Es un servicio de transporte público urbano e interurbano formado por 5 líneas, 254 km de vías férreas y 38 estaciones, de las cuales 22 se encuentran en el ámbito metropolitano de estudio.

La red de Cercanías ofrece servicio a 13 localidades del Área Metropolitana de Sevilla: Dos Hermanas, Sevilla, La Rinconada, Brenes, Utrera, Benacazón, Sanlúcar La Mayor, Villanueva del Ariscal, Olivares, Salteras, Valencina de la Concepción, Santiponce y Camas.

- Líneas

Línea	Denominación	Longitud (km)	Frecuencia de paso (min)	Nº paradas
C1	Lebrija - Utrera - Santa Justa - Lora del Río	106	15 min	16
C2	Santa Justa - Cartuja	13	60 min	4
C3	Santa Justa - Cazalla - Constantina	84	3 trenes/día	13
C4	Línea Circular	18	30 min	5
C5	Jardines de Hércules - Santa Justa - Benacazón	33	35 min	10

*Tabla 8. Líneas Cercanías Sevilla
Fuente: Elaboración propia*

- Material móvil

Está operado por Renfe Operadora sobre vías de ADIF de las siguientes líneas:

- ❖ Circunvalación ferroviaria de Sevilla.
- ❖ Ramal ferroviario de la Cartuja procedente de la línea Sevilla-Huelva.
- ❖ Línea Sevilla-Cádiz entre Sevilla y Lebrija.
- ❖ Línea Alcázar de San Juan-Sevilla entre Lora del Río y Sevilla.
- ❖ Línea Mérida-Sevilla entre Cazalla de la Sierra y Sevilla.
- ❖ Línea Sevilla-Huelva entre Sevilla y Benacazón.

Línea	Tren	Capacidad
C1	Serie 592	228
C2	Serie 592	228
C3	Civia 465	997
C4	Serie 592	228
C5	Serie 592	228

*Tabla 9. Características técnicas de las líneas de cercanías
Fuente: Elaboración propia*

- Sistema tarifario

El sistema de tarifas de la Red de Cercanías es zonal, y el precio a pagar por el viaje dependerá del número de saltos que el usuario realice hasta llegar a su destino.

Los usuarios de la red de cercanías pueden optar por diferentes métodos de pago: la compra de billetes sencillos o de ida y vuelta o abonos mensuales. La Tarjeta del Consorcio también puede usarse en la red de Cercanías.

Existen descuentos a niños, a familias numerosas, por grupos y utilizando la tarjeta dorada.

Número de saltos	Billete sencillo	Billete ida y vuelta
1	1.80 €	2.55 €
2	2.00 €	2.65 €
3	2.70 €	4.10 €
4	3.55 €	5.20 €
5	4.15 €	6.20 €
6	5.30 €	7.95 €

*Tabla 10. Sistema tarifario Cercanías
Elaboración propia*

3.2.5. Red de Metro.

La línea 1 de Metro se encuentra en explotación desde noviembre de 2009, sirviendo a una población estimada de 230.000 habitantes y funcionando como un importante nexo para las comunicaciones y los desplazamientos entre el área metropolitana y la ciudad.

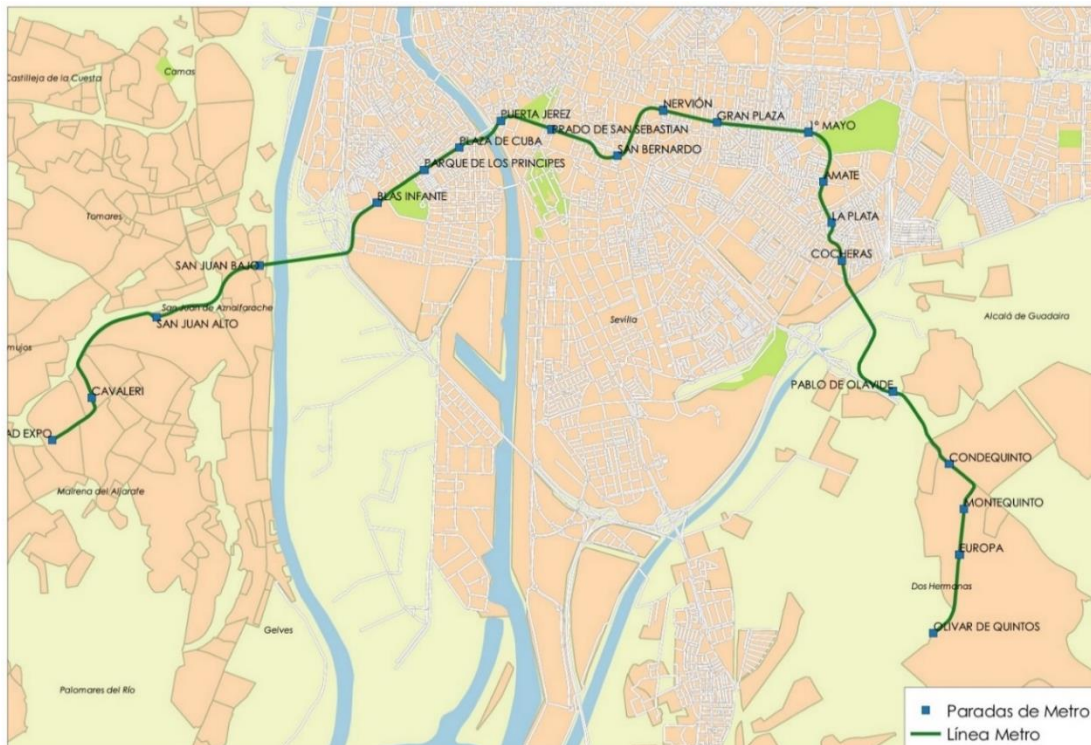
Dispone de una longitud de 18 km, de los que un 60% aproximadamente se ha ejecutado soterrada, y con un total de 22 estaciones, dando servicio a una población estimada de 230.000 habitantes, es decir, a todos los residentes incluidos en un perímetro de 500 metros alrededor de cada estación.

Lunes a Jueves	De 6.30 a 23.00 h
Viernes y vísperas de festivo	De 6.30 a 02.00 h
Sábados	De 7.30 a 02.00 h
Domingos y festivos	De 7.30 a 23.00 h

*Tabla 11. Horarios habituales Servicio de Metro de Sevilla
Fuente: Elaboración propia*

La frecuencia de paso de los trenes en hora punta se sitúa en torno a los 3 y 4 minutos, mientras que en las horas valle pasan trenes cada 5 ó 6 minutos. A partir de las 00:00, el tiempo de espera en el andén se eleva hasta los 12 ó 15 minutos.

El tiempo de recorrido de la línea entre sus dos estaciones terminales (Ciudad Expo-Olivar de Quintos) es de 42 minutos aproximadamente.



*Figura 13. Líneas y paradas de Metro de Sevilla.
Fuente: Elaboración propia (QGIS)*

Las estaciones extremas, Ciudad Expo y Olivar de Quintos, y las estaciones San Juan Alto, San Juan Bajo y Condequinto disponen de aparcamientos disuasorios. En total, 1.600 plazas de aparcamiento gratuito.

La existencia de estos aparcamientos disuasorios fomenta la intermodalidad, ya que favorece el uso del transporte público a los viajeros procedentes de los municipios del área metropolitana, frente al uso del vehículo privado para acceder a Sevilla, con dificultades para el aparcamiento.

- Vías y material móvil

El Metro de Sevilla es un sistema de tren ligero al que dan servicio 21 unidades del modelo Urbos 2 del fabricante CAF, los cuales tienen una longitud de 31,25 metros y cuentan con capacidad para 275 pasajeros.

Los 18,05 km de vía, de 1.435 mm de ancho, cuentan con tramos subterráneos combinados con otros en superficie. En estos últimos, el ferrocarril siempre transcurre en plataforma segregada del resto de transportes.

El recorrido queda cubierto por 21 estaciones: quince subterráneas y siete en superficie.

- Sistema tarifario

Los importes tarifarios del viaje se establecen en función del número de saltos que el usuario necesite efectuar entre las estaciones de origen y las de destino, entendiendo como salto, el paso de una determinada zona tarifaria a otra diferente. Este sistema de tarifas por zonas y saltos es el que está implantado en otros medios de Transporte que prestan servicio en el área metropolitana de la ciudad, como son los autobuses interurbanos y la red de cercanías expuesto con anterioridad, aunque la distribución zonal es diferente a la de los anteriores modos:



Figura 14. Tramos de la línea de Metro

Fuente: Sitio Web Metro de Sevilla

Las estaciones de Blas Infante y Pablo de Olavide son “estaciones frontera” y se consideran comunes a los dos tramos confluyentes en ella. Si el viaje se realiza desde los tramos confluyentes hasta esa estación se considera de 0 saltos.

El sistema de pago utilizado en las instalaciones del metro es variable. El usuario puede optar por dos medios de pago diferentes: El título exclusivo del metro de Sevilla, o la tarjeta multimodal del Consorcio de Transportes del área metropolitana de la ciudad.

Número de saltos	Billete sencillo	Billete ida y vuelta	Bono Metro	T Consorcio
0	1.35 €	2.70 €	0.82 €	0.82 €
1	1.60 €	3.20 €	1.17 €	1.17 €
2	1.80 €	3.60 €	1.37 €	1.37 €

Tabla 12. Tarifas Metro de Sevilla

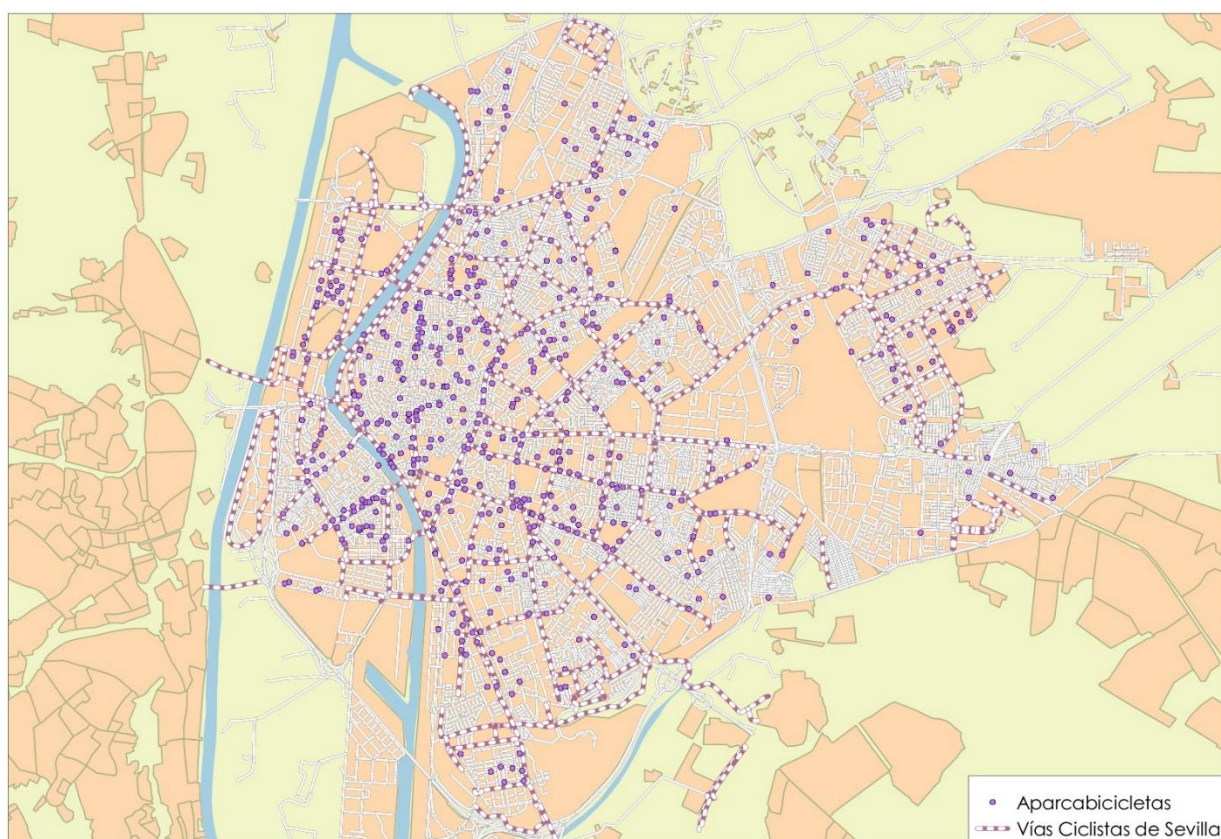
Fuente: Sitio Web Metro de Sevilla

3.2.6. Bicicleta.

En los últimos años, el uso de la bicicleta ha tenido una aceptación masiva por parte de la ciudadanía, que ve en ella una modalidad de transporte que satisface en la mayor parte de las ocasiones las necesidades de transporte entre los destinos más representativos de la vida social y económica de la ciudad. La empresa pública SEVICI y el servicio BUS+BICI del Consorcio de Transportes de Sevilla son parte de la oferta de servicios de bicicleta de la ciudad de Sevilla, promoviendo el uso de este modo de transporte.

Los aparcabicicletas son unos dispositivos destinados a amarrar bicicletas de forma segura en la vía pública. Este elemento forma parte del conjunto del mobiliario urbano de una ciudad, sobretodo en el caso de Sevilla, en el que la bicicleta es un modo de transporte muy importante.

Existen en las distintas localidades del área metropolitana 1.092 plazas de aparcamientos para bicicletas, para fomentar el uso combinado de la bicicleta y el Transporte Público, así como otras 86 plazas en la Estación de Autobuses Plaza de Armas de Sevilla.



*Figura 15. Aparcabicicletas públicos y vías ciclistas de Sevilla
Fuente: Elaboración propia (QGIS)*

La Red de Vías Ciclistas de la Ciudad de Sevilla está compuesta por un conjunto de itinerarios de bicicleta de diferentes tipologías en función del espacio viario, las secciones tipo, la intensidad y velocidad del tráfico, etc. Estas categorías son:

- CARRILES BICI: Vías para bicicletas, señalizadas a tal efecto, que forman parte de la calzada en vías urbanas. Los carriles bici se considerarán protegidos cuando estén separados del resto de la calzada mediante elementos de mobiliario urbano, que

impiden la invasión del carril bici por parte de los vehículos motorizados. Podrán ser de un sentido o de doble sentido.

- ACERAS BICI: Vías para bicicletas integradas en la acera, señalizadas mediante un pavimento diferenciado que las segrega del espacio propiamente peatonal. Podrán ser de un sentido o de doble sentido.
- PISTAS BICI: Vías para bicicletas segregadas físicamente de la calzada y de los peatones. Podrán ser de un sentido o de doble sentido.
- SENDAS BICI: Vías para bicicletas y peatones que discurren por espacios abiertos, parques o jardines. Puede existir algún tipo de tratamiento físico, visual o señalización que segregue el espacio de las bicicletas del peatonal.
- VÍAS COMPARTIDAS: Vías para bicicletas que comparten el espacio con los peatones, con preferencia peatonal.

La longitud de los itinerarios de los diferentes tramos tipológicos del término municipal, en base al plano que se adjunta, es la siguiente:

TIPO DE VIA	LONGITUD	%
Carriles Bici	16.152	9.8
Aceras Bici	101.521	61.8
Pistas Bici	18.530	11.3
Sendas Bici	15.789	9.6
Vías compartidas	12.296	7.5

Tabla 13. Longitud de los tipos de vías ciclistas

Fuente: Elaboración propia. Datos: Sevilla en Bici.

En total, la Red de Vías Ciclistas del Término Municipal de Sevilla tiene una longitud de 164.288 metros.

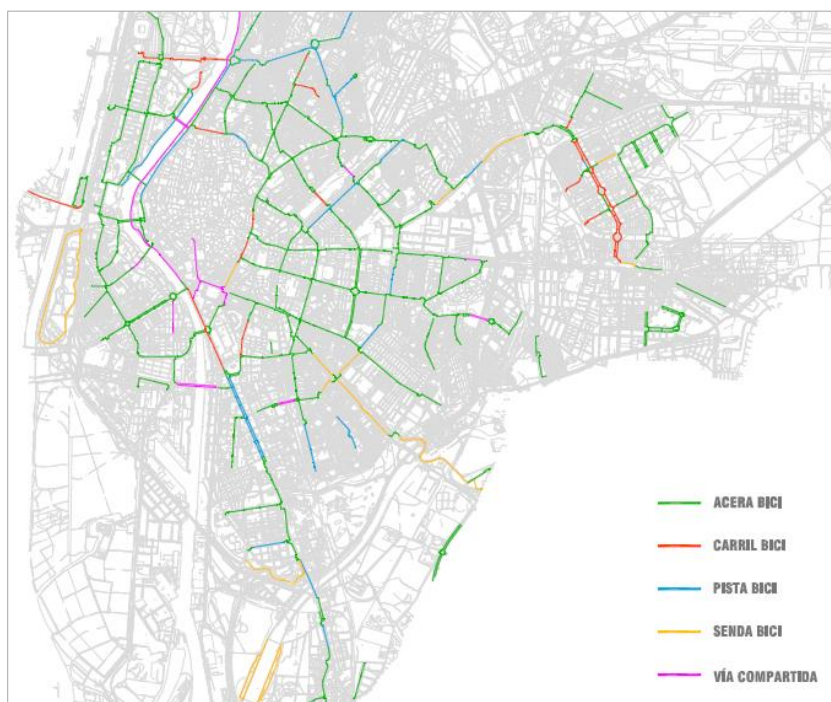
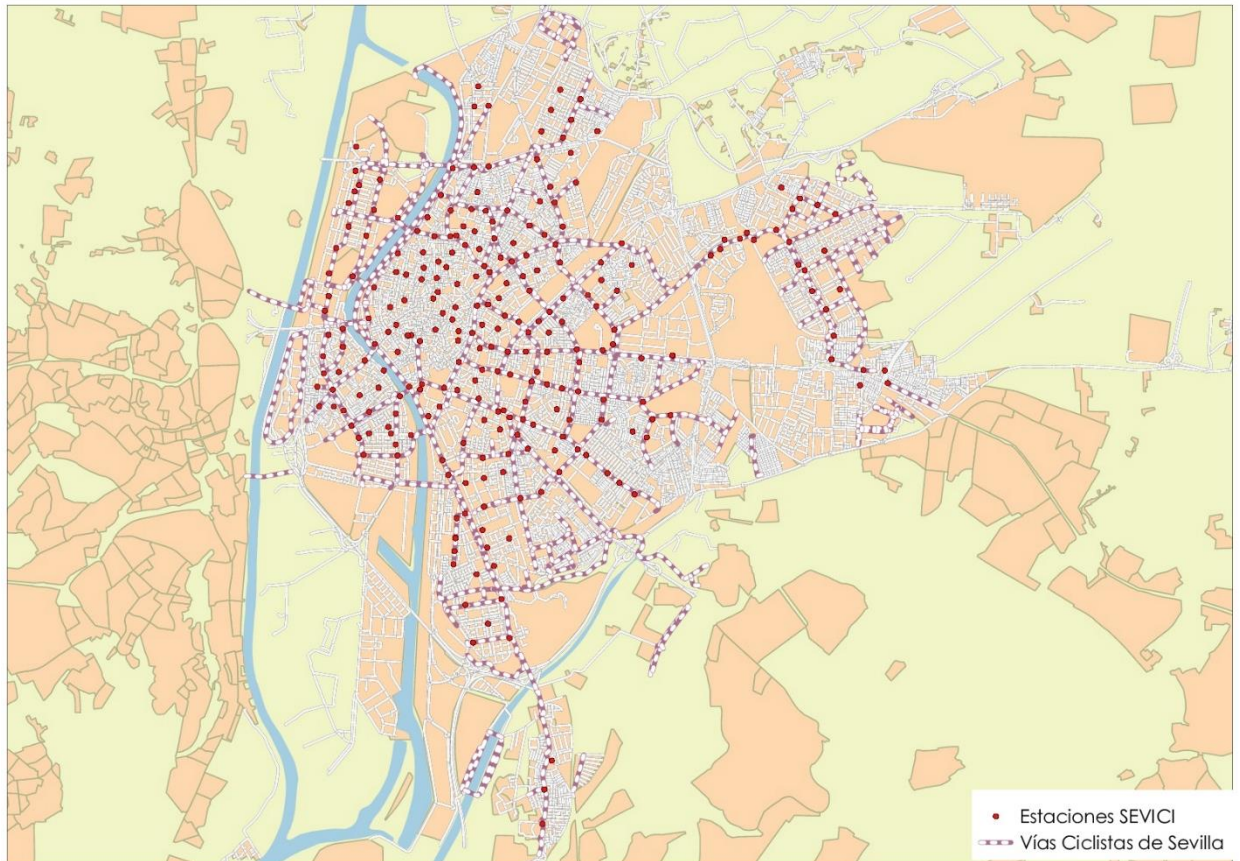


Figura 16. Tipo de vías ciclistas
Fuente: Sevilla En Bici (Sevilla.org).

- **Servicio SEVICI**
Es un servicio de alquiler de bicicletas públicas que se implantó en la ciudad de Sevilla en julio de 2007, promovido por el Ayuntamiento de Sevilla.
El servicio cuenta con más de 38.706 usuarios de larga duración y de 260 estaciones repartidas por la ciudad.



*Figura 17. Estaciones SEVICI y vías ciclistas de Sevilla
Fuente: Elaboración propia (QGIS)*

- **Servicio BUS+BICI**
En septiembre de 2006, el Consorcio de Transporte Metropolitano del Área de Sevilla puso en funcionamiento un servicio de bicicleta pública conocido como Servicio Bus+Bici, que prima a los usuarios de la tarjeta de transporte del Consorcio con la posibilidad de disponer de una bicicleta gratuita para sus desplazamientos en Sevilla los días laborables desde las 7:30 horas de la mañana hasta las 19:30 y la posibilidad de entregarla antes de las 24 horas del mismo día del préstamo.

Están a disposición de los 9.400 usuarios inscritos un total de 180 bicicletas, que han contabilizado a 29.415 usos de estas bicicletas a lo largo del año 2017.

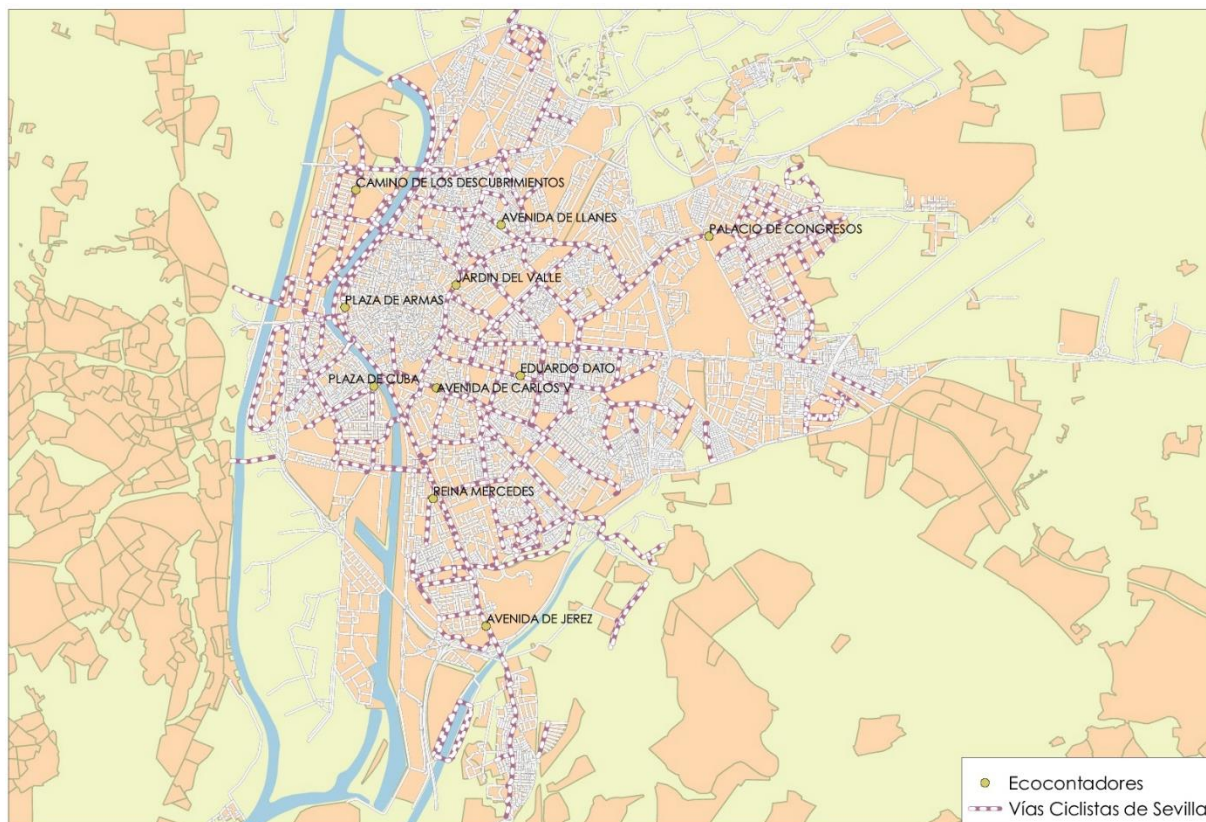
- Eco-contadores en la red de vías ciclistas de Sevilla.

La ciudad de Sevilla cuenta actualmente con Eco-contadores, unos dispositivos colocados en determinados puntos de la red de vías ciclistas, para mejorar el conocimiento de la movilidad de la bicicleta. Son unos sensores que permiten contar ciclistas de forma permanente, diferenciando los tipos de tráfico.

Los Eco-contadores instalados cuentan con un aparato de alta tecnología para el conteo, colocado en una arqueta adyacente que transfiere automáticamente los datos recogidos.

Solo cuenta pasos de bicicletas, siendo un sistema preciso, con un margen de error de +/- 5%, resistente a entornos hostiles, totalmente estanco e invisible para no alterar el comportamiento de los peatones y evitar el vandalismo.

Actualmente están instalados 10 Eco-contadores:



*Figura 18. Ecocontadores de la Gerencia de Urbanismo
Fuente: Elaboración propia (QGIS). Datos: Sevilla en Bici*

Los Eco-contadores permiten mejorar la gestión de la movilidad ciclista en la ciudad, estudiando los flujos de circulación, la evaluación de la frecuencia en el tiempo, la estimación del impacto de los centros de interés o nuevas actuaciones, etc.

Los datos de desplazamientos en bicicleta de estos ecocontadores así como los datos de demanda de usuarios de Sevici y BusBici se encuentran desglosados en el apartado 6 de este documento.

- Transporte de bicicletas en otros modos de transporte
 - En los autobuses urbanos TUSSAM

El transporte de bicicletas en estos autobuses se rige según El Reglamento para la prestación del Servicio de TUSSAM. En el mismo, se autoriza el acceso de usuarios que porten bicicletas siempre y cuando estén plegadas y recogidas en un receptáculo.
 - En los autobuses metropolitanos

Por regla general, se admite el transporte de bicicletas en los servicios de corto y largo recorrido, con ciertas limitaciones: Exigen que las bicicletas vayan embaladas en algún tipo de caja o bolsa, o lo suficientemente protegidas.
Su transporte lleva añadido un suplemento sobre el precio del billete. También se limita el número de bicicletas por persona y también por autobús, en función del espacio disponible.
 - Metro

El acceso con bicicletas está restringido durante las horas punta. Sin embargo, si las bicicletas están plegadas no existe limitación horaria alguna.
Si la ocupación de los trenes es elevada, se puede impedir el acceso de bicicletas, estando prohibido el acceso con bicicletas en servicios especiales.
Recientemente Metro de Sevilla ha instalado nuevos aparcamientos para bicicleta en el interior de 11 de las 21 estaciones, con el objetivo de fomentar la intermodalidad.
 - Cercanías

Se admite una bicicleta por viajero cuando vaya transportada en los espacios habilitados. Este servicio no requiere el abono de ningún suplemento adicional.
Si la ocupación del tren fuera elevada y el viajero portador de bicicleta no pudiera realizar su viaje o pudiera ocasionar molestias, el viajero cuenta con las opciones de optar por otro tren o por la devolución del importe total de su billete.

3.2.7. Otros urbanos

- Alcalá de Guadaira
Este municipio cuenta con un servicio de transporte urbano integrado por 5 líneas.
- Mairena del Alcor
En cuanto a Mairena del Alcor, 4 itinerarios conectan entre sí los distintos puntos del casco urbano de esta localidad.
- San José de la Rinconada
Dispone de una línea de autobuses que realiza un servicio urbano de conexión entre los núcleos de población de La Rinconada y San José.
- Dos Hermanas
La red de transporte urbano de la ciudad de Dos Hermanas, la segunda de mayor población del área metropolitana de Sevilla, está compuesta en la actualidad por 5 líneas.

	Billete sencillo	Tarjeta Consorcio
Sevilla	1.40 €	0.76 €
Dos Hermanas	0.71 €	0.37 €
Alcalá de Guadaira	1.10 €	0.75 €
La Rinconada	1.30 €	0.90 €
Mairena del Alcor	1.20 €	0.80 €

*Tabla 14. Sistema Tarifario Otros Urbanos del Área metropolitana
Fuente: Elaboración propia*

4. TERMINALES INTERMODALES DE SEVILLA

Se señalan las principales estaciones y puntos de intermodalidad en transporte público de Sevilla:

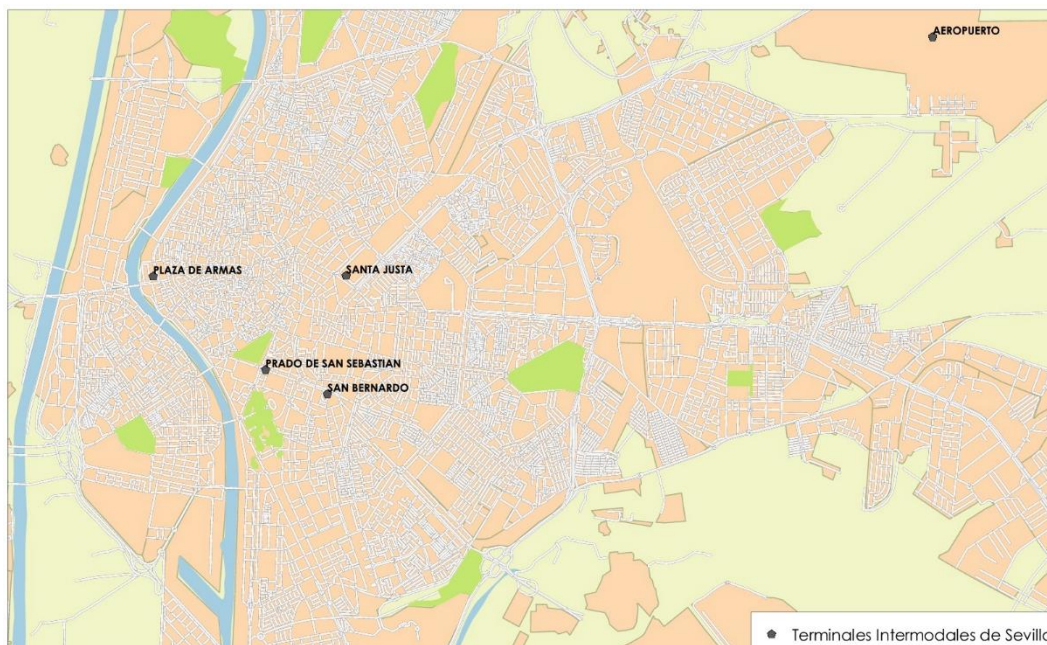


Figura 19. Terminales intermodales de Sevilla.

Fuente: Elaboración propia (QGIS)

Se disponen en la siguiente tabla los modos de transporte disponibles en estos puntos intermodales:

	TUSSAM	Metro	Metrocentro	Bus Metropolitano	Cercanías	BUS+BICI	SEVICI
Plaza de Armas	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
Prado de San Sebastián	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓
San Bernardo	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓
Aeropuerto	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Santa Justa	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓

Tabla 15. Modos de transporte disponibles en los puntos intermodales

Fuente: Elaboración propia

4.1. Plaza de Armas

La Estación de Autobuses “Plaza de Armas” se inauguró el 31 de marzo de 1.992 con motivo de la celebración en Sevilla de la Exposición Universal que tuvo lugar ese mismo año y ante la necesidad de dotar a la ciudad de una terminal de autobuses acorde a tal evento.

Está dotada de 43 dársenas desde los cuales realizan su salida los autobuses de las 20 empresas que operan desde la estación hacia distintos puntos de la geografía provincial, autonómica, nacional e internacional.

Progresivamente, esta estación se ha ido convirtiendo en una de las opciones más importantes para el viajero que quiere acceder a la ciudad de Sevilla.

Destino	Intermodalidad
Prado de San Sebastián	✓ Líneas 21, C4 TUSSAM
San Bernardo	✓ Líneas 21, C4 TUSSAM
Santa Justa	✓ Línea 21 TUSSAM
Aeropuerto	✓ Línea EA TUSSAM

*Tabla 16. Conexiones directas de la Estación Plaza de Armas con otras terminales de la ciudad de Sevilla
Fuente: Elaboración propia*

La Estación de Autobuses Plaza de Armas es utilizada por una media de unos 17.000 viajeros/día, siendo punto de parada para salidas y llegadas de las líneas de transporte público de viajeros por carretera, metropolitanas, provinciales, regionales, nacionales e internacionales.

Durante el año 2017 hicieron uso de la Estación de Autobuses de Plaza de Armas 6.164.803 viajeros.

El número de viajeros de largo recorrido fue de 1.722.452, mientras que el de viajeros de corto recorrido o metropolitanos fue de 4.442.351. El mes que mayor número de usuarios hizo uso de la Estación fue junio con 521.552 viajeros y el que menos, febrero, con 499.932 viajeros.

El número de expediciones con origen y destino la Estación de Autobuses de Plaza de Armas en el año 2017 fueron 365.992.

4.2. Prado de San Sebastián

La Estación de autobuses Prado de San Sebastián fue la primera estación de autobuses de Andalucía. Cuenta con 24 dársenas para autobuses con destino a Madrid, Sur de Portugal, Lisboa, Huelva, Costa de Huelva, Barcelona, Valencia, Alicante, Mérida, pueblos de la provincia de Sevilla, Asturias, Galicia, zona norte de España, países del extranjero. El volumen aproximado de viajeros asciende a un millón anual.

La explotación de esta estación fue asumida por TUSSAM desde octubre de 2013.

Destino	Intermodalidad
Plaza de Armas	✓ Líneas 21 C3 TUSSAM
San Bernardo	✓ Líneas T1, C2, 22, 25, 26, 28, 29, 38 TUSSAM. Metro
Santa Justa	✓ Líneas C2, 21, 28 TUSSAM
Aeropuerto	✓ Línea EA TUSSAM

*Tabla 17. Conexiones directas de la Estación Prado de San Sebastián con otras terminales de la ciudad de Sevilla
Fuente: Elaboración propia*

La estación del Prado acoge también desde octubre de 2014 a los autobuses turísticos. Esta incorporación se enmarca en un proyecto que pretende integrar en la gestión del viario, el tránsito, parada y estacionamiento de los autobuses destinados al transporte de turistas, ordenando la movilidad de estos vehículos y garantizando el fácil acceso de todos los visitantes a las principales zonas monumentales, mejorando la calidad del servicio a los operadores y a los turistas que visitan Sevilla. Para poder acoger estos autobuses turísticos se construyeron en el año 2014 dos nuevos aparcamientos, uno en la parte trasera de la estación con capacidad para 18 vehículos y, otro, en el solar contiguo de Avda. Carlos V con capacidad para otros 23 autobuses.

4.3. San Bernardo

San Bernardo es un apeadero ferroviario subterráneo situado en el Distrito de Nervión, inaugurado en 1991 en sustitución de la antigua estación de San Bernardo, conocida popularmente como la Estación de Cádiz.

En este punto realizan parada líneas de Media Distancia y las líneas C1, C4 y C5 de la red de cercanías de Sevilla.

Esta céntrica estación dispone de una alta intermodalidad con otros transportes de la ciudad ya que permite conexiones con la línea 1 del Metro de Sevilla, con la línea T1 del tranvía y con la red de autobuses urbanos e interurbanos.

Destino	Intermodalidad
Prado de San Sebastián	✓ T1, C1, 22, 25, 26, 28, 29, 38 TUSSAM. Metro
Plaza de Armas	✗
Santa Justa	✓ Líneas C2 y 28 TUSSAM. Cercanías.
Aeropuerto	✓ Línea EA TUSSAM

*Tabla 18. Conexiones directas de San Bernardo con otras terminales de la ciudad de Sevilla
Fuente: Elaboración propia*

4.4. Santa Justa

Es la tercera estación ferroviaria de España, tras la de Madrid-Atocha y Barcelona Sants con un volumen de viajeros cercano a los 13 millones anuales de los cuales alrededor de 7 millones se corresponden con el tráfico de cercanías.

- Larga distancia
Por Santa Justa circula un alto número de trenes AVE y Alvia cuyos destinos principales son Madrid, Barcelona, Cádiz, Huelva y Málaga.
- Media distancia
En la estación confluyen un gran número de líneas de Media Distancia que permiten unir Sevilla con las principales ciudades de Andalucía y con Extremadura vía Zafra y Mérida.
- Cercanías
Las líneas C1, C2, C3, C4 y C5 de la red de Cercanías Sevilla tienen parada en la estación.

Las líneas de autobuses urbanos operadas por TUSSAM que permiten acceder a la estación son las líneas C1, C2, 28, 32 y Especial Aeropuerto.

Aunque existen proyectos para que la línea 2 del Metro de Sevilla dé servicio a la estación, en la actualidad, la estación de metro más cercana (a un kilómetro caminando) es Nervión perteneciente a la línea 1.

Destino	Intermodalidad
Prado de San Sebastián	✓ Líneas C1, 21, 28 TUSSAM
Plaza de Armas	✓ Línea 21 TUSSAM
San Bernardo	✓ Líneas C1 y 28 TUSSAM. Cercanías.
Aeropuerto	✓ Línea EA TUSSAM

*Tabla 19. Conexiones directas de Santa Justa con otras terminales de la ciudad
Fuente: Elaboración propia*

4.5. Aeropuerto

El aeropuerto de Sevilla-San Pablo está gestionado por Aena, se encuentra a 3 km al noreste de la ciudad Sevilla. Está ubicado en los términos municipales de Sevilla y La Rinconada.

Cuenta con 42 mostradores de facturación y 16 puertas de embarque.

En 2017 alcanzó los 5 millones de pasajeros anuales.

El aeropuerto está conectado con el núcleo urbano y todas las estaciones comentadas a través de la línea EA de TUSAM. La duración de este viaje es de 35 minutos, y tiene una frecuencia de paso de aproximadamente media hora.

5. ACTUACIONES FUTURAS

5.1. Ampliación Red de Metro.

Actualmente se encuentra proyectada, con fecha de ejecución indefinida, una segunda fase que creará tres líneas adicionales a la que está actualmente en servicio: Las líneas 2, 3 y 4.

La línea 1 es la más metropolitana de toda la red de metro proyectada.

Línea	Descripción
2	Torreblanca-Sevilla Este-Santa Justa-Centro-Puerta Triana
3	Pino Montano-Macarena-Ronda Histórica-Prado de San Sebastián-La Palmera-Bermejales
4	Línea Circular

Tabla 20. Futuras líneas de Metro
Fuente: Elaboración propia

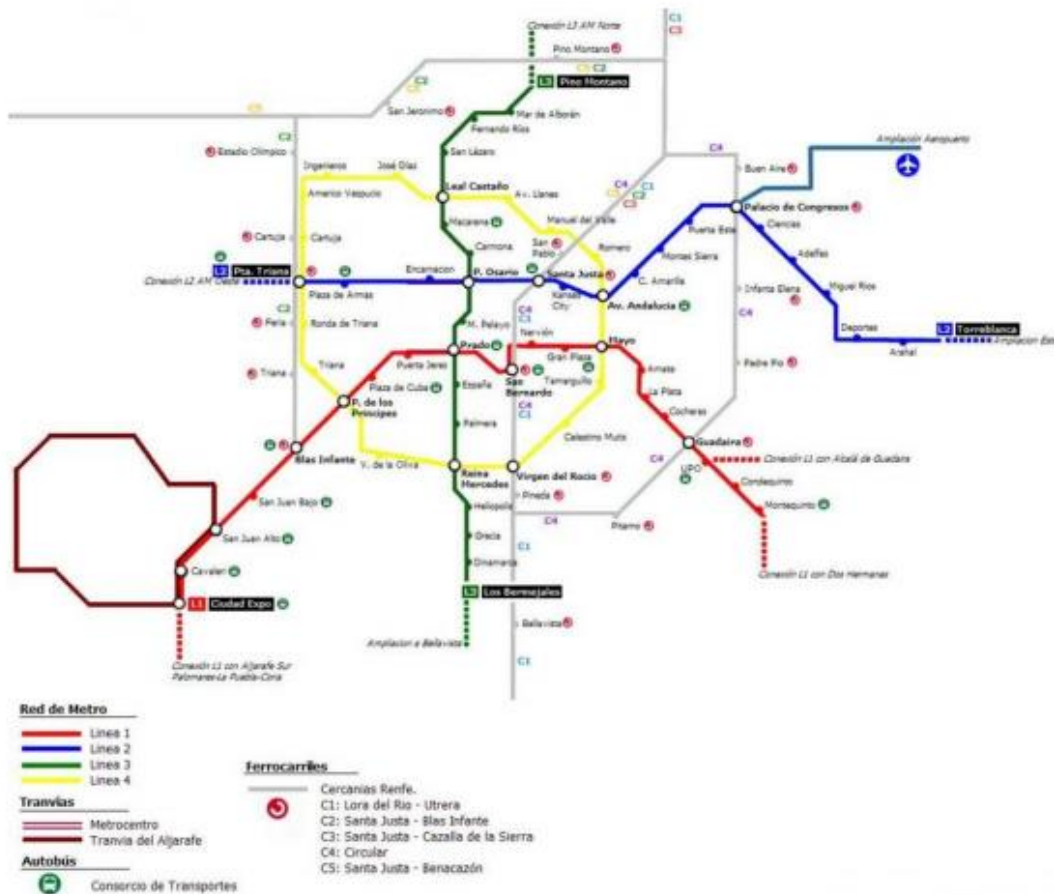


Figura 20. Futura red de Metro de Sevilla.
Fuente: Dictamen sobre movilidad sostenible en la ciudad de Sevilla

Línea	Longitud	Nº estaciones
2	13.4	16
3	11.5	19
4	17.7	24

Tabla 21. Características de las futuras líneas de Metro de Sevilla

Fuente: Elaboración propia

- Línea 2

La trayectoria de esta línea transcurre bajo el centro histórico de la ciudad y conecta la Estación de autobuses de Plaza de Armas con la Estación de ferrocarril de Santa Justa y con el Palacio de Exposiciones y Congresos de Sevilla Este.

El mayor inconveniente de la línea 2 es que no tiene correspondencia con la línea 1, por lo que no hay posibilidad de transbordo directo entre ambas.

Esta línea será subterránea en el 100% de su recorrido, contando con un total de 16 estaciones subterráneas, 3 de ellas con correspondencia con otras líneas de metro y otras 2 con Cercanías Renfe.

- Línea 3

Tendría correspondencia con la línea 4 en las estaciones de Hospital Virgen Macarena y La Palmera; con la línea 2 en María Auxiliadora; y con la línea 1 en el Prado de San Sebastián. A su vez, estará interconectada con la red de Cercanías de Renfe en la estación de Pino Montano, en su extremo norte con las líneas C2 y C5.

- Línea 4

La línea 4 será la circular del metropolitano sevillano. Seguirá el trayecto Ronda del Tamarguillo (Este-Norte), Macarena, Américo Vespucio y Ronda de Triana (Oeste), para seguir por la Avenida Juan Pablo II y enlazar con la Ciudad Sanitaria Virgen del Rocio (discurriendo bajo el campus universitario de Reina Mercedes) para desembocar de nuevo en la Ronda del Tamarguillo.

Según el anteproyecto, esta línea será completamente subterránea salvo en el tramo que transcurre por la Isla de la Cartuja, que contará con cuatro paradas de tipo tranviario.

5.2. Tranvía Metropolitano de Alcalá de Guadaíra.

Es una línea de tranvía que enlazará la línea 1 del Metro de Sevilla con el municipio hispalense de Alcalá de Guadaíra.

En total, serán 12 kilómetros de tranvía. El tiempo de viaje, incluidas las 12 paradas, se estima en 23 minutos para todo el recorrido y se prevé que dé servicio a cerca de 80.000 usuarios a los cuales facilitará la movilidad e intercomunicación con la capital de forma notable.

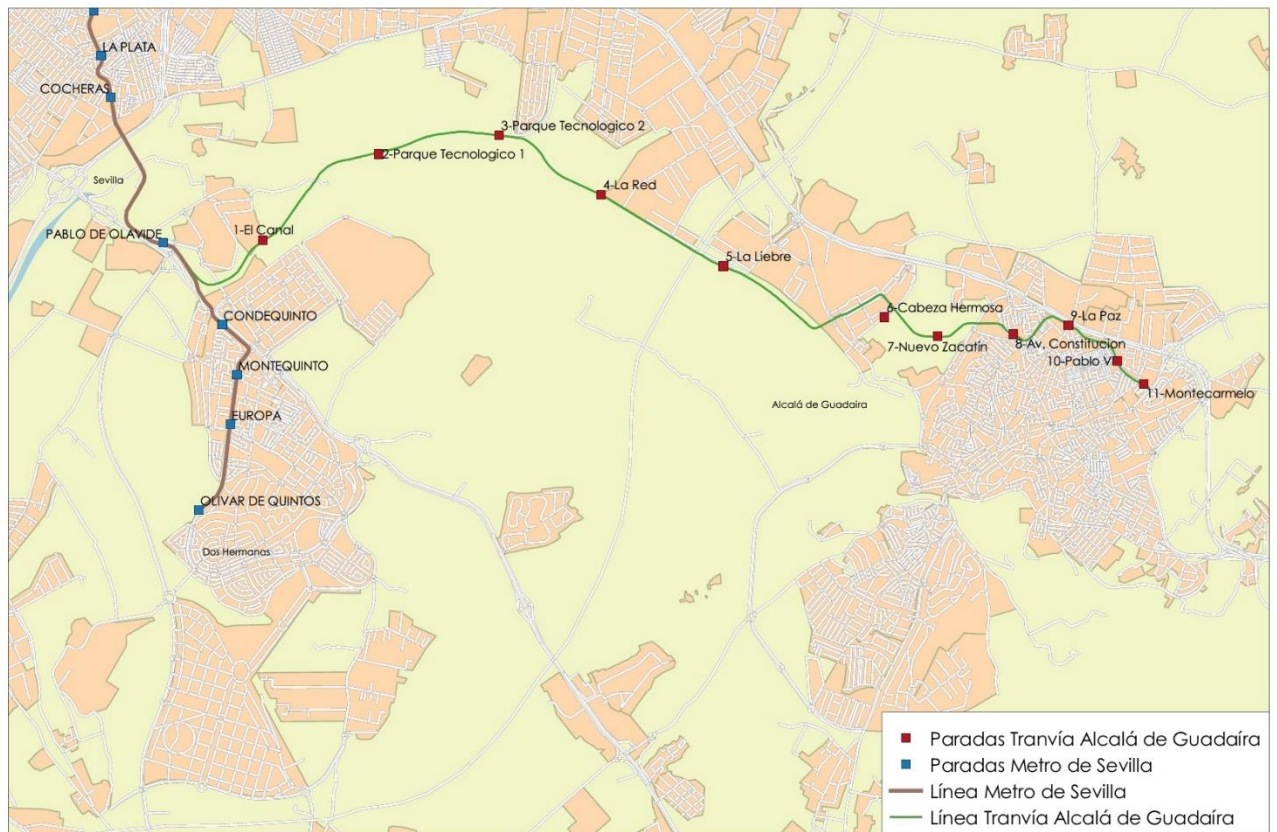


Figura 21. Línea y Paradas del Tranvía de Alcalá de Guadaíra
Fuente: Elaboración propia (QGIS)

5.3. Ampliación de la Red de Metrocentro.

El recorrido seleccionado recorrerá San Francisco Javier y Luis de Morales hasta llegar a Santa Justa. Incorpora un paso subterráneo en el cruce de Ramón y Cajal que, una vez en superficie, se ejecuta en una plataforma reservada en la mediana de la calzada.

El objetivo de este trazado es llegar a duplicar las cifras actuales del tranvía en 4 millones de viajeros (alcanzando así los 8 millones al año en total) con una velocidad comercial de 21 kilómetros hora y un tiempo estimado del recorrido entre San Bernardo y la estación de 5,3 minutos.

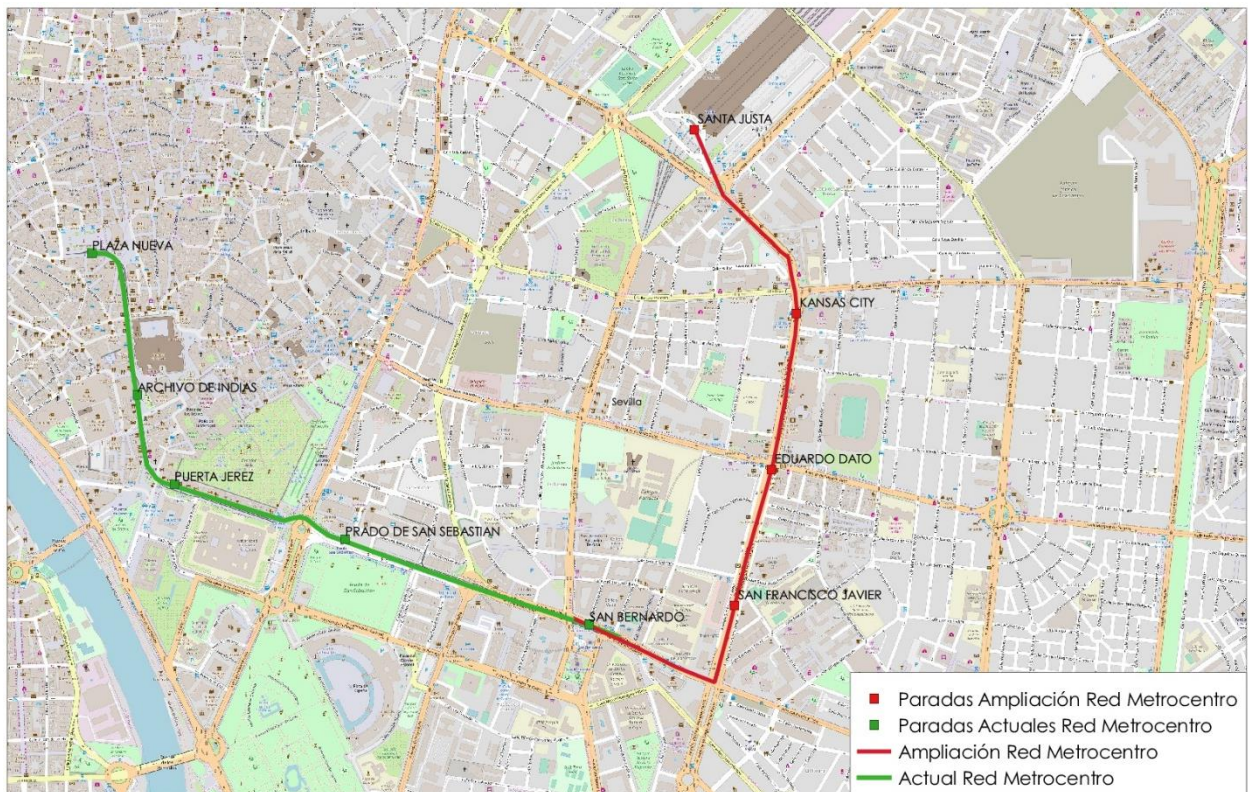


Figura 22. Paradas de la Ampliación del Metrocentro

Fuente: Elaboración propia (QGIS)

Según el Ayuntamiento de Sevilla, las claves de este proyecto son:

- Permite incrementar la velocidad comercial a 21,5 kilómetros hora en todo el recorrido.
- El tiempo alcanzado será de 3 minutos entre San Bernardo y Nervión y 5 minutos 36 segundos en todo el trazado hasta Santa Justa.
- Reduce en 1,4 millones los kilómetros de circulación en vehículo privado.
- Reduce un total de 2.890 toneladas de emisiones CO2.
- Alcanza la mayor población posible (tanto residente como personas de paso en zonas comerciales y de ocio).
- Genera un segundo nudo intermodal tras el de la estación de San Bernardo en Santa Justa.

El trazado por la mediana permitirá:

- No afectar a los movimientos de entradas y salidas de las calles.
- No perjudicar la circulación de vehículos, que los giros a la izquierda se realicen en las intersecciones semaforizadas.
- Mantener las plazas de aparcamientos casi en su totalidad.
- Reducir la posibilidad de afecciones por ruido o vibraciones en las viviendas del entorno.

5. Actuaciones futuras

El proyecto de ampliación del Metrocentro a Santa Justa recoge una reordenación de los acerados de San Francisco Javier y Luis de Morales con nuevo arbolado y zonas de sombra.

El traslado de la masa arbórea a los acerados laterales incrementará la sombra sobre los peatones, reducirá la temperatura, incrementará la humedad y reducirá las radiaciones solares. Habrá al menos el mismo número de árboles de los que hay actualmente pero en otra ubicación.

El proyecto no contempla la tala de arbolado: El arbolado ubicado ahora mismo en la mediana será trasladado a parques y espacios verdes municipales, y en los casos que sea posible a la nueva zona arbolada en los laterales. El objetivo es generar un espacio con los parámetros de ciudad saludable y sostenible en todo el trazado.

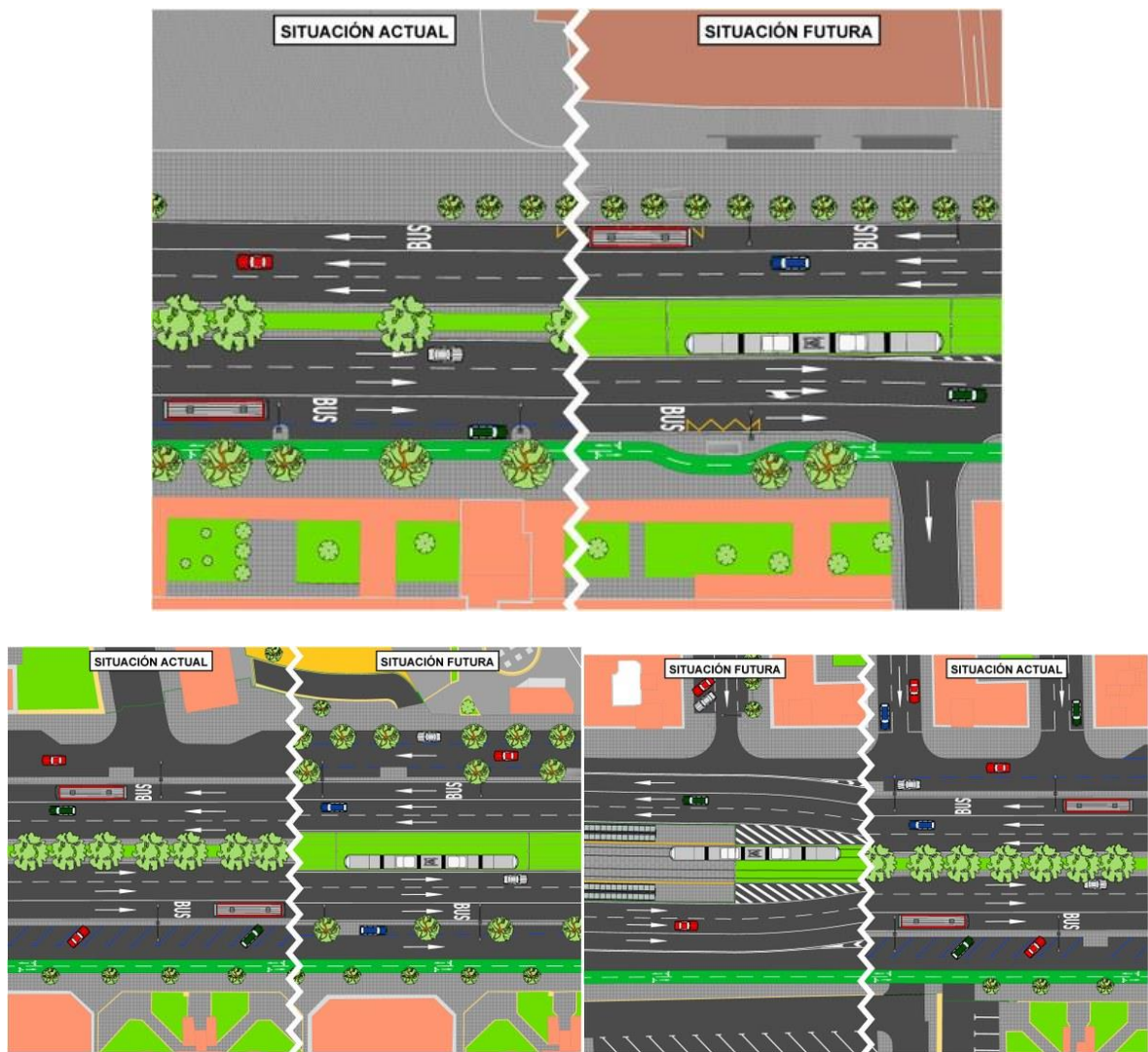


Figura 23. Futuras actuaciones en las Calles Luis de Morales y San Francisco Javier para la ampliación del Metrocentro
Fuente: Sitio Web Ayuntamiento de Sevilla

5.4. Primera estación bici de Sevilla

Dentro de las estrategias del Plan de la Bici 2020 del Ayuntamiento de Sevilla, se enmarca la iniciativa de la primera estación bici de la ciudad. Esta se ubicará en la zona de San Bernardo, y contará con un total de 250 plazas.

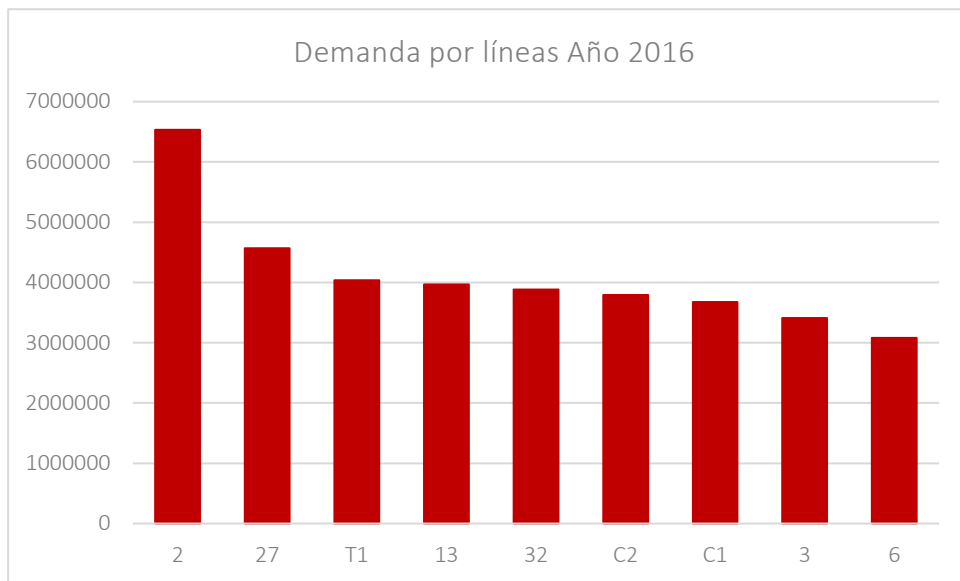
El proyecto de bici estación segura está planteado como un módulo con una estructura diáfana en su interior para el aparcamiento y espacio para que se pueda transitar cómodamente para dejar y recoger las bicis.

En total, se trata de una superficie de 198 metros cuadrados ubicada en San Bernardo, un espacio elegido debido a su coincidencia en esta misma área de Metrocentro, Cercanías, Metro y las distintas líneas de Tussam.

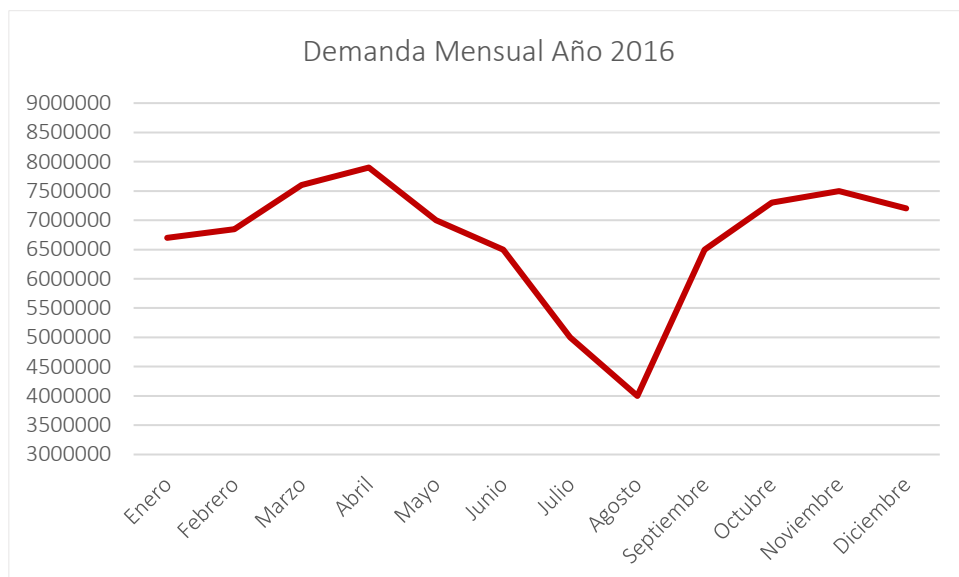
6.DEMANDA DE LOS MODOS

6.1. Red de autobuses urbanos TUSSAM y Metrocentro

En año 2016, las líneas de mayor demanda han sido: la 2 (Barqueta - Polígono San Pablo - Hospital Virgen del Rocío - Heliópolis) con 6,53 millones de viajeros transportados, seguida por la línea 27 (Sevilla Este - Plaza del Duque) con 4,57 millones, la línea tranviaria T1 con 4,04 millones de viajeros y la línea 13 (Pino Montano - Plaza del Duque) con 3,96 millones.



Fuente: Elaboración propia
Datos: Memoria 2016 TUSSAM



Fuente: Elaboración propia
Datos: Memoria 2016 TUSSAM

Según el Diario de Sevilla (2018), durante el primer cuatrimestre del año 2018, la demanda de las líneas de TUSAM ha experimentado un crecimiento de casi el 3% respecto a estos meses del año 2017, con un total de 29.048.775 viajeros transportados.

Además, en abril de 2018, TUSAAM batió su propio récord histórico de demanda mensual con un total 8.074.396 viajeros, casi un 8% más que durante el mismo mes del pasado año.

Así, durante los cuatro primeros meses del año los autobuses de TUSAM han recorrido 6,21 millones de kilómetros y se han realizado 895.054 expediciones. Las líneas más demandadas han sido:

- Línea 2 (Barqueta-Polígono San Pablo-Ciudad Sanitaria-Heliópolis) con 2,38 millones de viajeros.
- Línea 27 (Sevilla Este-Plaza del Duque) con 1,52 millones de viajeros.
- Línea circular C2 con 1,47 millones de viajeros.
- Línea Circular C1 con 1,39 millones de viajeros.

Entre las líneas que experimentan mayores incrementos de demanda destacan, en valores absolutos:

- Línea Circular C2 con 110.308 viajeros (8%)
- Línea Especial Aeropuerto con 103.163 viajeros (40%),
- Línea Circular C1 con 75.619 viajeros (6%)
- Línea 3 (Pino Montano - Bellavista) con 67.927 viajeros (5%).

En porcentaje, además de la línea Especial Aeropuerto, destacan la línea 41 (Tablada-Plaza de la Magdalena) con un incremento del 10% y la línea Circular C2 con el 8%.

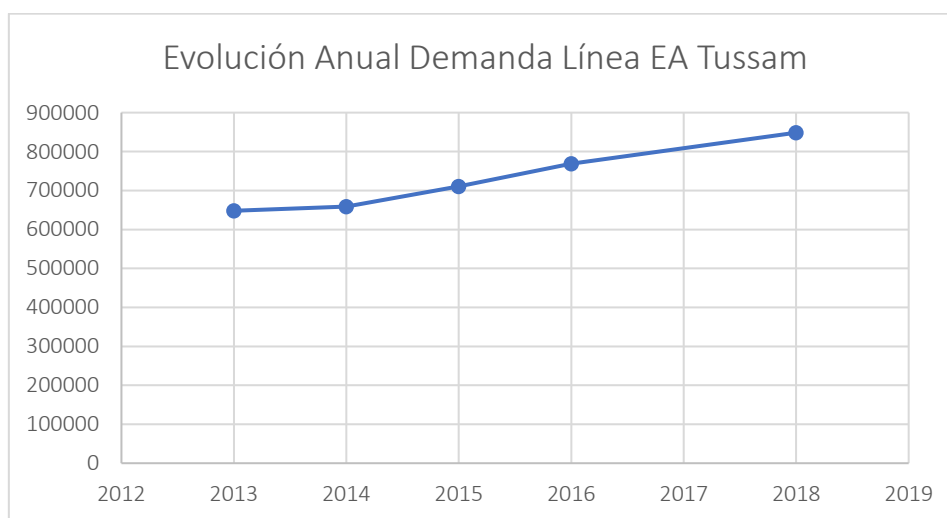


Figura 24. Evolución anual de la demanda de la línea Especial Aeropuerto de TUSAM
Fuente: Elaboración propia. Datos: Memorias TUSAM.

Respecto a las tarifas y los títulos de viaje, la tarifa media de 2016 se ha situado en 0,49 euros, siendo una de las más bajas entre las existentes en ciudades españolas de similar tamaño, debido sobre todo a la no existencia en otras ciudades de transbordo gratuito durante una hora, de la tarjeta solidaria y de tarjeta gratuita para la 3ª Edad.

Respecto al uso de los distintos títulos de viaje, el más utilizado en el año 2016 ha sido la tarjeta sin transbordo con el 24,20%. Le sigue la tarjeta con transbordo, con un 20% y la tarjeta de 3ª Edad que se sitúa en el 18,85%. Respecto al resto de títulos, el billete univiaje se sitúa en el 9,89%, la

6. Demanda de los modos

tarjeta Solidaria en el 9,03%, la tarjeta del Consorcio en el 7,42%, la tarjeta 30 días en el 6,27% y la tarjeta Joven en el 3,53%.

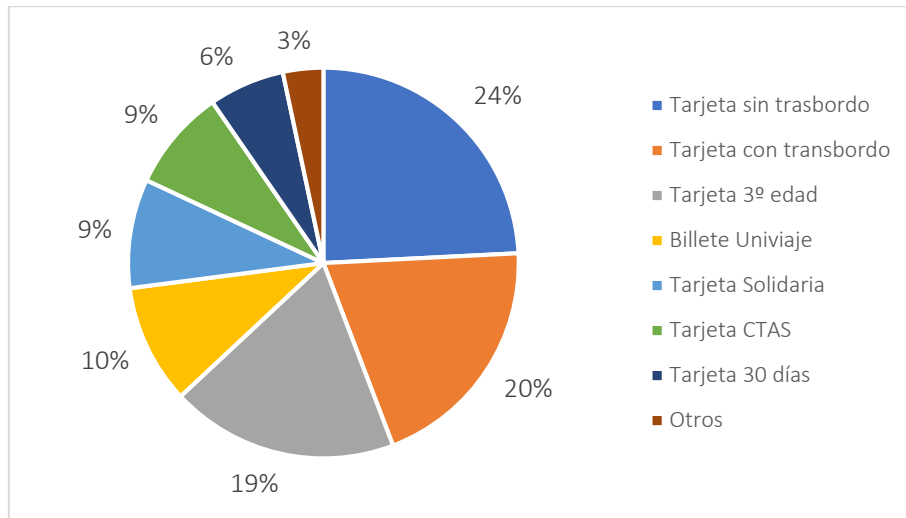


Figura 25. Distribución de la demanda por títulos de viaje. Año 2016
Fuente: Elaboración propia. Datos: Memoria 2016 TUSSAM

Durante el primer cuatrimestre, el título de viaje más utilizado ha sido bonobús sin transbordo con el 24%, seguido por el bonobús con transbordo que se sitúa, entre primera cancelación y transbordo, en el 19%. En ambos casos, estas cifras han sufrido un descenso de un punto respecto al año 2017, relacionado con el trasvase de usuarios a la Tarjeta de Estudiante. Este título ha experimentado un importante crecimiento ya que, con 2.205.096 cancelaciones (un 8% del total) ha registrado un aumento en su uso del 186% respecto de la tarjeta universitaria del año pasado.

Línea LC

Esta línea, al conectar la estación de Metro de Blas Infante con la Cartuja, nos interesa conocer su demanda:

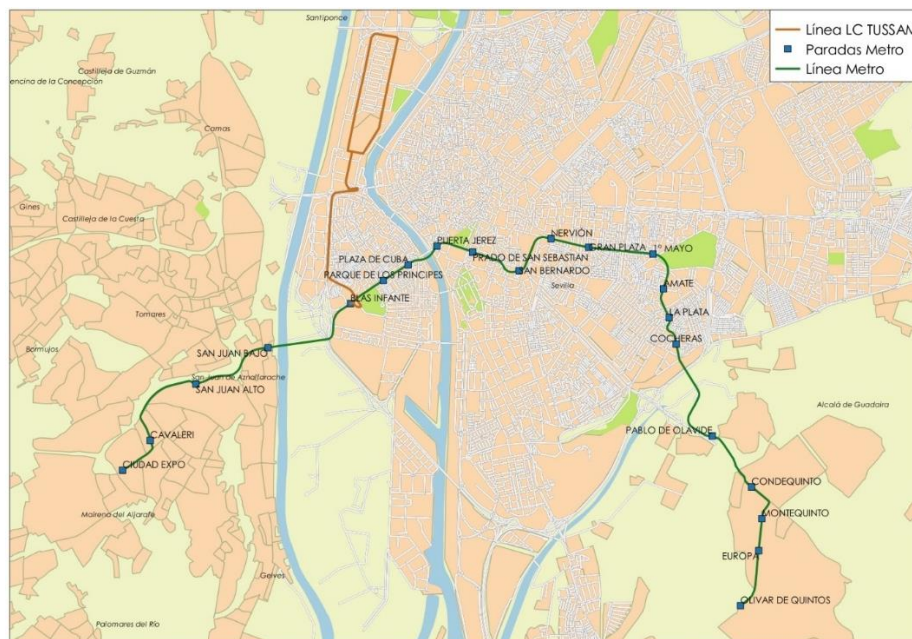


Figura 26. Lanzadera LC TUSSAM. Conexión La Cartuja con el Metro.
Fuente: Elaboración propia (QGIS)

Según la encuesta que se realizó a los usuarios de esta línea, el 55% de los mismos no dispone de coche propio, mientras que el resto sí. El 60% de los viajes se realizan por motivos de estudios, el 35% por trabajo y el 4% por cuestiones relacionadas con la salud.

El 35% de los usuarios tiene su domicilio en Sevilla capital, mientras que el 32% viven en Mairena del Aljarafe, un 9% en Montequinto, un 8% en San Juan y el resto (16%) en otros municipios del Aljarafe.

En lo que respecta a los títulos de viaje, el más utilizado es la tarjeta del Consorcio con el 76,5%, seguido por el bonobús sin transbordo con el 10,5%, la tarjeta universitaria con el 4% y el univiaje con el 4,5%.

6.2. Metrocentro

El Metrocentro ha transportado a 4.035.359 viajeros el año 2016, cerca de 39,43 millones de viajeros en sus 9 años de vida, convirtiéndose en el medio de transporte más valorado de la red gestionada por TUSSAM, con 8,36 puntos sobre 10 obtenidos en la última encuesta realizada por TUSSAM en noviembre de 2016. Además, es la tercera línea de mayor demanda de viajeros, sólo superada por las líneas 2 y 27 de autobús.

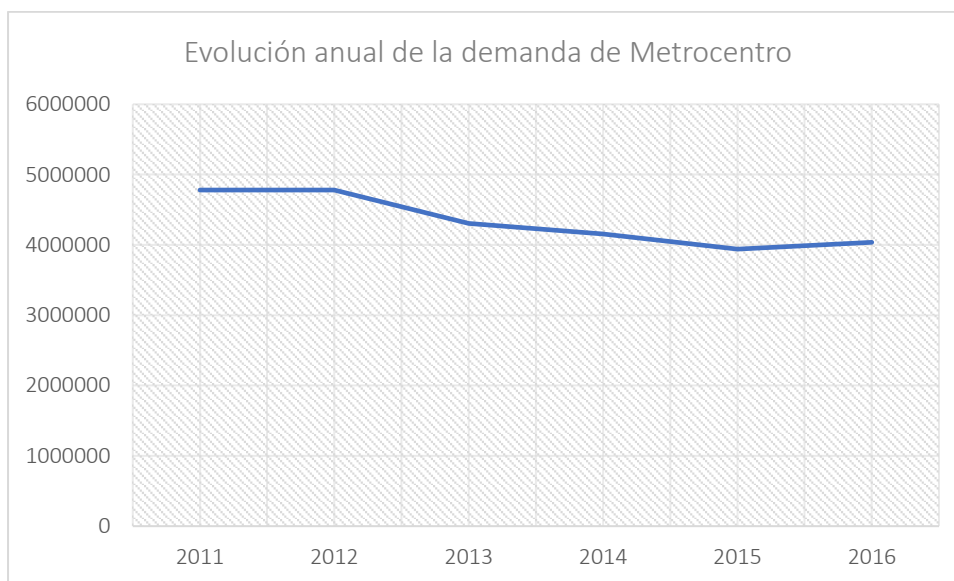


Figura 27. Evolución de viajeros de Metrocentro

Fuente: Elaboración propia

Datos: Memorias TUSSAM años 2011-2016

6.3. Red de autobuses metropolitanos

En el año 2017, el Consorcio de Transportes Metropolitano registró 10.0008.679 viajeros en los autobuses metropolitanos.

Las líneas que obtuvieron mayor demanda de viajeros en el año 2017 se presentan a continuación:

Línea		Demanda viajeros 2017
M-175	Sevilla - Albaida	716.186
M-140	Sevilla - Puebla del Rio (por Peña Betica)	684.000
M-160	Sevilla - Gines	619.123
M-170A	Sevilla - Camas - Santiponce	479.754
M-122	Sevilla - Alcalá de Guadaira	457.269
M-110	Sevilla - La Algaba	434.214
M-166	Sevilla - Sanlúcar la Mayor	430.763
M-126	Sevilla - El Viso del Alcor	374.121
Resto de líneas metropolitanas		5.813.249
TOTAL		10.008.679

Tabla 22. Líneas más demandadas en el año 2017

Fuente: Elaboración propia. Datos: Proporcionados por el Consorcio de Transporte Metropolitano

Se estudia la movilidad en autobús metropolitano registrada en el año 2017 por zonas. Los valores entre paréntesis son los porcentajes respecto a la demanda anual total.

- Aljarafe Central: Esta zona comprende el mayor número de viajes en autobús metropolitano. Destacan las líneas que discurren entre los municipios de Albaida del Aljarafe y Sanlúcar la Mayor con Sevilla, registrando una demanda de entre 400.000(4.3%) y cerca de 700.000 (7%) desplazamientos anuales.
- Aljarafe Sur: Destaca la movilidad entre los municipios de La Puebla del Río y Coria del Río con Sevilla, con 675.000 (7%) viajeros.
- Zona norte del área metropolitana: el mayor registro de viajeros se produce con las líneas de los municipios de La Algaba y Santiponce con Sevilla con más de 400.000(4%) viajeros anuales, y de Alcalá del Río (4%)y La Rinconada (3%) , en un tramo inferior, del orden de los 300.000 desplazamientos
- Eje sur del área metropolitana, debe significarse la movilidad de la línea de Los Palacios y Villafranca con Sevilla, con un volumen cercano a los 300.000 (3%) viajeros.
- Comarca de los Alcores, destaca las conexiones de las líneas entre los municipios de Alcalá de Guadaíra y Sevilla con más de 800.000 (8%) viajeros, seguida de los municipios de Carmona, Mairena del Alcor y El Viso del Alcor que presentan una movilidad con el municipio de Sevilla del orden de 350.000 (4%) viajeros.

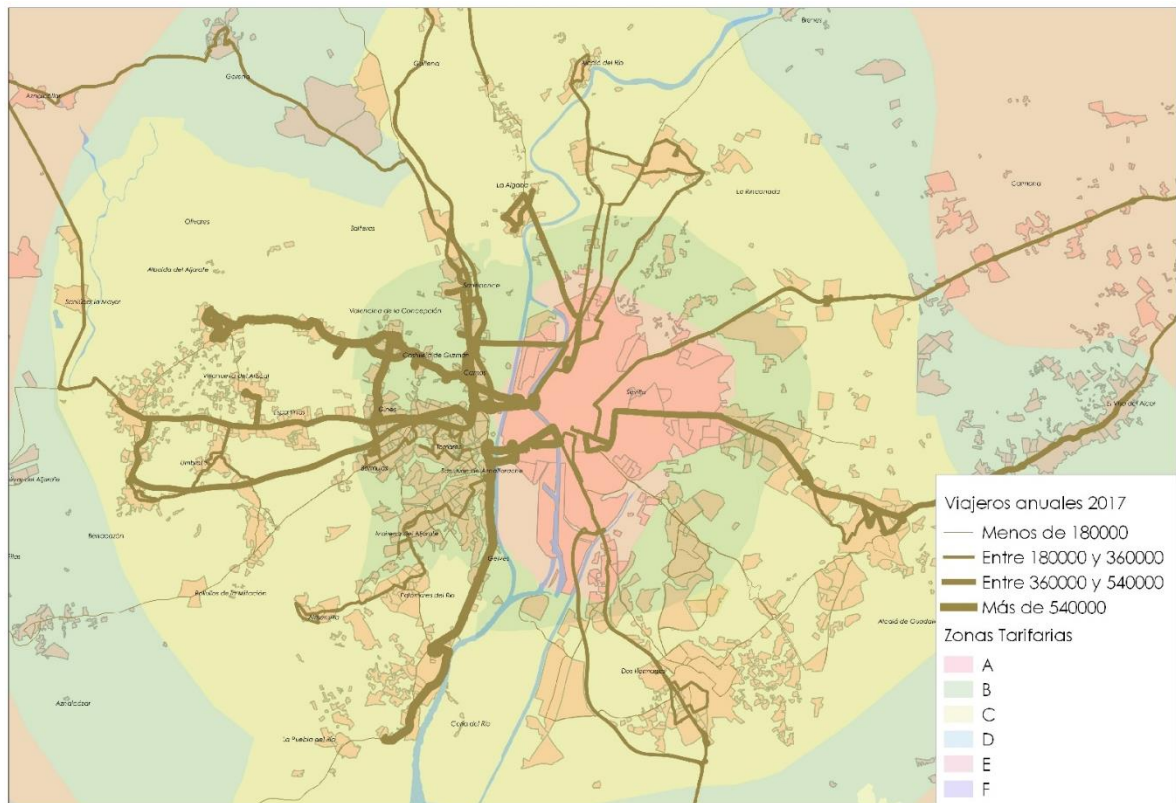


Figura 28. Demanda por líneas del Consorcio Metropolitano de Transporte
Fuente: Elaboración propia (QGIS). Datos: Proporcionados por el Consorcio de Transporte Metropolitano

La demanda se encuentra registrada en el Consorcio por líneas. Las líneas pueden ser clasificadas por corredores. La demanda se encuentra también clasificada según los saltos que realice el viajero.

Estos datos de los saltos se conocen o bien por el precio del billete sencillo o en el caso del uso de la tarjeta de transporte, por el precio correspondiente.

Los datos de demanda clasificada por corredores y saltos en el año 2017 han sido:

Corredor	0 Saltos	1 Salto	2 Saltos	3 Saltos	4 Saltos	5 Saltos	TOTAL
1	29.290	60.497	1.016.025	89.922	0	0	1.195.734
2	55.798	100.776	816.805	340.217	257.876	0	1.571.472
3	131.510	139.968	280.711	1.106	290.338	0	843.633
4	193.664	552.584	472.070	13.686	4.266	8.659	1.244.929
5	362.445	463.951	125.680	0	0	0	952.076
6	245.058	1.452.971	578.694	33.570	78.495	10.428	2.399.216
7	170.964	987.473	480.774	116.383	46.025	0	1.801.619
TOTAL	1.188.729	3.758.220	3.770.759	594.884	677.000	19.087	<u>10.008.679</u>
%	11.9 %	37.5%	37.7%	5.9%	6.8%	0.2%	

Tabla 23. Demanda por corredores y saltos.
Fuente: Elaboración propia
Datos: Proporcionados por el Consorcio de Transportes Metropolitano

Respecto a la demanda por saltos:

- Los desplazamientos de 1 y 2 saltos son los que tienen mayor demanda de usuarios, suponiendo el 75% de los viajes.
- El transporte metropolitano de 0 saltos, destaca principalmente en el corredor 5, alcanzando el 38% de su movilidad. Responde a una demanda entre núcleos de población de municipios de una misma zona tarifaria; estos municipios se caracterizan por no disponer de un sistema de transporte urbano, funcionando el transporte metropolitano como urbano, por la conurbación de sus núcleos de población.

Respecto a la demanda por corredores:

- En los corredores 1 y 2 destacan los desplazamientos de 2 saltos, que corresponden en su mayoría a la movilidad de los municipios de la zona C con Sevilla.
- En el corredor 3 se caracteriza por demandar principalmente viajes de 2 y 4 saltos, entre el municipio de Dos Hermanas y Sevilla, y entre Los Palacios y Villafranca y la capital respectivamente.
- En los corredores 4, 5, 6 y 7 destacan los desplazamientos de 1 salto. Estos corresponden a los desplazamientos entre los municipios del Aljarafe de zona B y Sevilla y entre los municipios de las zonas B y C.

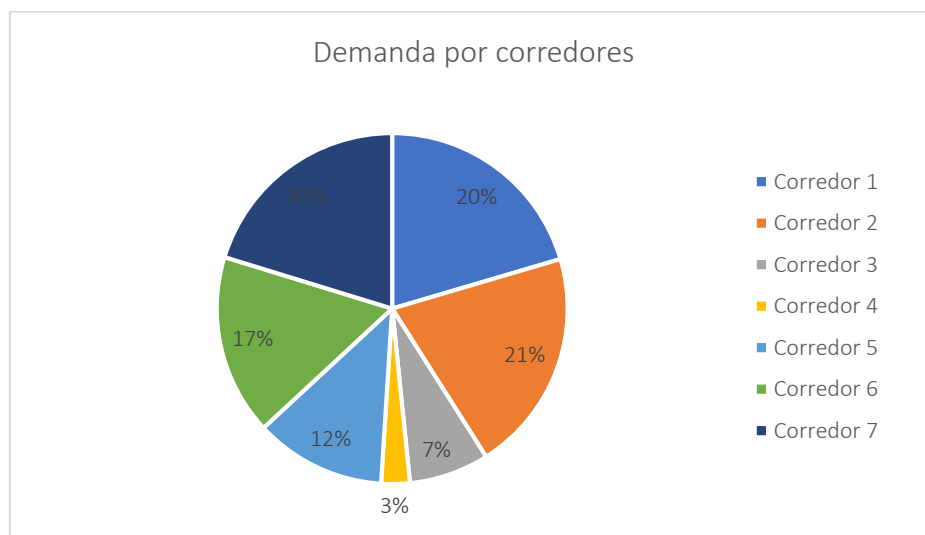


Figura 29. Demanda por corredores año 2017

Fuente: Elaboración propia

Datos: Proporcionados por el Consorcio de Transporte Metropolitano

Respecto a la evolución mensual de los viajes metropolitanos en autobús, sigue en el año 2017 la misma tendencia de años anteriores. Esta tendencia es muy parecida a la que sigue la demanda de usuarios de autobuses urbanos de TUSSAM.

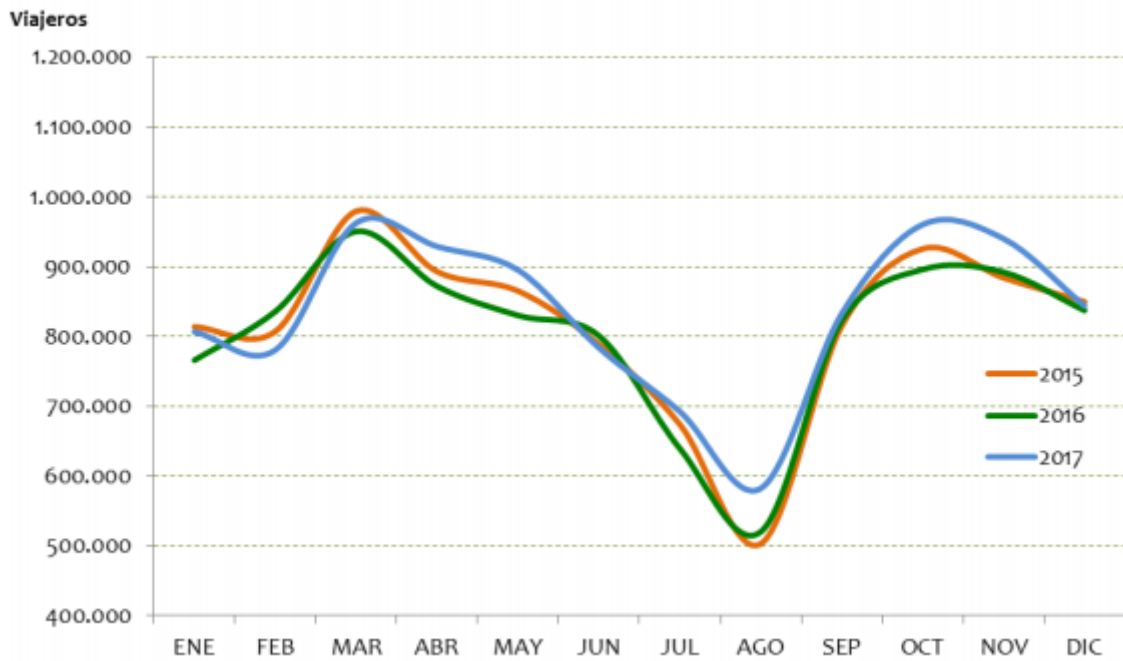


Figura 30. Evolución mensual del número de viajes en autobús metropolitano
Fuente: Memoria 2017 Consorcio del Transporte Metropolitano

Respecto a los títulos de viaje, el 74.8% de los viajeros metropolitanos en autobús ha utilizado la Tarjeta de Transporte del Consorcio de Transportes Metropolitano:

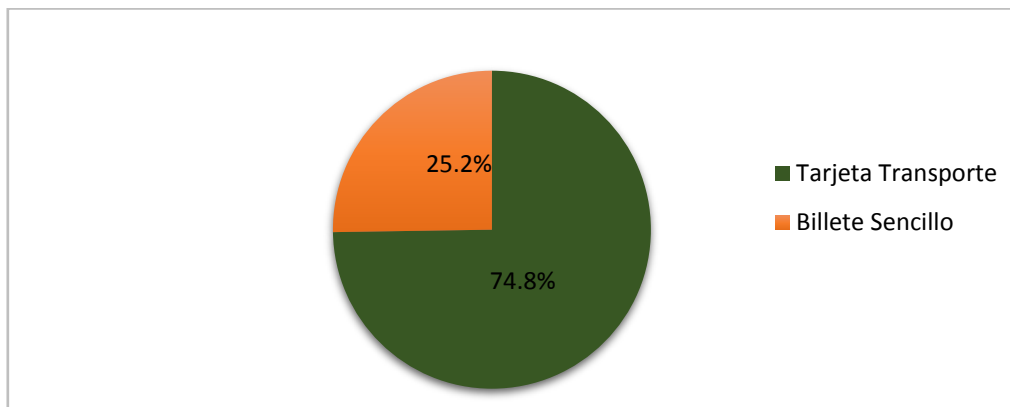


Figura 31. Distribución de la demanda en 2017 de autobús metropolitano según título de viaje
Fuente: Memoria 2017 Consorcio del Transporte Metropolitano

6.4. Metro de Sevilla

En 2017 un total de 16.353.993 usuarios utilizaron el Metro para desplazarse, un incremento de un 6.7 % sobre la demanda de 2016 (con 15.325.693 usuarios), batiéndose el récord de demanda de usuarios

Las paradas de Metro que han resultado más demandadas son: Puerta Jerez, Nervión, San Bernardo, Plaza de Cuba y Ciudad Expo, con más de 1 millón de viajeros anuales.

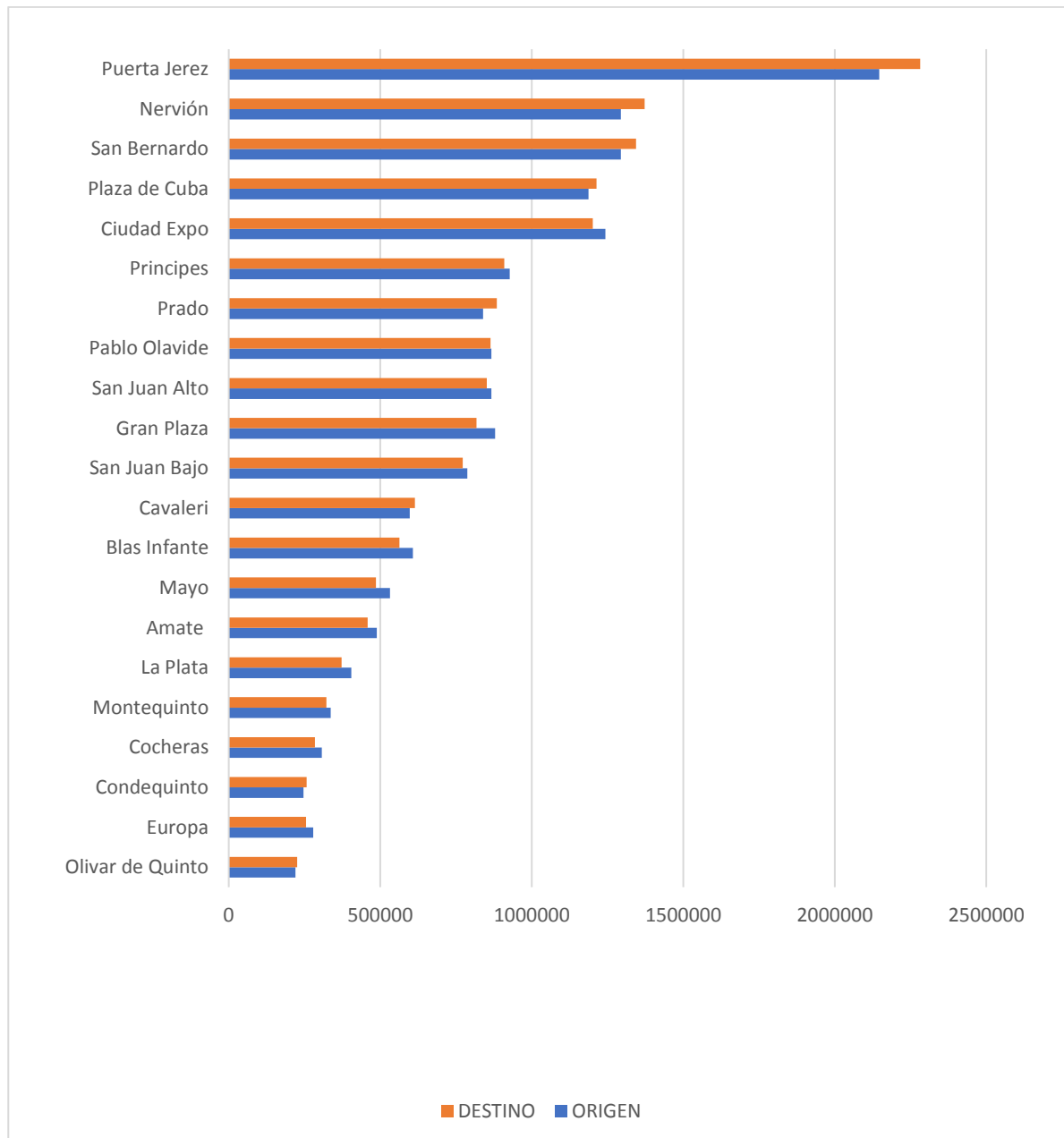


Figura 32. Viajeros en las paradas de Metro en 2017

Fuente: Elaboración propia. Datos: Matriz O/D año 2017 proporcionada por Metro de Sevilla

En el anterior gráfico se muestra que el número de usuarios que utilizan la parada como inicio o final de su viaje es muy parecido.

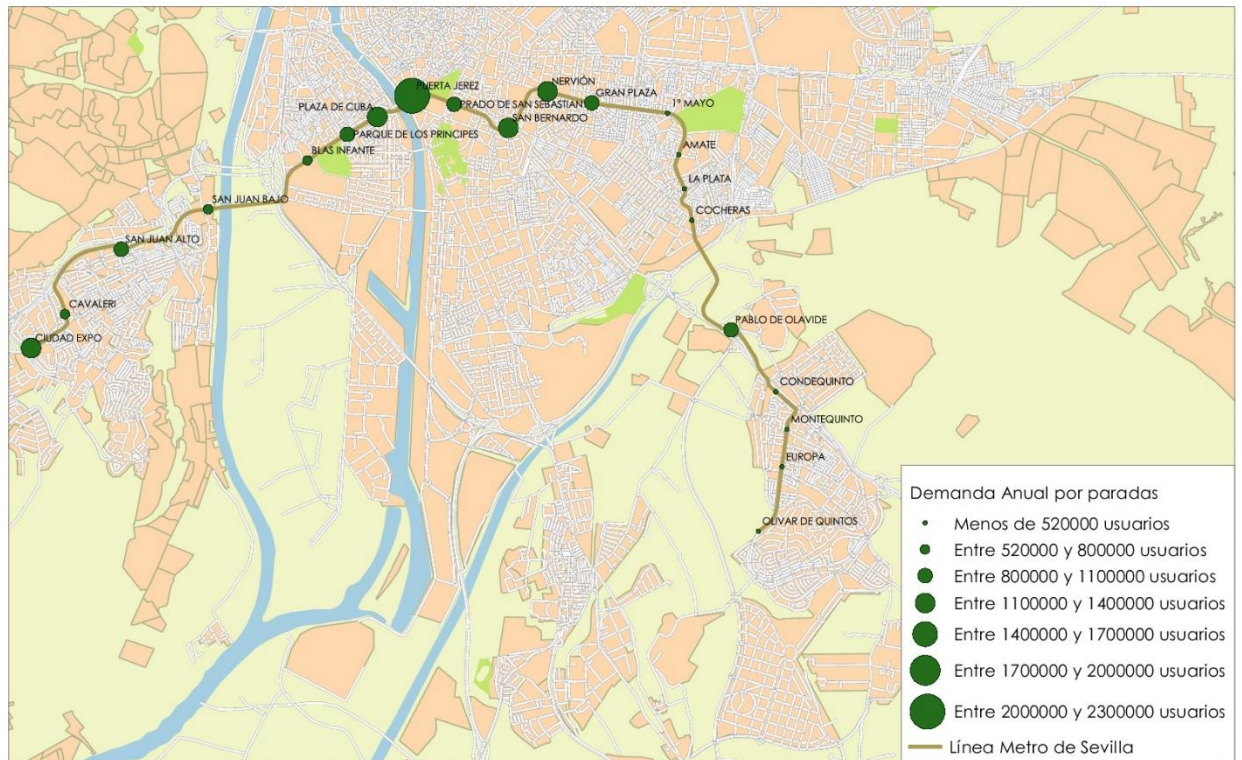


Figura 33. Demanda anual de las paradas de Metro en 2017
Fuente: Elaboración propia (QGIS). Datos: Matriz O/D 2017 Metro de Sevilla

Respecto a los trayectos, de los 21x21 pares posibles, los que han sido más habituales son:

ORIGEN	DESTINO	VIAJEROS ANUALES AÑO 2017
Ciudad Expo	Puerta Jerez	341.237
Puerta Jerez	Ciudad Expo	325.363
Plaza de Cuba	San Bernardo	213.778
San Bernardo	Plaza de Cuba	209.105

Tabla 24. Trayectos más habituales en Metro
Fuente: Elaboración propia. Datos: Matriz O/D Metro 2017

En cuanto a la distribución de los trayectos por saltos, en 2017 los usuarios realizaron fundamentalmente trayectos de 0 y 1 salto, repitiéndose la tendencia de años anteriores.

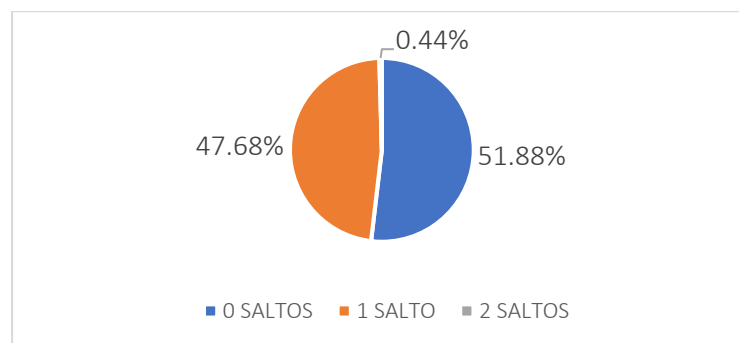


Figura 34. Distribución de la demanda por saltos
Fuente: Elaboración propia. Datos: Matriz O/D 2017 Metro de Sevilla

6. Demanda de los modos

La distribución de la demanda de 0 saltos por tramos muestra que el 89,6% de estos viajes se realizan entre paradas del tramo 2:

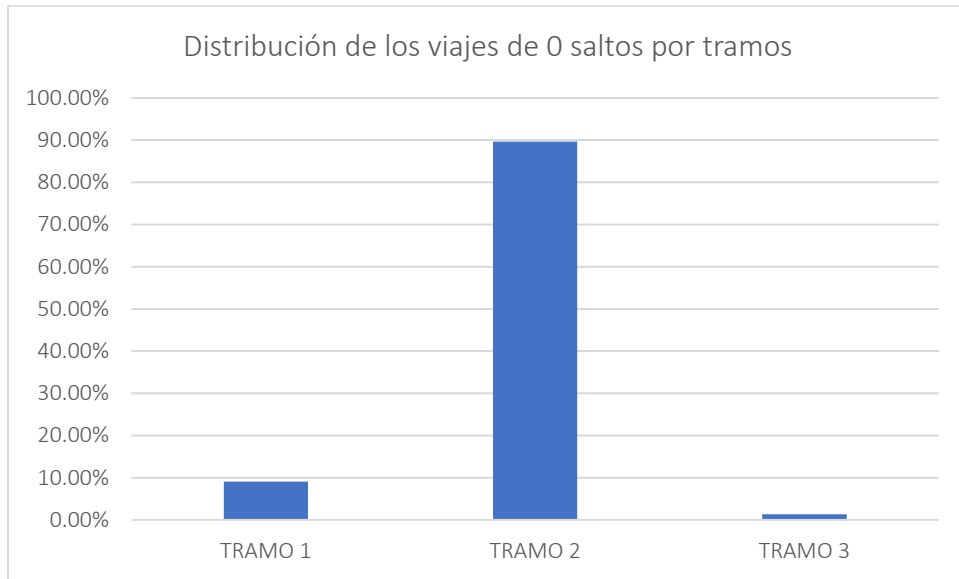


Figura 35. Distribución de los viajes de 0 saltos por tramos
Fuente: Elaboración propia. Datos: Matriz O/D 2017 Metro de Sevilla

El 75,9% de los viajes de un salto se producen entre los tramos 1 y 2 de la red:

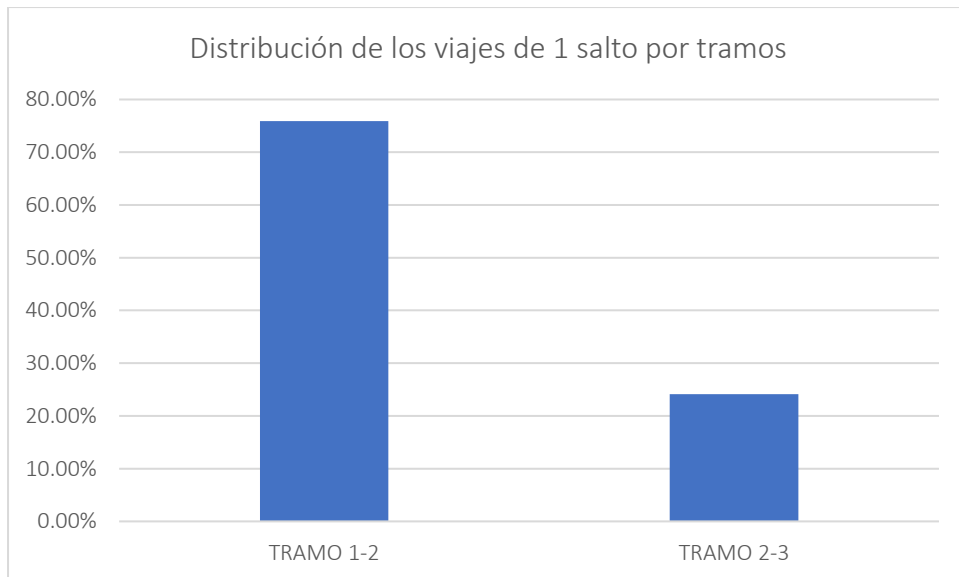


Figura 36. Distribución de los viajes de 1 salto por tramos
Fuente: Elaboración propia. Datos: Matriz O/D 2017 Metro de Sevilla

Respecto a la ocupación según el tipo de jornada y horario, los mayores índices se producen en las horas punta de los días laborales. Esta tendencia no ha variado desde el inicio de la explotación del servicio de Metro.

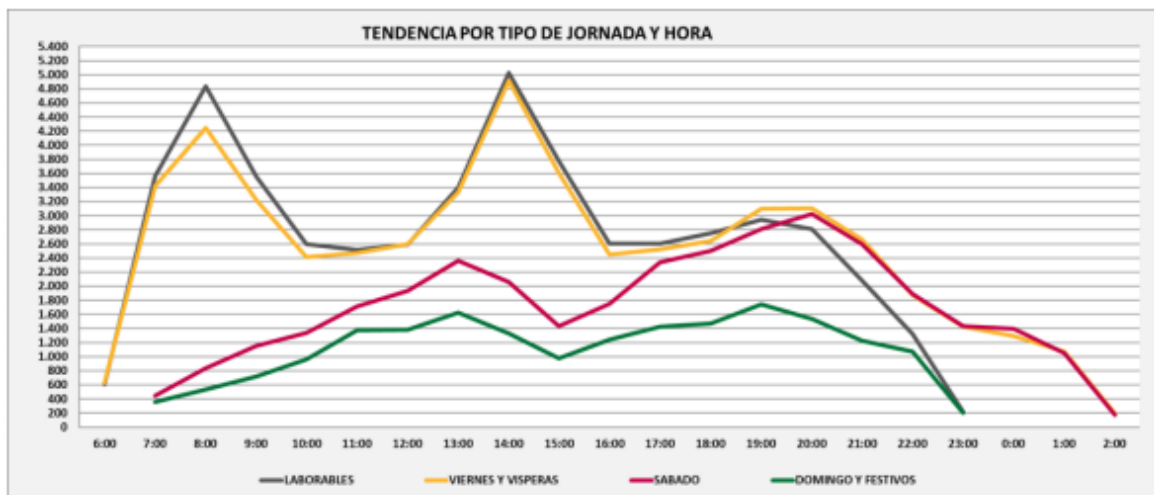


Figura 37. Distribución de la demanda diaria por tipo de jornada y hora

Fuente: Memoria Metro 2017

En el año 2017, la ocupación media estimada de los días laborables ha sido de un 76,99%, los viernes 75,05% y los sábados 58,56%. El menor valor medio es para los domingos y festivos, con un porcentaje de un 45,67%.

Respecto a los títulos de transporte más utilizados en Metro, sigue destacando el porcentaje de utilización de la tarjeta de transporte del Consorcio respecto al resto de títulos ofertados, alcanzando en el año 2017 una penetración del 59%, siguiendo la misma tendencia que en los dos años anteriores, según la Memoria de 2017 del Consorcio de Transporte.



Figura 38. Utilización de los tipos de transporte en Metro

Fuente: Memoria 2017 Consorcio del Transporte Metropolitano

Según la memoria anual de Metro del año 2017, el 52% de los usuarios son trabajadores y el 34,4% son estudiantes, variables que se relacionan estrechamente con las frecuencias y motivos del viaje. El 62,7% de los usuarios utiliza el metro casi a diario y el 32,3% menos de 5. Prevalece el uso del metro para ir a trabajar (40%) y para acudir al centro de estudios (27,5%) y el ocio (20,3%) y por ocio (21.7%).

El modo principal de acceso y dispersión al metro es a pie (61,3%) en el acceso y 84,9% en la dispersión. El coche supone el 24,4% en el acceso y el 6,5% en la dispersión. En menor medida los usuarios utilizan el autobús urbano y la bicicleta para acceder al metro, pues el primero participa tan solo un 2,2% en el acceso y el 2,1% en la dispersión y el último un 1,8% en el acceso y un 2,1% en la dispersión.

6.5. SEVICI

SEVICI cuenta con una flota de 2.600 bicicletas distribuidas en 260 estaciones. El servicio tiene inscritos 29.885 usuarios de larga duración activos y a lo largo de año 2017, contabilizó 3.405.678 alquileres.

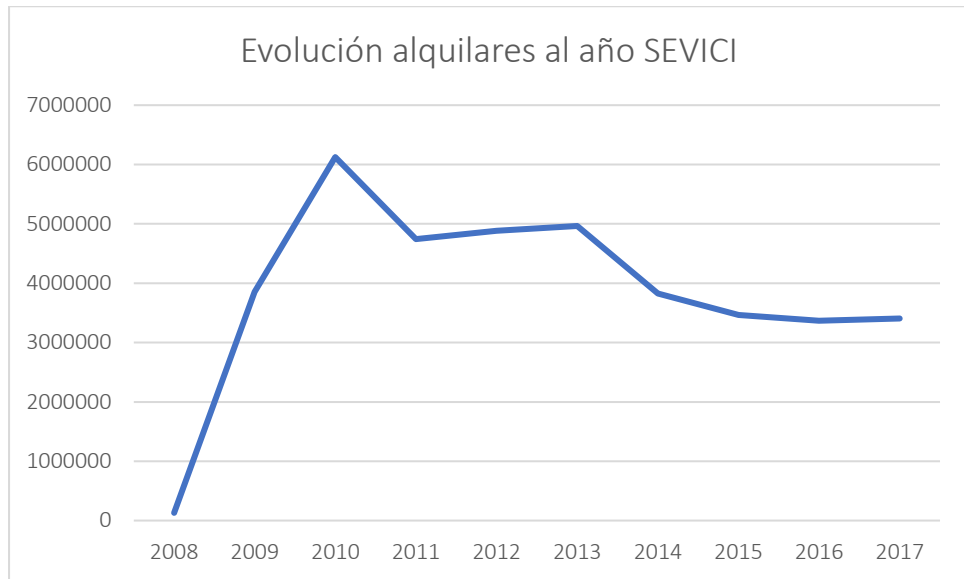


Figura 39. Evolución de alquileres SEVICI
Fuente: Elaboración propia. Datos: Informe Anual SEVICI 2017

Esta línea sigue la misma tendencia todos los años, además es muy parecida a la curva que sigue la distribución de demanda de usuarios de autobuses urbanos y metropolitanos.

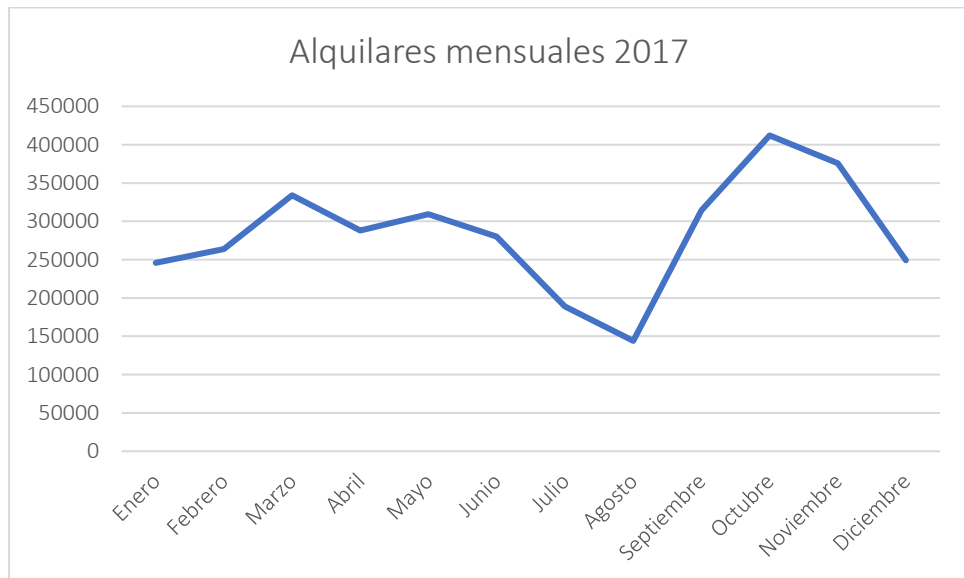


Figura 40. Alquileres mensuales SEVICI en 2017
Fuente: Elaboración propia
Datos: Informe Anual SEVICI 2017

Las temporadas en las que se registran más movimientos son otoño y primavera.

Igualmente observamos que las bicicletas se utilizan más entre semana que durante los fines de semana:

Medias diarias	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Media
general	8.349	10.125	6.665	11.982	9.280
entre semana	9.518	11.543	7.598	12.143	10.200
fines de semana	4.592	5.569	5.332	5.991	5.371
máximo registrado	15.292	Mes de octubre			

Figura 41. Medias de los alquileres según los meses del año
Fuente: Informe Anual SEVICI 2017

Por tramos horarios, la demanda tiene tres picos coincidentes con las horas punta:

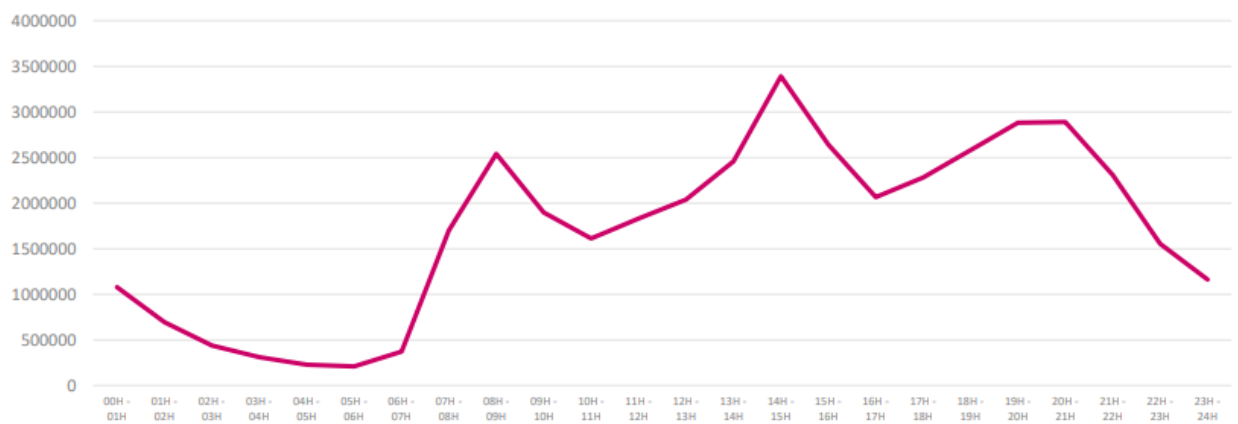


Figura 42. Alquileres por tramos horarios
Fuente: Informe Anual SEVICI 2017

6. Demanda de los modos

Respecto a las estaciones más demandadas, las situadas más cercanas a la Plaza Nueva y a las zonas universitarias:



Figura 43. Estaciones SEVICI con más movimientos
Fuente: Informe Anual SEVICI 2017

La franja de edad que más utiliza el servicio es la correspondiente a los estudiantes (de 18 a 25 años). Luego, casi en igualdad, las franjas de edad de 26 a 35 años y 36 a 45 años, que corresponden a la población activa.

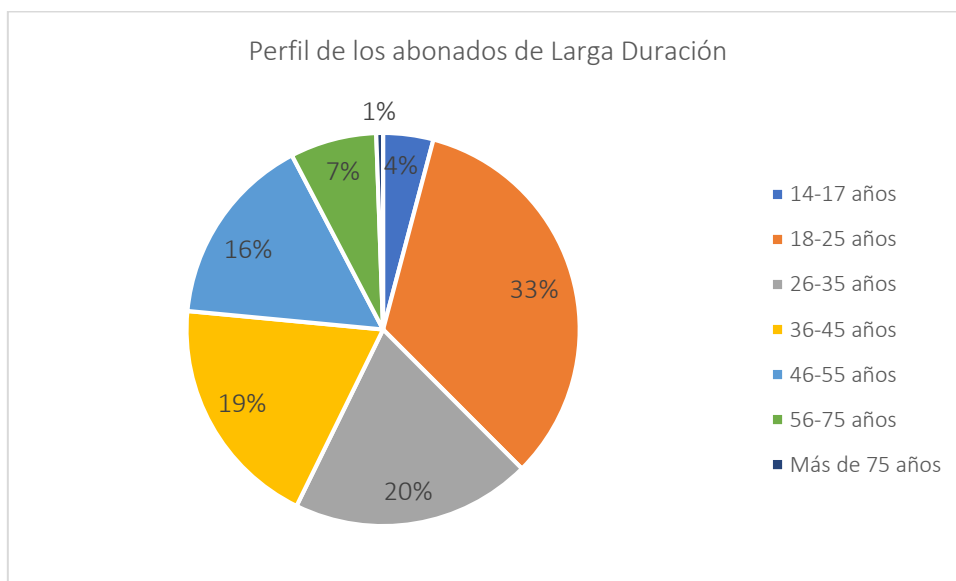


Figura 44. Perfil de los abonados de larga duración en SEVICI
Fuente: Informe Anual SEVICI 2017

6.6. Resultados de los Ecocontadores

En el Sitio Web de la Gerencia de Urbanismo se muestran los registros de 8 ecocontadores: Plaza de Cuba, Camino de los Descubrimientos, Avenida de Llanes, Prado de San Sebastián, Sevilla Este, Avenida Reina Mercedes, Calle Torneo y Jardines del Valle. En esta misma página, se encuentra la conclusión a la que se llega con estos datos:

	% Sevici	% Otras	% Hombre	% Mujer
Total	23,71%	76,29%	66,47%	33,53%

Figura 45. Análisis del tipo de bicicleta y sexo registrado por los Eco-contadores en 2017.

Fuente: Sitio Web Gerencia de Urbanismo

Para llegar a ellos, se toman los registros de cada ecocontador en cuatro horas diferentes. Se hace la media de estas cuatro medidas de cada ecocontador y posteriormente la media de estos resultados.

En este mismo sitio web, se presenta también la evolución anual de desplazamientos diarios estimados, basados en datos registrados por los Eco-contadores. También se encuentra un conteo del uso de la bicicleta y la participación en el número de desplazamientos totales.

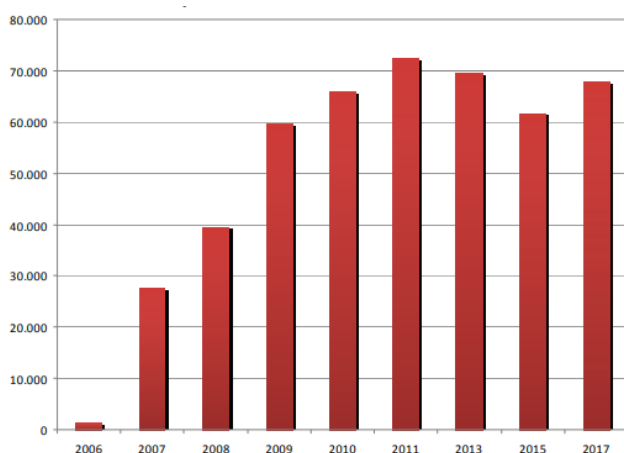


Figura 46. Desplazamientos diarios estimados

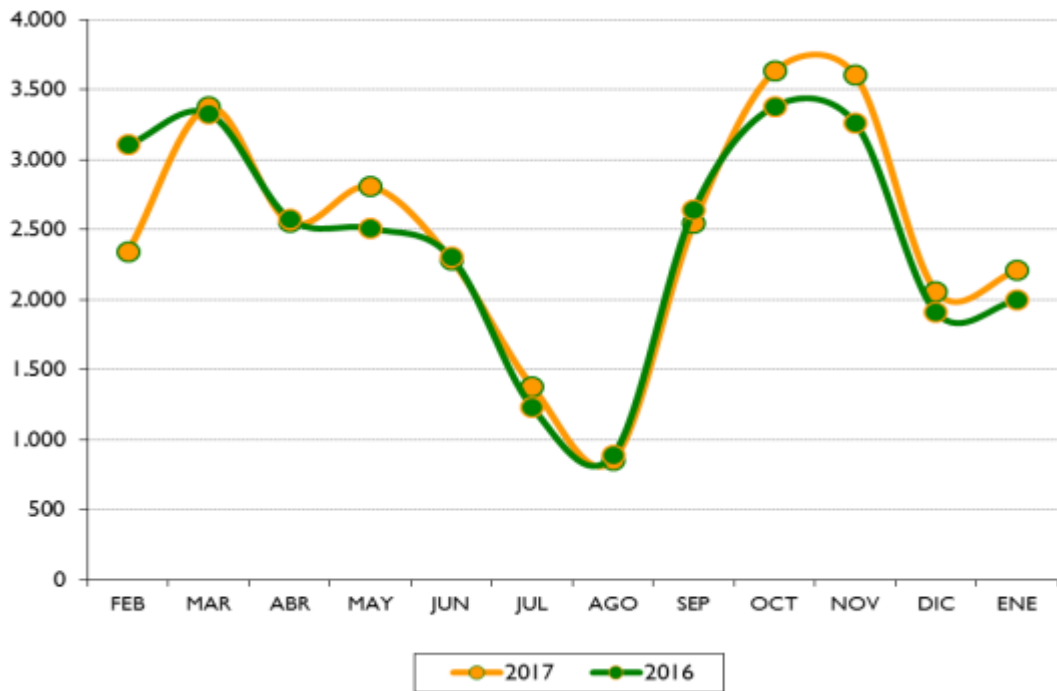
Fuente: Sitio Web Gerencia de Urbanismo

Año de conteo	Participación SEVICI (%)	Alquileres SEVICI	Desplazamientos estimados	Intervalo de confianza (95%)
2011	28,80±0,40	20.877	72.500	71.500 – 73.500
2013	27,10±1,40	18.827	69.500	66.100 – 73.300
2015	25,96±1,50	16.016	61.700	58.300 – 65.500
2017 primavera	23,71±1,44	14.026	59.200	55.800 – 63.000
2017 otoño	23,71±1,44	16.091	67.866	64.000 – 72.300

Figura 47. Conteo del uso de la bicicleta y participación en los desplazamientos totales.

Fuente: Sitio Web Gerencia de Urbanismo

6.7. BUS + BICI



*Figura 48. Evolución del uso del Bus+Bici en 2017
Fuente: Memoria Consorcio de Transportes 2017*

Según la Memoria de 2017 del Consorcio de Transportes Metropolitano, el perfil de usuario del año 2017 ha sido el de un hombre (60% de los usuarios) o mujer (40%), entre los 18 y 25 años (66%), con estudios universitarios (69%), que utiliza el servicio más de 3 veces por semana (77%) con motivo de estudios (68%), que recorre hasta 8 kilómetros en sus desplazamientos (90%).

En cuanto al modo de transporte que utilizaban antes de hacer uso del servicio Bus+Bici, el 56% lo hacía en la Red de Transporte Urbano de Sevilla (TUSSAM).

Por lo que respecta a la procedencia de estos usuarios, los vecinos de los municipios que más accedieron al servicio en 2017 fueron por este orden los de Gines (10'61% del total), Castilleja de la Cuesta (9'96%), Bormujos (7'68%), Tomares (7'36%) y Camas (7'03%).

7.EVOLUCIÓN HISTÓRICA GENERAL DE LA DEMANDA

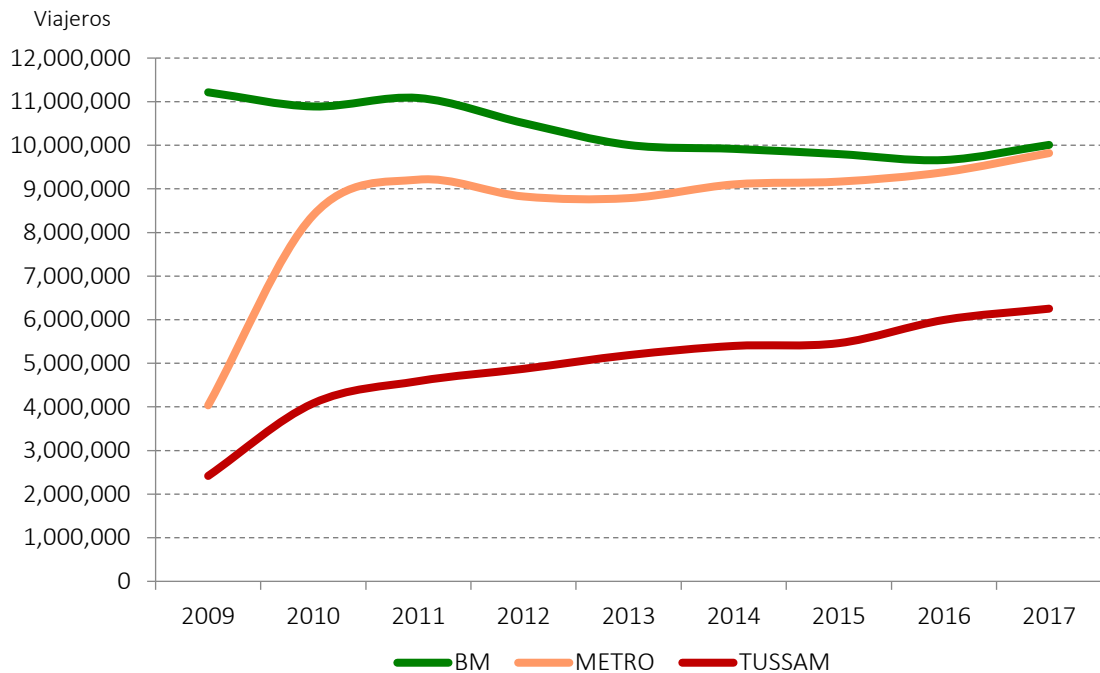


Figura 49. Evolución de Bus Metropolitano, Metro y TUSAM.
Fuente: Consorcio de Transportes Metropolitano Área de Sevilla

Respecto al año 2016 se ha producido un aumento de demanda en todos los modos integrados, el mayor incremento de viajeros se ha producido en el número de usuarios de Metro con un 6.71% más de viajeros. En autobús metropolitano también se ha incrementado un gran número de viajeros, un 4.25% más. En TUSAM, el incremento es menor que en el resto de modos mencionados, un 0.36%.

Analizado la gráfica puede considerarse que la tendencia de pérdida de viajeros del autobús metropolitano cesa en el año 2017. Esta tendencia se inició en el año 2009, año de inicio de servicio de Metro de Sevilla.

8. MODELO DE DISTRIBUCIÓN - MATRIZ O/D METRO 2017

Se ha obtenido por parte de Metro de Sevilla una matriz O/D de demanda de viajeros del año 2017. A partir de esta matriz, se realiza un modelo de distribución para obtener una matriz de demanda de viajeros de metro por zonas de transporte de la EDM 2007 por un método gravitacional.

La metodología de los estudios de las demandas de movilidad consiste, inicialmente, en construir la zonificación de áreas relativamente homogéneas llamadas, Zonas de Análisis de Transporte (ZATs).

Esta unidad geográfica usada en los modelos de transporte, constituyen los orígenes/destinos de los viajes. Según el tipo de análisis que se está llevando a cabo, su tamaño puede variar desde una sección censal o distrito postal (análisis del ámbito urbano) hasta una provincia o comunidad autónoma (análisis de ámbito nacional). La complejidad de la mayoría de los modelos de demanda se incrementa conforme sube el número N de zonas, siendo esto especialmente importante en los modelos de distribución, que tienen que predecir el flujo de viajes entre los N pares Origen/destino de viajes.

Las condiciones fundamentales para la creación de las ZATs son:

- Compatibilidad de los distritos censales: Todo ZAT corresponde a una agregación de distritos censales, sin que ninguno de estos se encuentre asociado a más de una zonificación.
- Compatibilidad del parcelario urbanístico del municipio.
- Compatibilidad con el viario urbano del modelo.

Las zonas de transporte tienen que definirse de forma que sean relativamente homogéneas en cuanto a los usos de suelo, densidad de población y actividades que se llevan a cabo. Las variables socioeconómicas de los modelos estarán referidas a las zonas de transporte, por lo que deberán definirse teniendo en cuenta la disponibilidad o no de valores actuales y de predicciones al horizonte de estudio para las variables a un nivel de desagregación zonal.

La ciudad de Sevilla y su área metropolitana se dividieron en 271 ZATs para la Encuesta de Movilidad realizada en 2007. Este estudio se basará en dicha zonificación.

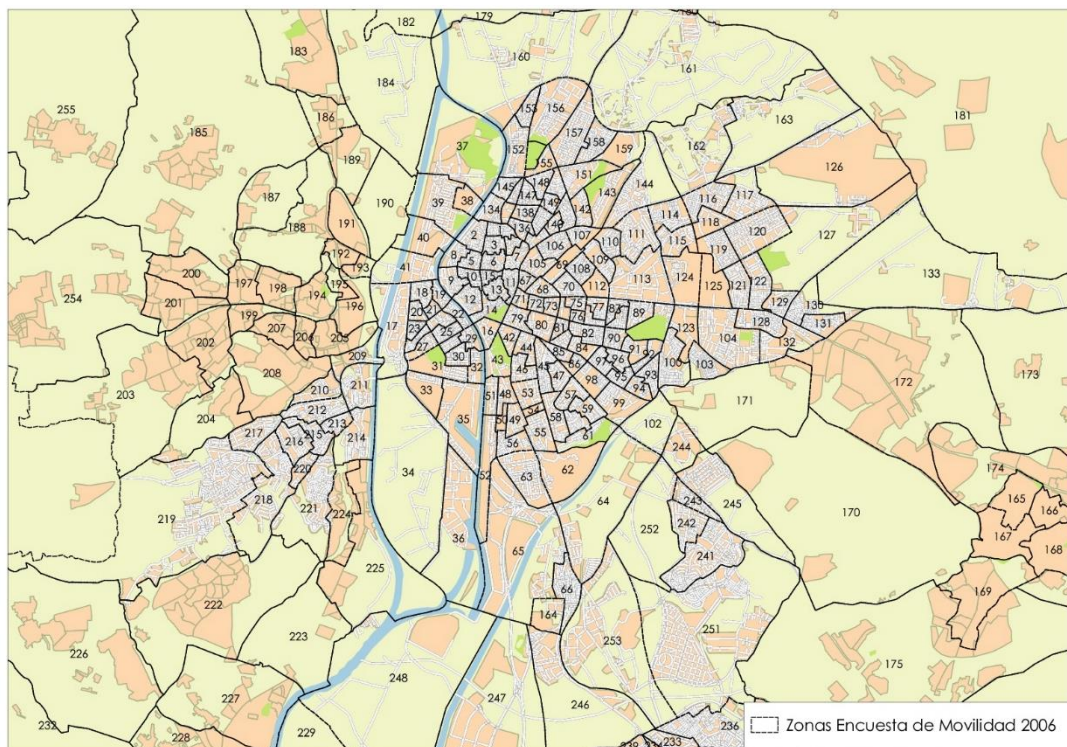


Figura 50. ZATS del área metropolitana de Sevilla para la EDM 2007
Fuente: Elaboración propia (QGIS)

Al municipio de Sevilla le corresponden 182 zonas y al resto de municipios de la corona metropolitana 89 zonas.

Cada viaje registrado en la EDM 2007 se clasifica atendiendo al modo de Transporte, la hora del viaje, y las zonas Origen - Destino. El número total de viajes observados entre cada pareja Orígenes-Destino se recopila en formato matricial.

Cada origen y destino está asociado a una Zona de Análisis del Transporte. El número estas divisiones o ZATS del área de estudio es 271, esto implica que la matriz general de viajes será de dimensiones $N \times N$.

Cada zona tendrá un centroide, es decir un punto en el centro de donde partirán todos los viajes generados de esa zona y el cual será destino de todos los viajes atraídos por la zona.

Por tanto, cuanto más detallada sea la subdivisión del territorio en zonas de Transporte más exacta será luego la macro simulación del tráfico y más realistas los tiempos de viajes resultantes de ella.

Este hecho se debe a que el viaje puede haberse iniciado en cualquier parte de la zona a la que corresponda, no necesariamente coincidiendo con el centroide, de donde salen o llegan todos los viajes del modelo.

Como los viajes se realizan con origen y destino en los centroides, estos deben estar necesariamente conectados con la red de nuestro modelo. Esta función se realiza mediante la generación de unos arcos llamados conectores. Estos arcos no representan una determinada carretera, si no la agrupación de todas aquellas que llegan a salen del centroide del ZAT.

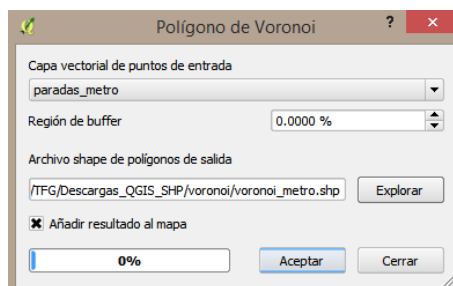
La necesidad de crear estos conectores se debe a la hipótesis de los modelos de macro simulación de concentración de todos los Orígenes-Destinos de viajes reales de cada ZAT (los hogares, trabajos, etc. de cada

viajero) en un único punto ficticio llamado centroide. El nivel de detalle de la red macroscópica no llega a discretizar los viarios más urbanos de conexión de los Orígenes-Destinos individuales.

Para conocer la influencia de cada parada de metro, se utilizan los polígonos de Voronoi. Este es uno de los métodos de interpolación más simples, basados en la distancia euclidiana. Estos polígonos se crean al unir los puntos entre sí, trazando las mediatrices de los segmentos de unión. Las intersecciones de estas mediatrices determinan esta serie de polígonos en un espacio bidimensional alrededor de los puntos de control (en este caso, las paradas de metro), de manera que el perímetro de los polígonos generados es equidistante a los puntos vecinos y designan su área de influencia.

La herramienta de QGIS *Polígonos de Voronoi*, simplifica el proceso de saber qué zonas de transporte corresponden a cada parada de metro, salvando el tiempo de tener que hacerlo manualmente.

Vectorial >> Herramientas de geometría >> Polígonos de Voronoi:



Se pide una región de buffer, con la que se ha ido probando con valores desde 0 a 100. Si se elige una distancia 0, dibuja un cuadrado "límite" de todas las paradas, como se ve en la imagen siguiente. Al ampliar esta cifra hasta llegar al valor 100, se va aumentando el área de dicho cuadrado, pero da lugar a errores ya que asigna de manera errónea las paradas a las ZATS.

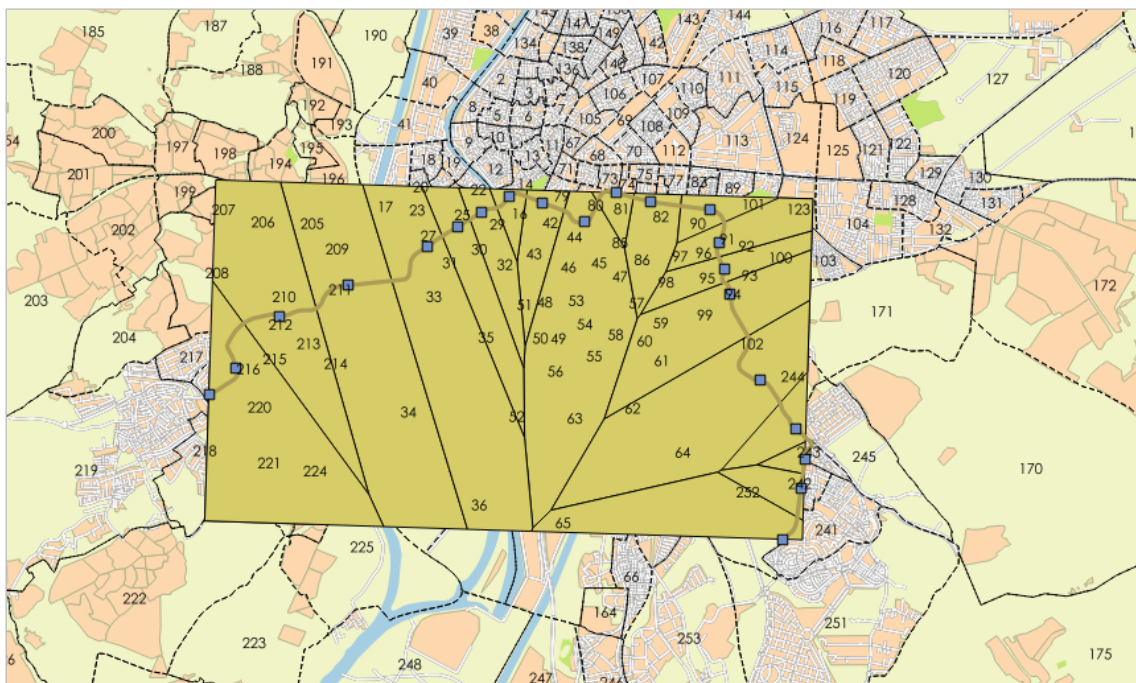


Figura 51. Polígonos de Voronoi de la herramienta QGIS
Fuente: Elaboración propia (QGIS)

Por tanto, se busca un método alternativo con la herramienta *Áreas de Influencia* de Transcad.

El archivo resultante de usar la herramienta *Área de influencia* de Transcad se ha convertido a formato .shp para poder representarlo en el entorno de QGIS, con el objeto de obtener una presentación única en este formato.

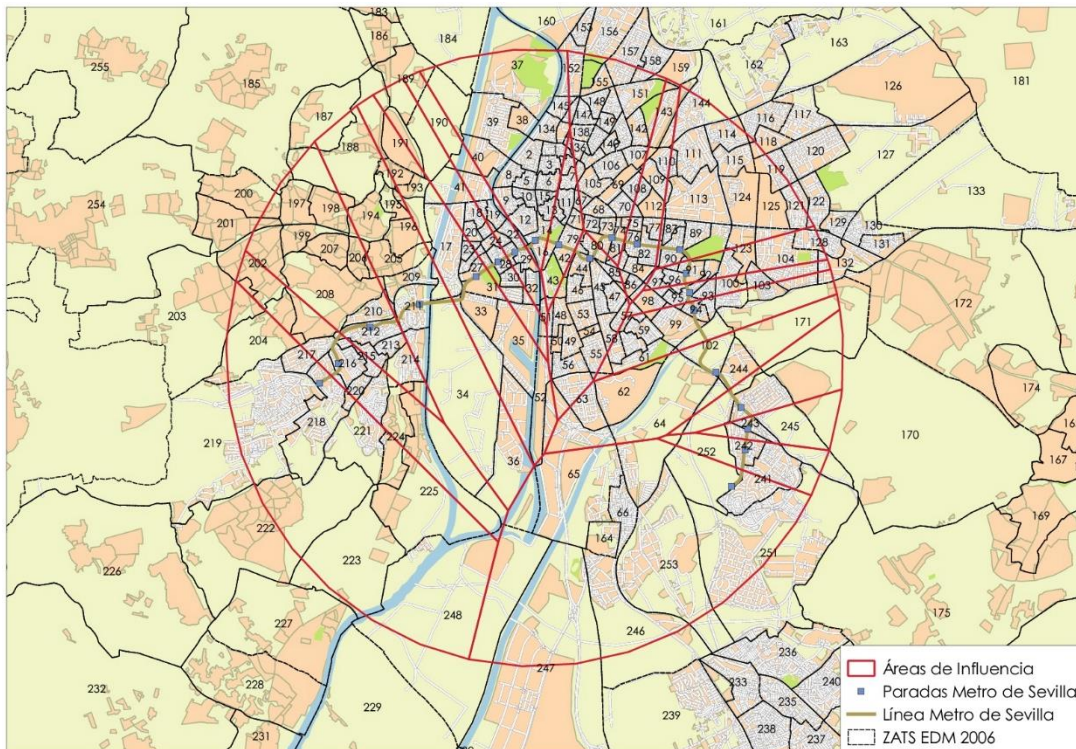


Figura 52. Áreas de influencia de las paradas de Metro
Fuente: Elaboración propia (QGIS)

Con la ayuda de las áreas de influencia, se van asignando las ZATs a cada parada de metro. Esta herramienta ha sido útil sobretodo para asignar las paradas que se encuentran muy próximas unas de las otras.

Otras zonas han sido asignadas sin tener en cuenta las áreas de influencia. Estas son las zonas más alejadas de las paradas de metro. La asignación se ha realizado teniendo en cuenta la información y las opiniones de las personas que habitan en ciertos municipios.

La existencia de aparcamientos disuasorios en varias paradas de metro, sobretodo en las paradas extremas de la línea, ha sido clave para la asignación de las ZATs a cada parada. Así, se han tenido en cuenta no solo los usuarios que acceden a cada parada andando, sino que utilizan el coche para acceder a la misma, dejando estacionado el coche en estos aparcamientos.

Para las paradas cuya asignación se ha realizado sin tener en cuenta las áreas de influencia, el destino al que se dirigen los usuarios de las ZATs y el motivo del viaje también deben tenerse en cuenta. Por ejemplo, si se dirigen a una ZAT donde no abunda el aparcamiento, estos usuarios preferirán dejar el coche en la parada de metro más cercana y continuar su viaje en metro.

Algunas de las claves que se han seguido para la asignación de estas ZATs, se exponen a continuación según diversas zonas. Estos criterios han sido recopilados según las opiniones de algunos habitantes de estos municipios, que han sido preguntados por diversas cuestiones.

- Zonas del Aljarafe (excepto Camas)

Al tener la parada de Ciudad Expo más aparcamientos que la parada de San Juan Bajo, se ha ido suponiendo para cada ZAT a la que ya no se podría acceder andando, a cuál de las dos paradas iría por proximidad y posibilidad de encontrar aparcamiento más fácilmente, además también se ha valorado el acceso por carretera a esas dos paradas.

- Camas

Los residentes en Camas que se dirigen a zonas de Sevilla con dificultad para aparcar, como por ejemplo Nervión, deciden acceder a una parada de metro en coche y dejarlo estacionado. Para ello, deben escoger entre hacerlo entre las estaciones de San Juan Bajo y Blas Infante.

Las ventajas de aparcar en Blas Infante es que, estando más o menos a la misma distancia, no tendrían que pagar el salto, es decir, el billete es más barato en Blas Infante. Sin embargo, hay personas que prefieren dejar el coche en San Juan Bajo ante el miedo por vandalismo en los aparcamientos de Blas Infante.

- Montequinto

En las paradas del tramo 2 de Metro de Sevilla ocurre una situación parecida a la de Camas, los usuarios deben elegir entre varias paradas teniendo en cuenta diversos motivos.

Los usuarios que cogen el coche para acceder al metro de estas zonas, prefieren trasladarse a la estación de Pablo de Olavide, tanto el ahorro en el precio del billete como la comodidad de acceso y aparcamiento.

Por tanto, en estas paradas del tramo 2 de Metro, no se cumplen las áreas de influencia calculadas con Transcad, ya que al existir un gran aparcamiento en Pablo de Olavide, la conexión directa por carretera y el hecho de ser un billete más barato hace que esta parada tenga más área influencia.

Finalmente, 134 ZATs tienen influencia de alguna parada de Metro. A continuación, se diferencian estas ZATs diferenciadas según la parada de Metro que les corresponda.

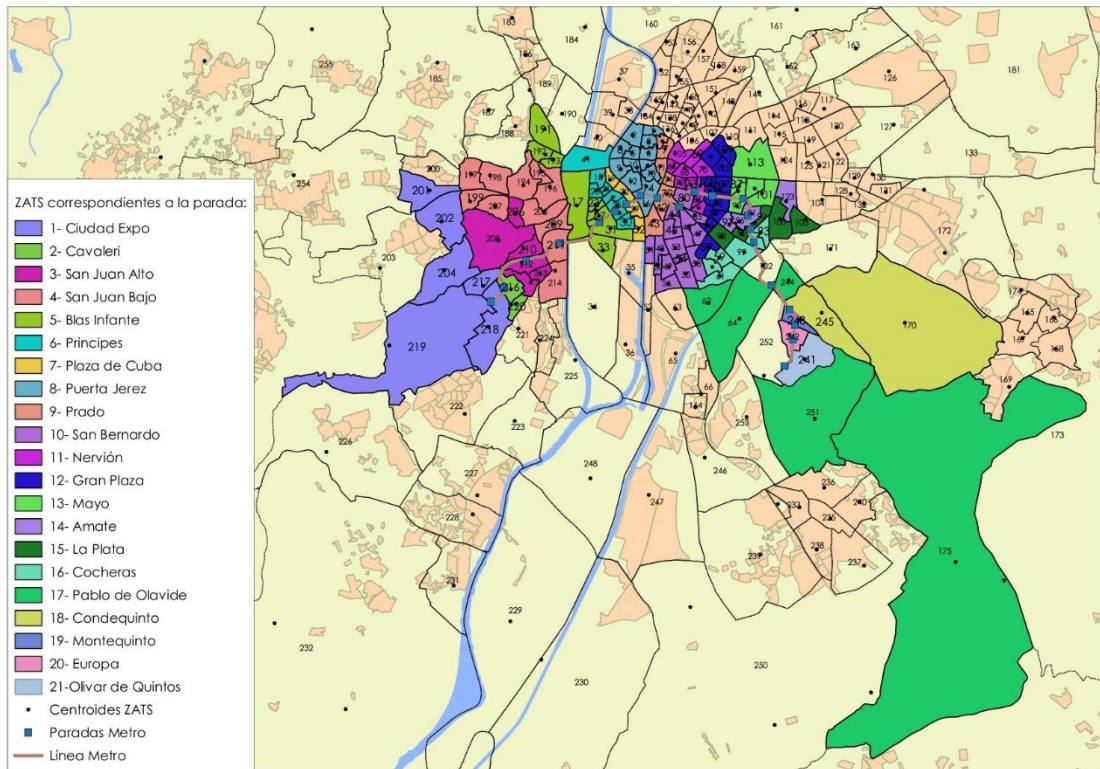


Figura 53. ZATS correspondientes a cada parada
 Fuente: Elaboración propia (QGIS)

Se aumenta dicho plano según los tramos en los que está dividida la línea de Metro:

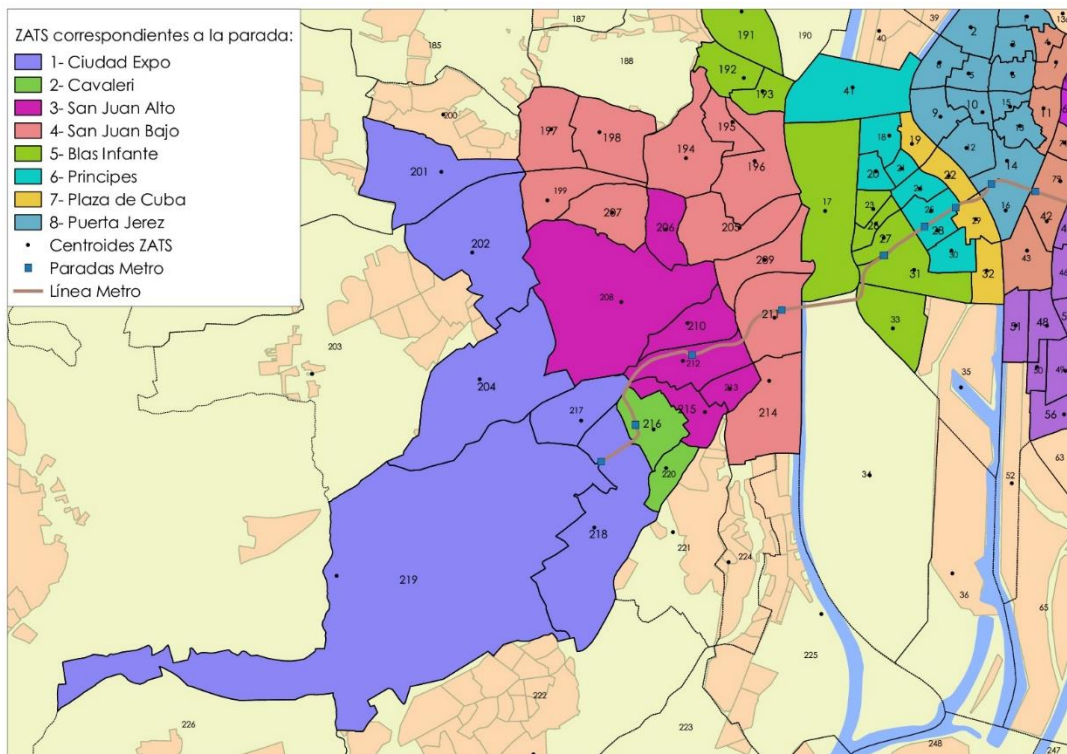


Figura 54. ZATs correspondientes a paradas del Tramo 1
 Fuente: Elaboración propia

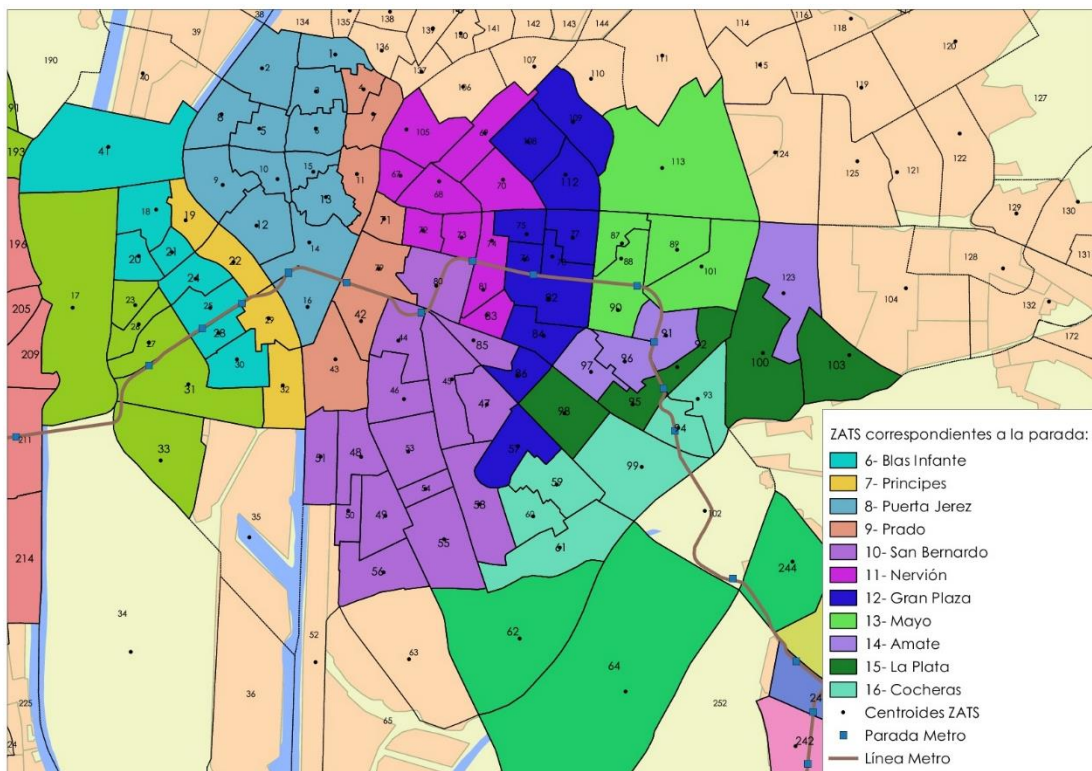


Figura 55. ZATs correspondientes a paradas del Tramo 2
Fuente: Elaboración propia (QGIS)

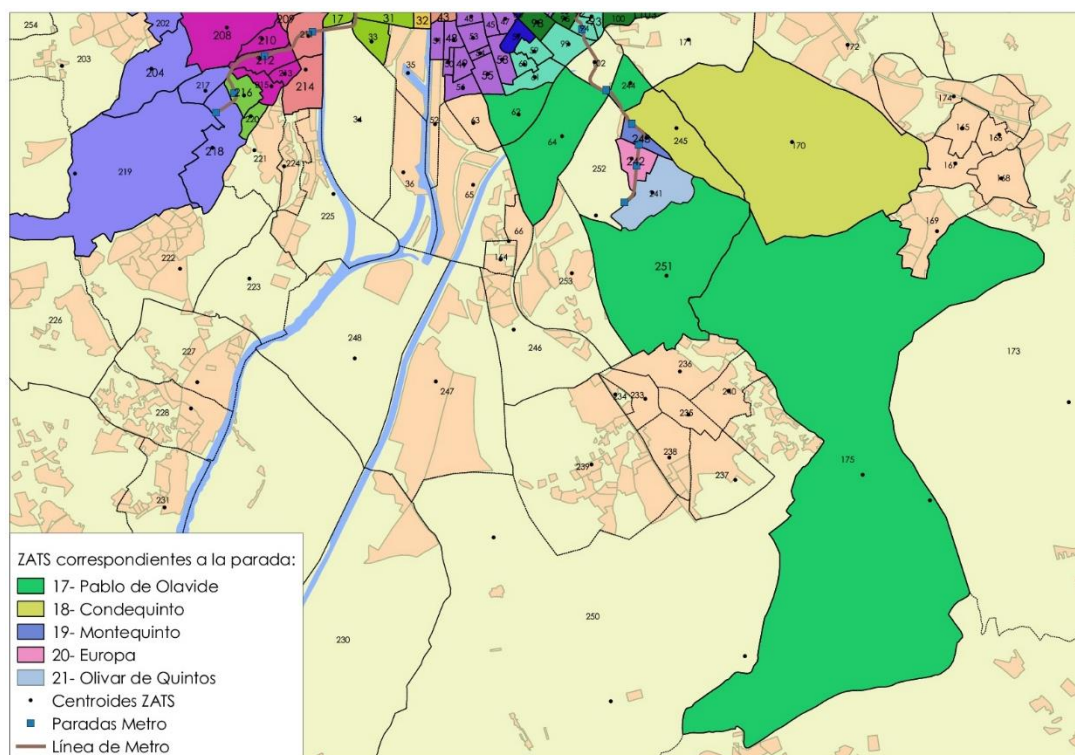
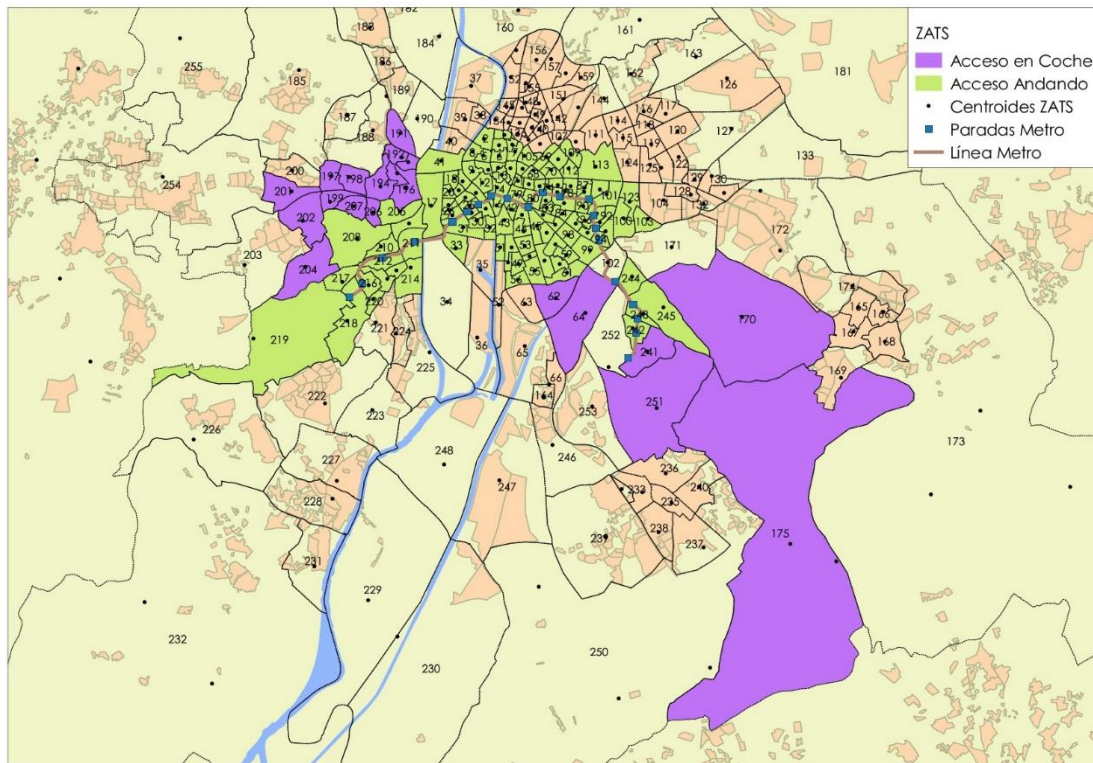


Figura 56. ZATs correspondientes a paradas del Tramo 3
Fuente: Elaboración propia (QGIS)

La distribución de las ZATs según se acceda en coche o a pie, queda reflejada en la siguiente imagen:



*Figura 57. Acceso a las ZATS peatonal/en coche
Fuente: Elaboración propia (QGIS)*

Una vez definidas qué ZATS son de cada parada, se pasa a calcular la distancia y tiempo que existe entre cada centroide de cada ZAT a la parada de metro correspondiente según la clasificación anterior.

La ubicación de algunos centroides fue modificada ya que no era representativo como punto de partida de los viajes de los usuarios de esa ZAT ya que la población se encontraba concentrada únicamente en una parte de esa ZAT, relativamente distante del lugar asignado al centroide.

Para este cálculo de la distancia y el tiempo, se ha utilizado la aplicación Google Maps. Se ha calculado la ruta a pie o en coche según las ZATs que se haya considerado este acceso.

Para los casos en los que se accede a la parada en coche, se ha sumado a este tiempo de acceso un tiempo estándar de 4 minutos, que es lo que se toma como tiempo para encontrar el aparcamiento y acceder al metro.

Finalmente, se han sumado estos tiempos y se ha conseguido el tiempo de cada centroide de cada ZAT a su parada de metro.

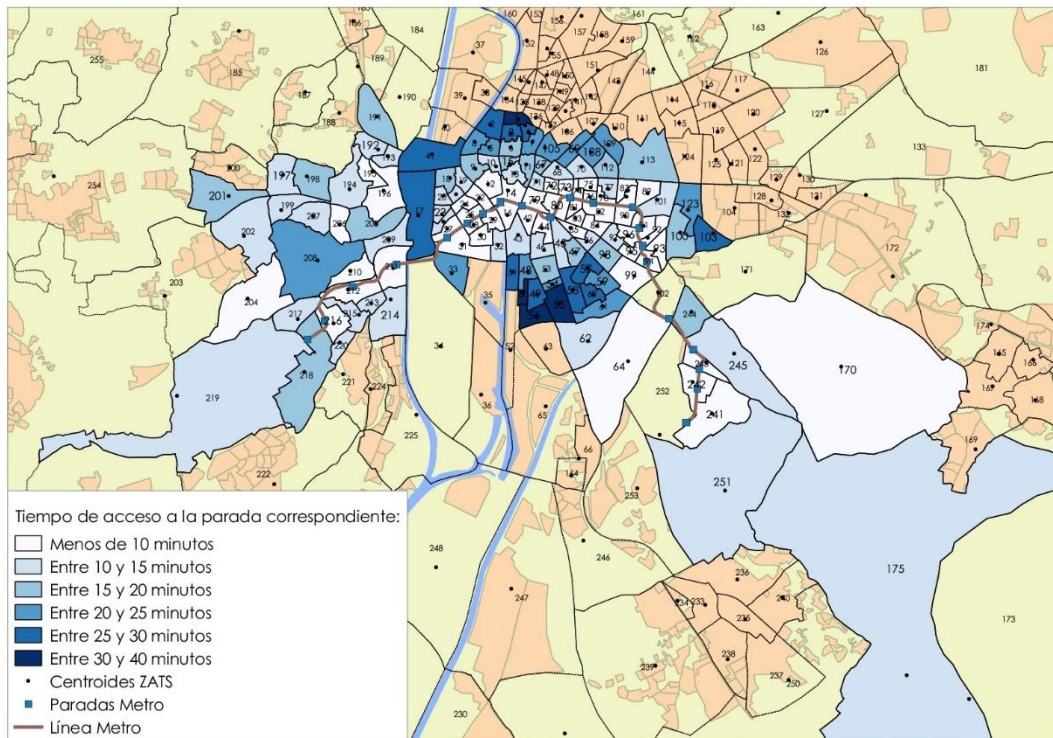


Figura 58. Distribución de las ZATS según el tiempo de acceso a la parada
 Fuente: Elaboración propia (QGIS)

Una vez que se tiene el tiempo y la distancia de cada ZAT a su parada de metro, pasamos a obtener el tiempo entre las paradas de metro.

Para ello, se ha utilizado el Sitio Web de Metro de Sevilla, que proporciona los tiempos de viaje entre estaciones de origen y destino seleccionadas. Se ha creado una matriz de tiempos.

Teniendo los tiempos de los centroides de las ZATS a las paradas y el tiempo entre paradas, podemos obtener el tiempo de viaje desde una ZAT a otra.

Este tiempo será la suma del tiempo de acceso desde el centroide de la zona de origen a la parada de metro que le corresponda, más el tiempo de viaje en metro desde la parada de metro de origen a la de destino, más el tiempo de dispersión desde la parada de metro de destino al centroide de la ZAT de destino.

$$t_{ij} = t_1 + t_2 + t_3$$

t_{ij} : Tiempo de llegada entre la ZAT de origen i a la ZAT de destino j

t_1 : Tiempo de llegada desde el centroide de la ZAT a la parada correspondiente

t_2 : Tiempo de llegada desde las dos paradas de metro

t_3 : Tiempo de llegada desde la parada de metro de destino al centroide de la ZAT

Las hojas de Excel que se importaron en la herramienta Access contenían la matriz O/D de Metro y la matriz de tiempo entre paradas dispuestas por columnas.

Se tomaron las diagonales de estas matrices como cero, a pesar de que las cifras de la diagonal de la matriz O/D de Metro no eran nulas.

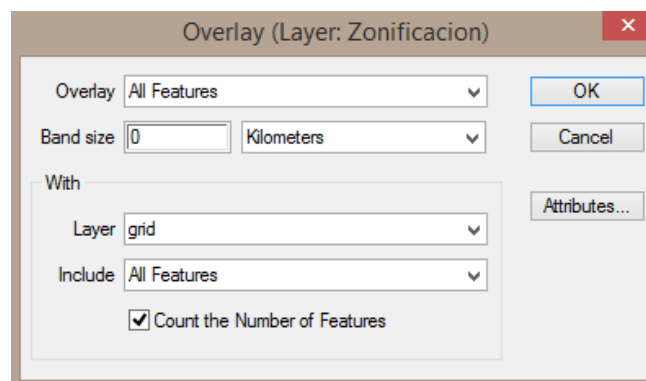
Análisis del Sistema de Transporte Público de la ciudad de Sevilla mediante simulaciones macroscópicas. Modelo de distribución de viajes de Metro de Sevilla.

Con esta herramienta, realizando dos consultas, se obtienen las 17.689 combinaciones.

La primera consulta consiste en unir las ZATs de origen con la de destino para conseguir los pares origen/destino, así como los tiempos de acceso a sus correspondientes paradas de metro. La segunda consiste en añadirle la parada de metro correspondiente.

Ya tenemos los tres tiempos agrupados para cada par de ZATs Origen/Destino para poder sumarlos y así obtener finalmente, el tiempo de acceso de una ZAT a otra.

Para el modelo de distribución, debe tenerse en cuenta la población de cada ZAT. Este dato se calculó usando la herramienta *Overlay* de TransCAD y el grid 250x250 descargado del sitio Web del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía.



El resultado de su uso es una tabla con la población de cada ZAT. Se preparó una nueva hoja de Excel para su uso en Access para continuar con el método. El resultado de este fichero se representa en un SIG, mostrando de forma categorizada la población de cada zona. Al no ser tan representativo por tratarse de zonas de muy distinto tamaño, se ha representado también por su densidad:

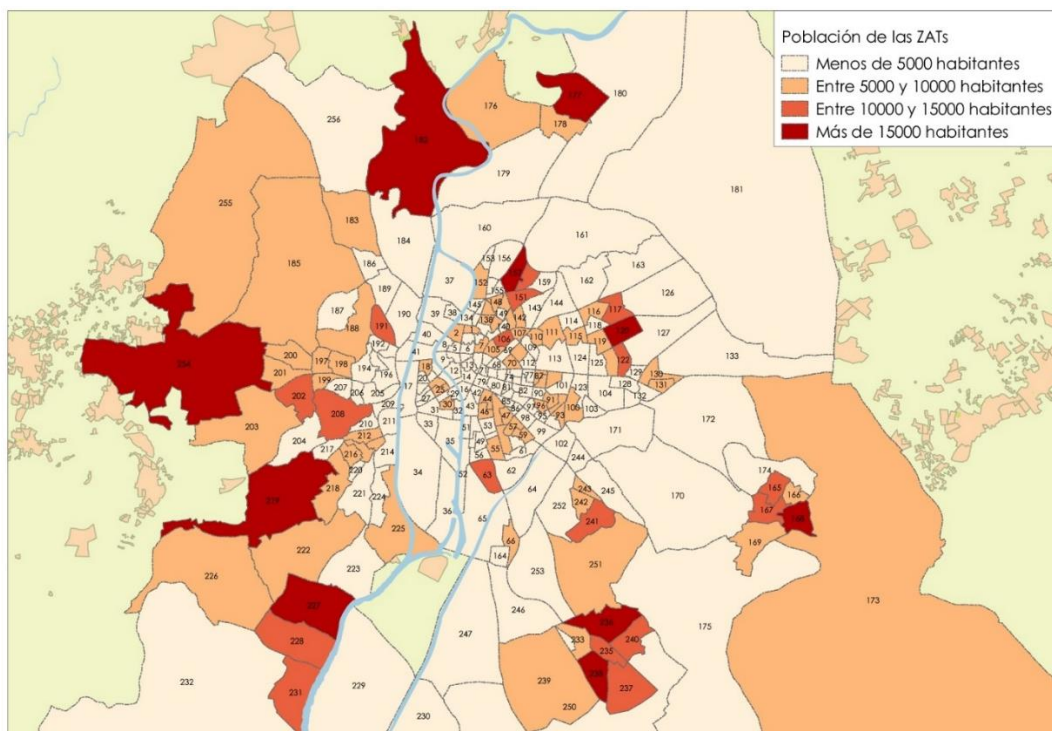


Figura 59. Población de las zonas de transporte
Fuente: Elaboración propia (QGIS)

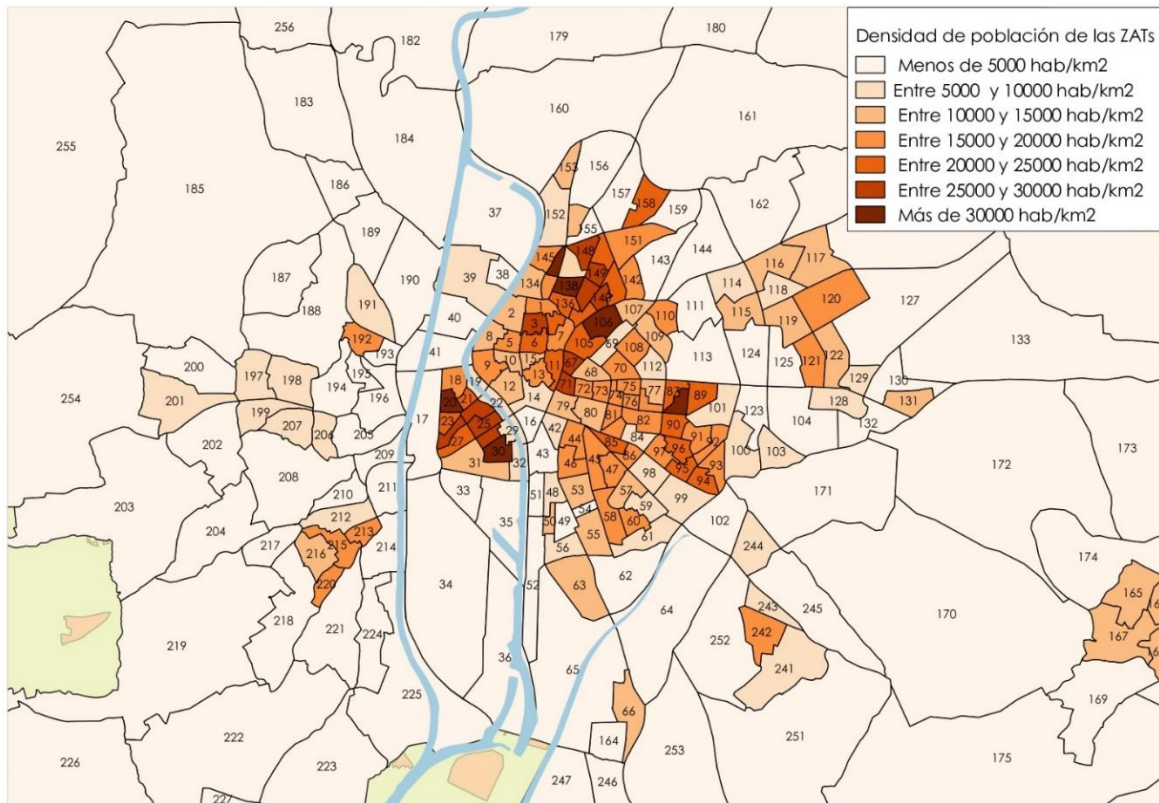


Figura 60. Densidad de Población de las zonas de transporte
Fuente: Elaboración propia (QGIS)

8.1. MODELO DE DISTRIBUCIÓN

A continuación, se plantea el problema del modelo de distribución, que se resuelve con el método del Balanceo Iterativo, recogido en Ortúzar & Willumsen, 2011.

$$T_{IJ} = a_i b_j m_{ij}$$

Siendo:

T_{IJ} : Demanda de viajes del par con origen en la parada I y destino en la parada J

a_i : Coeficiente de escala de la parada de origen I

b_j : Coeficiente de escala de la parada de destino J

m_{ij} : Demanda de viajes con origen en la ZAT i y destino j

Sin embargo, se cuenta con una única restricción: La del par de paradas de origen y destino I, J , y por tanto, solo existe un único coeficiente de escala. De esta manera, el método queda simplificado, dejando de ser iterativo:

$$T_{IJ} = a_{I-J} m_{ij}$$

$$T_{ij} = A \cdot t_0 = \frac{T_{IJ}}{\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \frac{P_i P_j}{t_{ij}^2}} \cdot \frac{P_i \cdot P_j}{t_{ij}^2}$$

Siendo:

T_{ij} : Demanda de viajes del par con origen en la parada I y destino en la parada J

A : Coeficiente de escala

P_i : Población de la ZAT de origen

P_j : Población de la ZAT de destino

t_{ij} : Tiempo de llegada entre la ZAT de origen i a la ZAT de destino j

Utilizamos la herramienta Access para llegar a la matriz T_{ij} , realizando 5 consultas.

En el resultado se comprueba que la matriz t_0 y T_{ij} tienen valores nulos cuando se trata de viajes con origen y destino en la misma ZAT o de viajes con origen y destino ZATS que tengan asignadas las mismas paradas de metro.

En el primer ensayo del modelo se tomó:

$$t_{ij} = t_1 + t_2 + t_3$$

Es decir, el tiempo de acceso a cada par de ZATs como la suma de los tres tiempos anteriormente citados.

Posteriormente, se razonó que no se debería penalizar el tiempo en metro, pensando que a más tiempo de viaje, más merece útil es cogerlo. Entonces, se llegó a la conclusión de que era mejor tomar t_{ij} como la suma del acceso y la dispersión:

$$t_{ij} = t_1 + t_3$$

La matriz t_0 se tomó de forma que en el numerador se encontrara el producto de las poblaciones de origen y destino. El denominador se decidió que fuese el cuadrado de la suma de los tiempos de acceso y dispersión. Se obtiene entonces una función de disuasión basada en la ley de gravitación universal.

$$t_0 = \frac{P_i \cdot P_j}{t_{ij}^2}$$

El planteamiento de otro tipo de distribución, exponencial o con otro coeficiente, tendría sentido en el caso de que este modelo no funcionara, esto es, que detectáramos un mal comportamiento. Ante la falta de información más fiable, y dado que los resultados no pueden ser contrastados, se decide dar por válido t_{ij}^2 . En un futuro, si se tuviera información más fiable, se podría calibrar mejor.

8.2. MATRIZ DE VIAJES

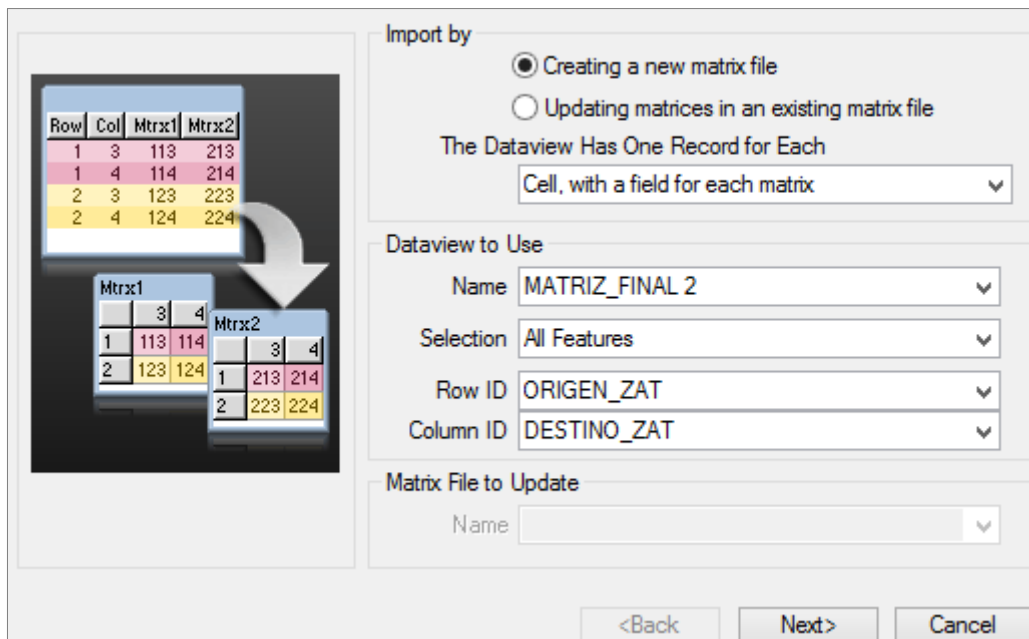
Una forma muy descriptiva de representar la matriz de viajes T_{ij} resultante es utilizando la herramienta *Líneas de deseo* de TransCAD.

Para ello, se debe introducir la matriz en TransCAD, creando un archivo .bin de la tabla.

Dado que esta matriz se encuentra en formato por columnas, pasa a formato matriz:

Dataview > Import Matrix

Se selecciona como filas las ZATs de origen y como columnas las ZATs de destino:



Así se ha pasado de tener la matriz Tij obtenida por columnas a formato matriz.

Para crear las líneas de deseo:

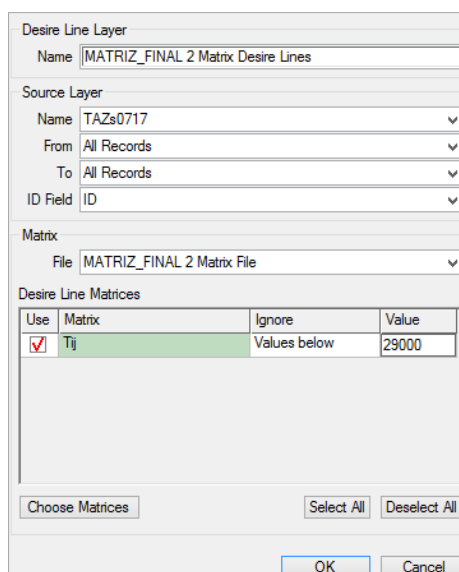
Tools > Geographic Analysis > Desire Lines

Solo se pueden crear líneas de deseo a partir de una capa de puntos o áreas, por lo que hay que seleccionar la capa de ZATs previamente.

El resultado de esta capa de líneas de deseo es muy borroso y no es útil su representación al contar con un elevado número de combinaciones.

Por ello, se representa la combinación que tiene mayor número de viajes, para ello se conoce previamente el valor máximo de viajes de la matriz: 29.616.

Se selecciona la opción de ignorar los valores por debajo de 29.000 ya que éste es el único valor por encima de esta cifra, apareciendo así únicamente el valor máximo:



TransCAD crea un *Theme* para categorizar la capa en varios grosores dentro del rango que hemos introducido. En este caso, se ignora este *Theme* ya que hemos forzado que sólo tenga una línea de deseo.

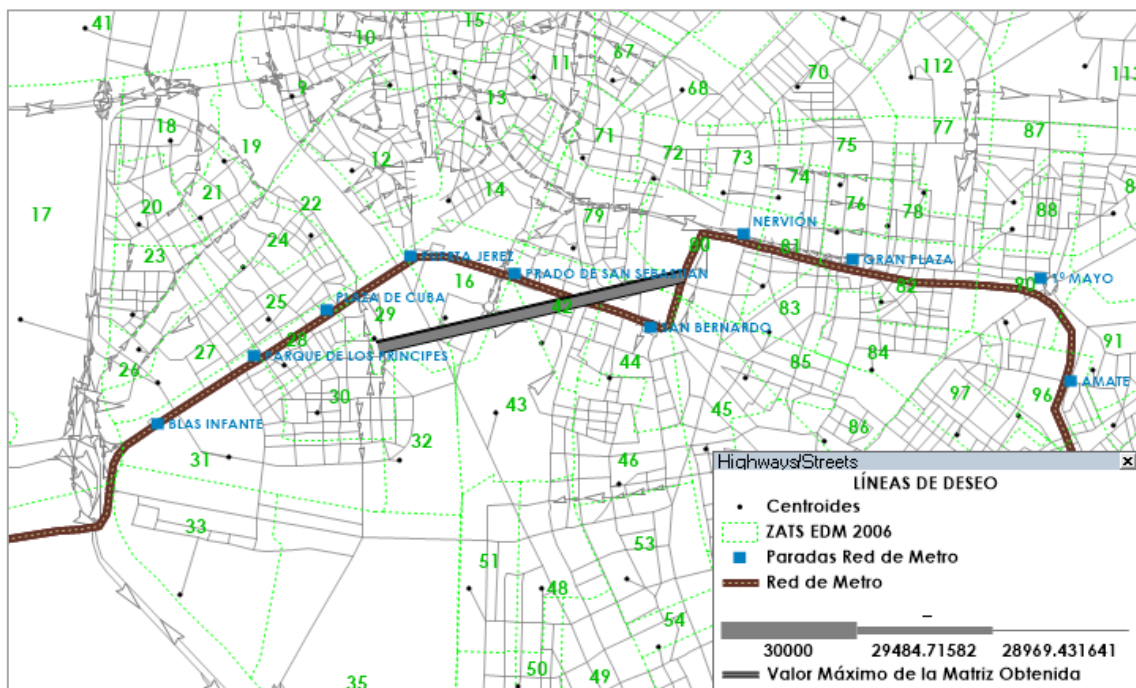


Figura 61. Valor máximo de la Matriz Obtenida

Fuente: Elaboración propia (TransCAD)

El mayor número de viajes de la matriz obtenida se sitúa en el tramo centro de la red de Metro. Se trata de usuarios que salen de la ZAT número 29 y se dirigen a la ZAT número 80. Para ello, utilizan las paradas de origen y destino Plaza de Cuba y San Bernardo respectivamente.

Respecto a la matriz de partida proporcionada por Metro de Sevilla, de viajes anuales por paradas, esta combinación, origen Plaza de Cuba y destino San Bernardo es la segunda más demanda.

Para obtener un plano en el que se visualicen las combinaciones que tienen mayor número de viajes, se utiliza la herramienta *Color Theme MapWizard*. Ésta crea distintos rangos de valores de la matriz. Previamente seleccionamos AB. El objetivo de utilizar esta herramienta es que TransCAD crea los rangos automáticamente, y así poder visualizar los distintos rangos y representar finalmente el que quede más representativo.

Selection > Select by theme.

Selection > Settings.

Sets in Order of Priority	Sample	Records	Status
Layer: MATRIZ_FINAL 2 Matri	—	8261	Invisible
Selection	—	0	Invisible
501.00 and below (4894)	—	4894	Invisible
501.00 to 1370.00 (1829)	—	1829	Invisible
1370.00 to 2640.00 (814)	—	814	Invisible
2640.00 to 4480.00 (394)	—	394	Invisible
4480.00 to 7170.00 (187)	—	187	Invisible
7170.00 to 10800.00 (81)	—	81	Invisible
10800.00 to 17000.00 (43)	—	43	Invisible
17000.00 and above (19)	—	19	Active
Other (0)	—	0	Invisible

Eliminamos todos los rangos excepto el mayor, para así representar aquellas líneas que tengan mayor número de viajes.

Presenta las 19 líneas de deseo con el mismo grosor. Seleccionando la herramienta *Scaled-Symbol Theme*, podemos seleccionar que represente AB y BA, cada uno a un lado de una línea central. Por tanto, a cada lado la línea tendrá un espesor distinto según el número de viajes.

Al tratarse de valores muy parecidos, parecerán iguales pero en realidad no lo son.

Con esta herramienta también podemos dar a las líneas un espesor distinto en función del número de viajes. Así, queda más representativo, pudiendo observar en el mapa qué combinación de ZATs ha tenido mayor número de viajes.

Finalmente, se presentan las 19 líneas de deseo, aquellas que tienen más de 17.000 viajes.

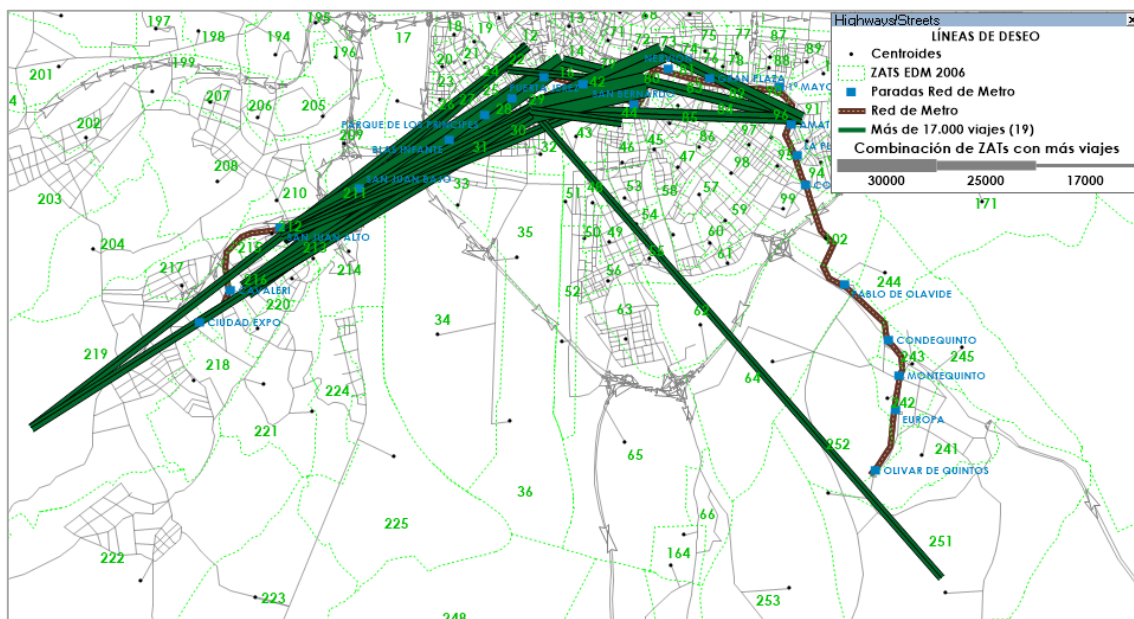


Figura 62. Líneas de deseo con mayor número de viajes
Fuente: Elaboración propia (TransCAD)

En la imagen anterior, se aprecia que las líneas de deseo siguen una línea que puede seguir la trayectoria de la red de metro, salvo algunas de ellas. Sin embargo, no se ven líneas que vayan desde el inicio al final de la línea, es decir, no hay ninguna línea de deseo de dos saltos. Esto es, no se hacen muchos viajes de dos saltos en el sistema de Metro.

Así, se refuerza la idea que se comentó en el apartado 6.4. de demanda de la red de metro: la mayoría de los viajes que se realizan son de un y cero saltos. Únicamente el 0.46% de los viajes que se realizan son de dos saltos)

El mismo plano es ampliado por tramos, para así analizar las líneas de deseo resultantes comentando el comportamiento de las mismas. De esta manera, podríamos tomar la matriz como válida o no, al tener sentido respecto a la matriz de partida.

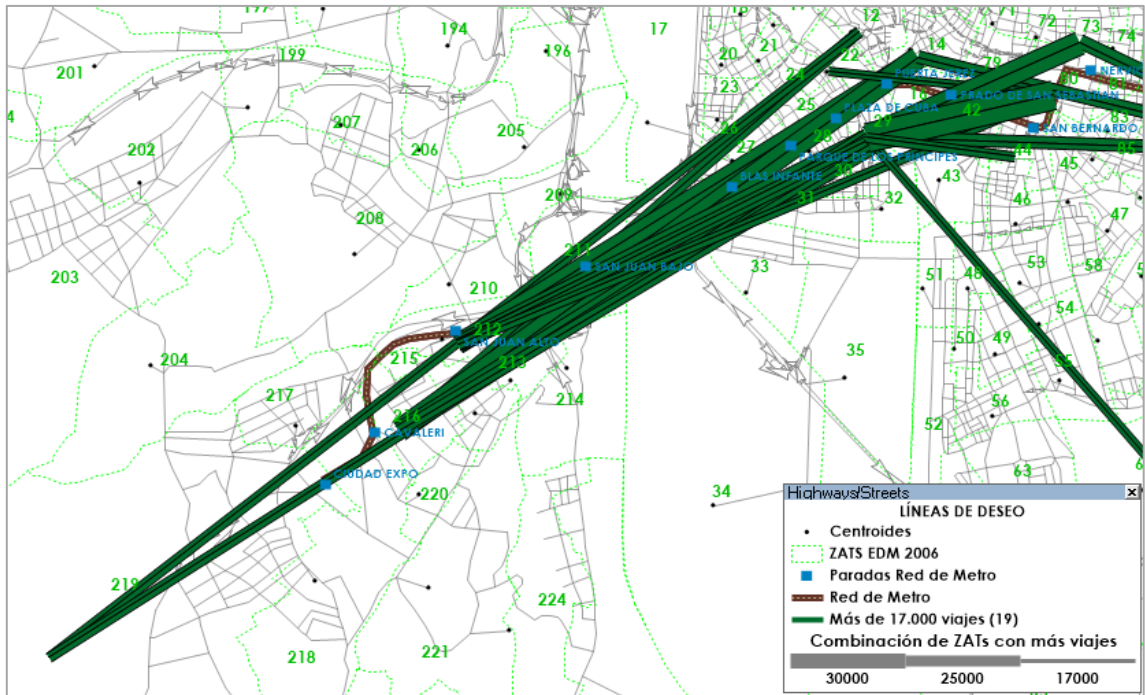


Figura 63. Combinación de ZATs con mayor número de viajes – Tramo 1.
Fuente: Elaboración propia (TransCAD)

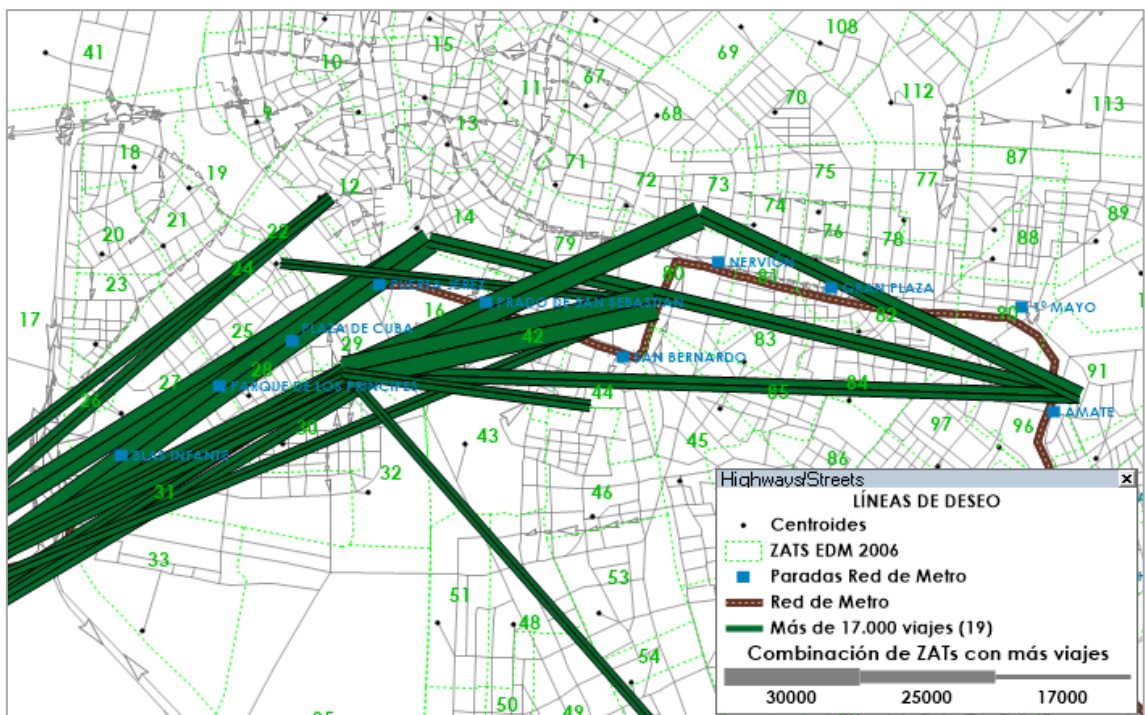


Figura 64. Combinación de ZATs con mayor número de viajes – Tramo 2
Fuente: Elaboración propia (TransCAD)

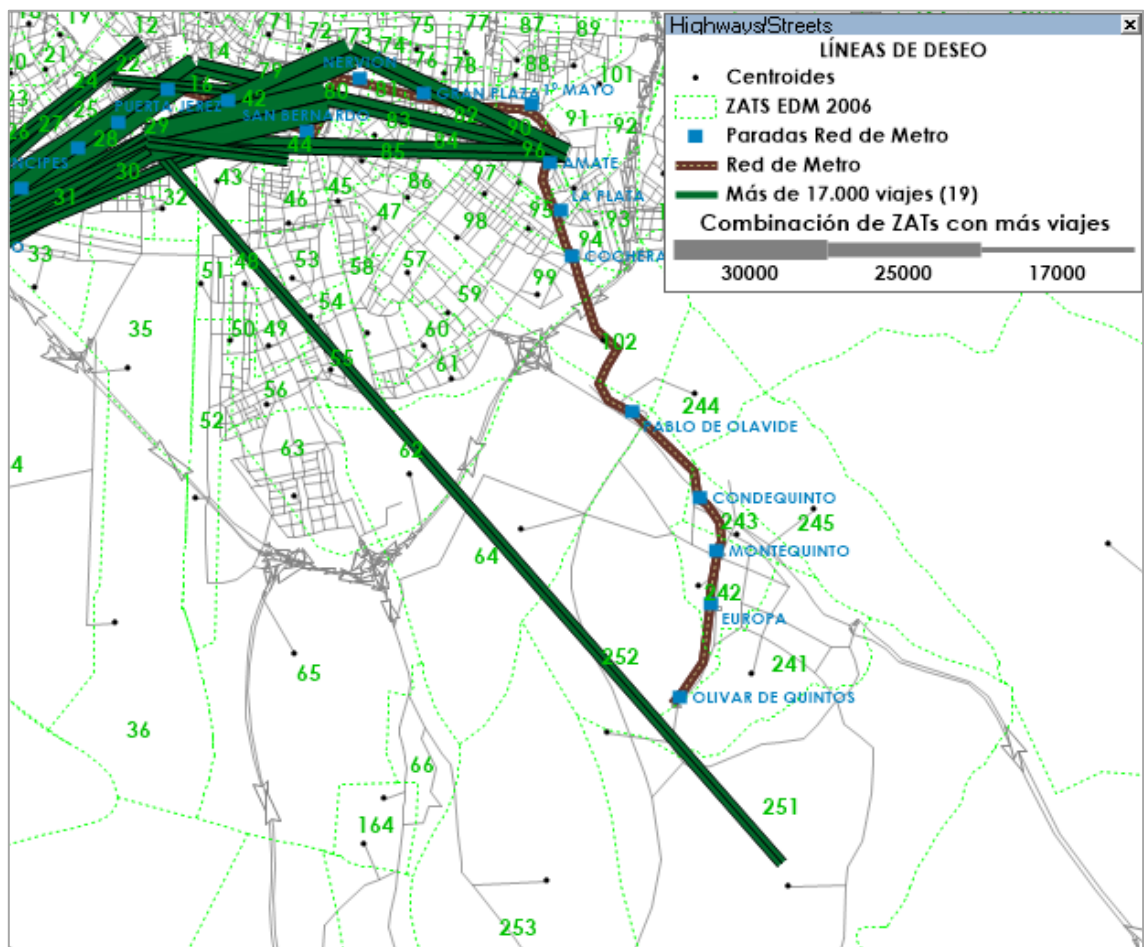


Figura 65. Combinación de ZATs con mayor número de viajes – Tramo 3
Fuente: Elaboración propia (TransCAD)

Por tanto, las conclusiones:

- Tramo 1 de la Red de Metro
No se representan viajes de cero saltos ni de dos saltos. De un salto, la combinación que tiene más viajes son los que salen de la ZAT 216 y se dirigen a la 14, es decir, parada de origen Cavaleri destino Puerta Jerez. Seguidos se encuentra la combinación San Juan Alto y Puerta Jerez, con muy poca diferencia. Por encima de los 24.000.
- Tramo 2 de la Red de Metro
En este tramo se encuentra la combinación de ZATs con mayor número de viajes que comentamos anteriormente.
Todas las líneas de deseo de cero saltos se producen en este tramo.
- Tramo 3 de la Red de Metro
No sale ningún resultado de cero saltos en este tramo. Existe una única línea de deseo, procedente de la ZAT 251 y con destino la ZAT 29, correspondientes de las paradas Pablo de Olavide y Plaza de Cuba respectivamente. Por lo tanto, al ser Pablo de Olavide una estación frontera, esta línea representa viajes en el tramo 2 de la red.

9. MODELIZACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO DE SEVILLA EN TRANSCAD

9.1. GENERALIDADES DEL MODELO PÚBLICO

Para poder reproducir el funcionamiento del sistema de transportes de Sevilla actual, se deben incorporar los diferentes niveles de información utilizable y desarrollar modelos apropiados de demanda para la asignación de escenarios analizando los movimientos de la población, etc.

Se representa a través del software TransCAD las pautas que siguen los viajes realizados entre las diferentes zonas en que se divide la zona analizada, así como el modo de Transporte utilizado para dichos viajes, y la ruta elegida.

9.2. ESCENARIO DEL MODELO PÚBLICO

El objetivo del modelo de TUSSAM es el análisis de los resultados para conseguir un vector g que relaciona la demanda de las líneas con la Matriz de Incidencia, que contiene los pares O-D con las líneas de TUSSAM a tomar para realizar ese movimiento O-D.

Para este modelo, es necesario una matriz que tenga valores en todas las combinaciones de zonas posibles, en la que no importe el flujo, por lo que se ha llenado de unos la matriz de transporte público resultado de la Encuesta Domiciliaria de Movilidad (EDM) de 2007. Así, se han tomado también las zonas del área metropolitana, pero nos centraremos en aquellas dentro del área urbana de Sevilla, donde presta servicio las líneas de TUSSAM.

El proceso para lograr los resultados se desarrolla en los siguientes apartados.

9.3. LA RED BASE DEL MODELO

La red de carreteras está formada por un conjunto de arcos georreferenciados que conforman las carreteras. Está almacenada en formato *.dbf, un formato de archivos geográficos propio del software TransCAD.

Estos arcos tienen una serie de atributos reales que definen la carretera, como son la longitud y trayectoria de la carretera, la velocidad de circulación, el número de carriles o la capacidad.

En esta capa están incluidas las vías de uso exclusivo al transporte público de autobuses. Esta diferenciación es importante para los tiempos de recorrido del Transporte Público al no influir en ellas la congestión producida por el tráfico privado.

9.4. LA RED PEATONAL

El movimiento de los usuarios del transporte público se caracteriza por la obligación de llegar al sistema de transporte público desde el punto de origen. Este movimiento puede ejecutarse de varios modos, mediante transporte privado, lo que se conoce como "Park-&-Ride", a pie, mediante bicicleta, etc.

Para que los peatones puedan llevar a cabo estos movimientos de acceso al sistema de transporte, hay que determinar el conjunto de arcos que podrán ser transitables peatonalmente. Casi todos los arcos de la red son transitables a pie, excepto las excepciones de las autovías, autopistas, algunas carreteras, y las líneas de ferrocarril de la provincia.

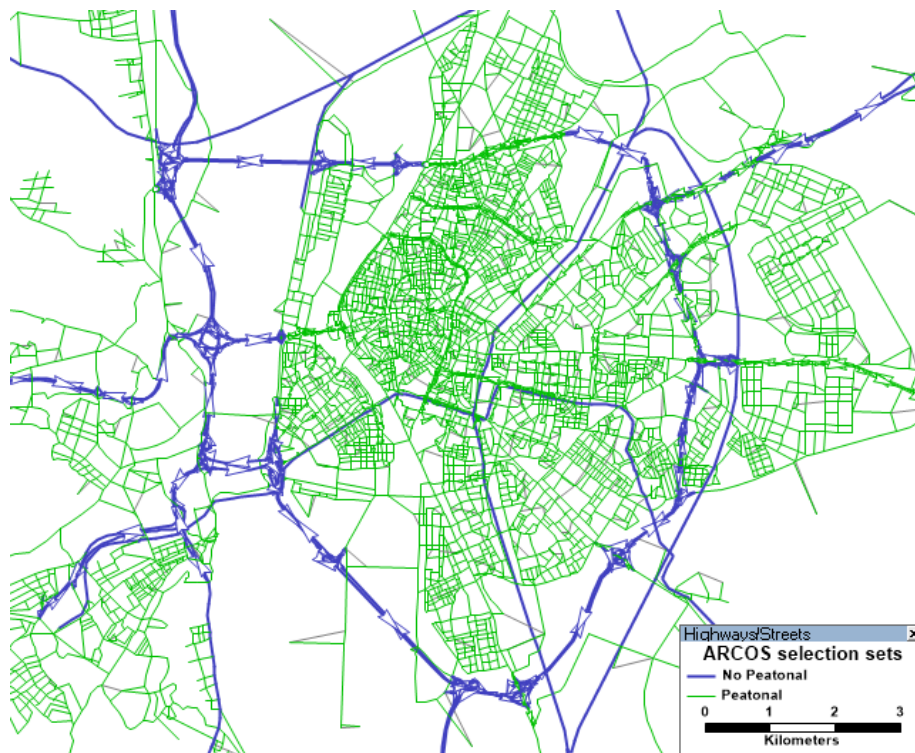


Figura 66. Arcos Peatonales y No peatonales
Fuente: Elaboración propia (TransCAD)

9.5. LA RED DE TRANSPORTE PÚBLICO

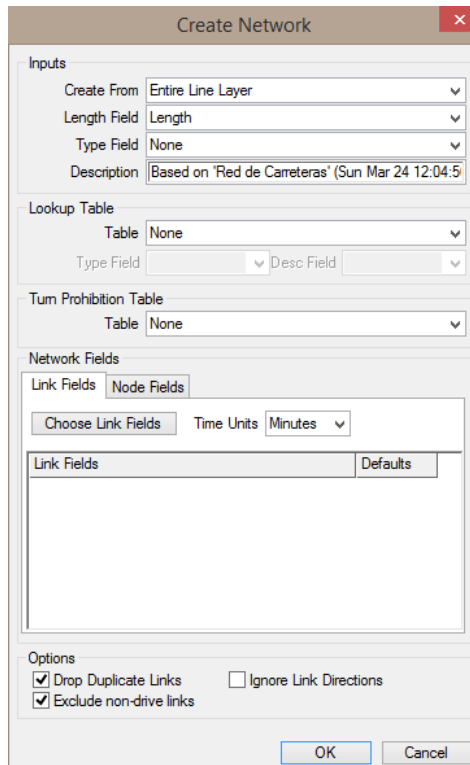
El sistema de datos que disponen la red de Transporte Público, según el modelo de datos del software TransCAD, está formada por una red de vías que coincide con la red de carreteras utilizada para el Transporte privado. Sobre esta red transcurren las líneas de Transporte Público con sus correspondientes paradas.

9.5.1. Crear un Network

Antes de comenzar a crear y editar las rutas es necesario generar un "Network" de nuestra red base. Este archivo (*.net) obtiene la información topológica de la red y su conectividad. En efecto, si el modelo que se pretende generar consta de diferentes sistemas de Transporte Público (Buses urbanos, interurbanos, líneas

de cercanías, metro) y previamente hemos determinado qué arcos de la red corresponden a cada tipo, es posible hacer una selección de los mismos mediante la herramienta de selección y establecer para los diferentes tipos de Transporte su propio "Network". Este hecho facilita la creación de las rutas ya que cada "Network" contendrá en su topología únicamente los arcos de su tipo de Transporte y por tanto la creación de las rutas de cada tipo solo podrá establecerse por una serie de arcos determinados correspondientes a su "Network":

Network > Create > Create From > Elegir el sistema de Transporte.

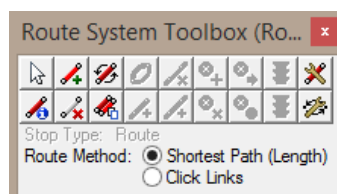



















9.5.2. Digitalización de las rutas de transporte público

El proceso de generación de la Red de Transporte Público "Route System" se ha basado en los mapas de las líneas que ofrecen los operadores en sus páginas web.

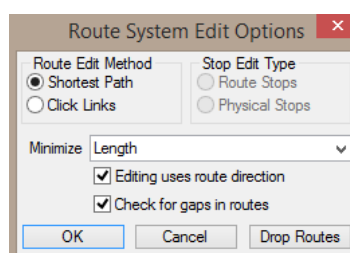
Para iniciar la digitalización de las rutas se abre la caja de herramientas del Route System.

Route System > Editing Toolbox




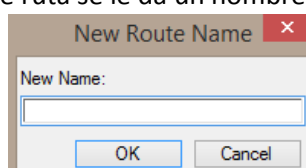
	Selecciona una ruta previamente creada para modificarla o eliminarla. las ruta o rutas aparecen en negrita cuando están seleccionadas.
	Crea una nueva ruta.
	Genera automáticamente la ruta inversa a otra ya creada, incluyendo sus paradas.
	Actualiza y alinea una o varias rutas con la red base. En ocasiones, cuando se hacen modificaciones de la red base, la ruta puede quedar desacoplada visualmente, esta herramienta vuelve a solapar la ruta con los respectivos arcos por donde discurre.
	Elimina una sección de una o varias rutas.
	Ver y editar la información asociada a la ruta seleccionada.
	Elimina una o varias rutas.
	Duplica una ruta seleccionada.
	Extiende una o varias rutas seleccionadas.
	Une dos extremos de una o varias rutas.
	Crea una parada sobre la ruta o rutas seleccionadas.
	Desplaza una parada a una nueva posición.
	Elimina una parada.
	Guarda los cambios realizados.
	Deshace los cambios realizados.
	Opciones sobre el método de creación de las rutas. (*)
	Configuración del "Network".


(*): Este icono permite seleccionar “Click Links” para digitalizar las rutas por segmento o “Shortest Path”, que busca la ruta más corta entre los nodos seleccionados



Los pasos para la generación de las rutas son:

1. Mediante el icono  del Editing Toolbox. La ruta tendrá inicio y fin en nodos de la red base.
2. Una vez generado el primer tramo de ruta se le da un nombre “New Route Name”



- Se continúa generando la ruta mediante el icono  que la extiende haciendo doble click en el segmento continuo de la red vial por donde continúe la ruta.

Cualquier cambio en la topología de la red base deberá ir acompañado de una actualización del Network y del Route System. En cambio, las modificaciones en la tabla de atributos de la red base no afectan a la Network ni a la topología de red y no precisan dicha actualización.

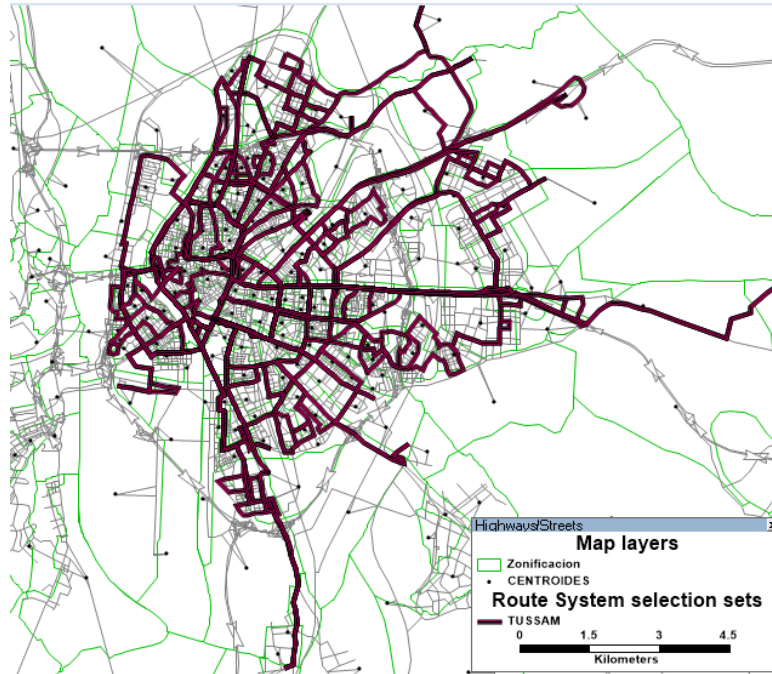


Figura 67. Route System
Fuente: Elaboración propia (TransCAD)




Parámetro	Descripción
Route_ID	Identificador único automático de la ruta
Route_Name	Nombre de la ruta
Origen	Lugar de origen de la ruta
Destino	Lugar de destino de la ruta
Headway	Intervalo entre vehículos de la ruta en minutos
Capacidad Ruta	Capacidad de la ruta en pasajeros/hora
Reversa	Sentido de la ruta. 1=Sentido vuelta. 0=Sentido ida.
Longitud Línea	Longitud de la línea
Veh/hora	Frecuencia de paso de los vehículos
Cap/veh	Capacidad de los vehículos que operan en la ruta
T_inicio	Hora de inicio del servicio de la ruta
T_fin	Hora de fin del servicio de la ruta
N_paradas	Número de paradas de la ruta
Tipo_TP	Modo de transporte de la ruta
Mode_ID	Identificador del modo

Tabla 25. Parámetros del Route System
Fuente: Elaboración propia

9.5.3. Digitalización de las paradas de transporte público

La generación de las paradas de las rutas del sistema de transporte se ha introducido en el modelo mediante capas de puntos georreferenciados de TUSSAM mientras que las paradas de Metro se han introducido manualmente.

Para la digitalización de rutas se utilizan los iconos de la Route System Toolbox:

	Crea una parada sobre la ruta o rutas seleccionadas.
	Desplaza una parada a una nueva posición.
	Elimina una parada.

Parámetro	Descripción
Route_ID	Identificador único automático de la ruta
Route_Name	Nombre de la ruta
Origen	Lugar de origen de la ruta
Destino	Lugar de destino de la ruta
Headway	Intervalo entre vehículos de la ruta en minutos
Capacidad Ruta	Capacidad de la ruta en pasajeros/hora
Reversa	Sentido de la ruta. 1=Sentido vuelta. 0=Sentido ida.
Longitud Línea	Longitud de la línea
Veh/hora	Frecuencia de paso de los vehículos
Cap/veh	Capacidad de los vehículos que operan en la ruta
T_inicio	Hora de inicio del servicio de la ruta
T_fin	Hora de fin del servicio de la ruta
N_paradas	Número de paradas de la ruta
Tipo_TP	Modo de transporte de la ruta
Mode_ID	Identificador del modo

Tabla 26. Parámetros del Route Stops
Fuente: Elaboración propia

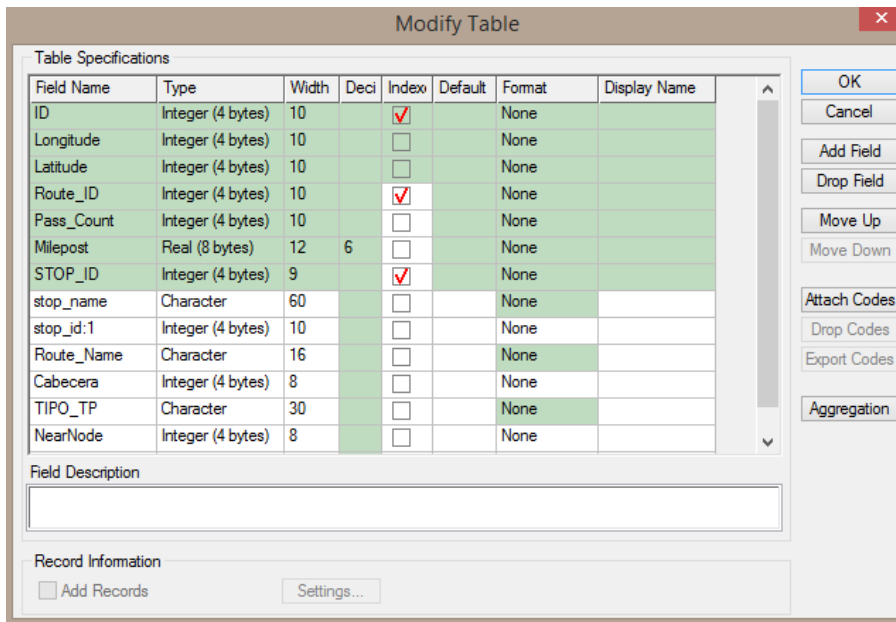
9.5.4. Vincular paradas a los nodos de la Line Layer

Digitalizadas todas las paradas es necesario vincular cada parada a un nodo de la red base. TransCAD determina la ubicación de la parada mediante los nodos de esta red: No tiene en cuenta la localización de las Route Stops si no de los nodos asociados.

Por tanto, toda Route Stop debe ir asociada a un nodo, y todas las Route Stops de una determinada línea deben ir asociadas a nodos diferentes. Esto es, si a un mismo nodo se le asociaran dos paradas diferentes, las paradas se solaparían y no tendría sentido físico.

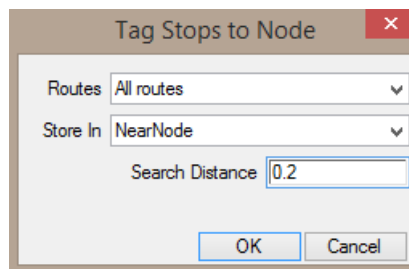
Para asociar los nodos a las paradas, se genera un nuevo campo en el Dataview de la capa Route Stops, al que llamamos "NearNode".

Dataview > Modify Table > Add Field



Creado el nuevo campo, se vincula:

Transit > Tag Stop to a Node

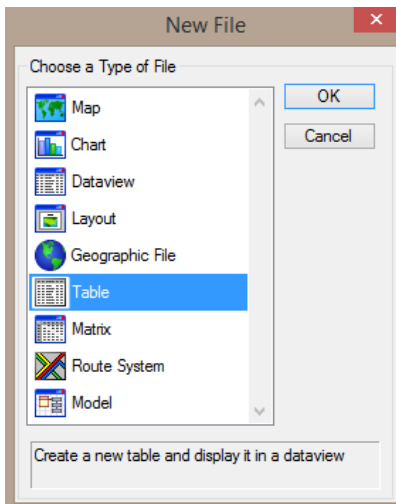


9.5.5. Mode Table

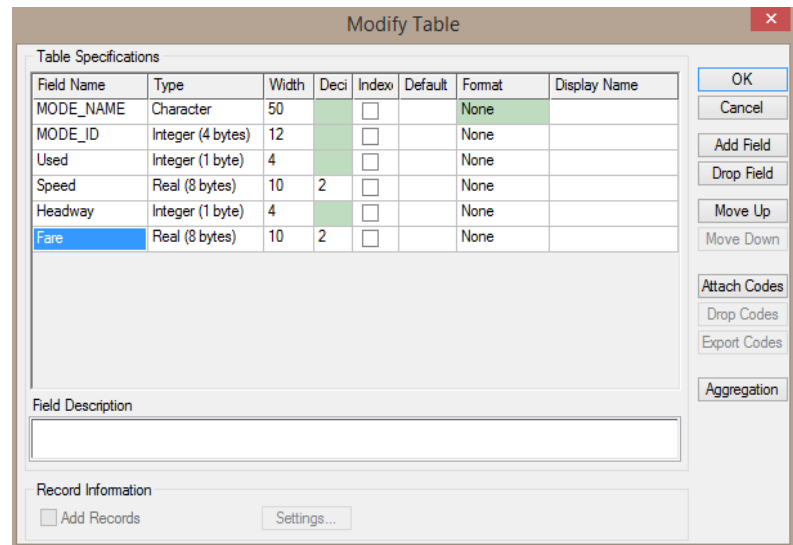
La generación de cualquier capa geográfica TransCAD genera una tabla de atributos asociada a cada una de ellas. Sin embargo, la tabla "Mode Table" es generada por el usuario.

Permite definir características comunes de las rutas de cada modo de transporte. Puede usarse para definir los Non Transit Links, aquellos movimientos sobre la red que no usen las rutas de Transporte Público, es decir, los movimientos peatonales. Para poder establecer en la tabla de modos "Mode Table" un modo exclusivo para los "Non-Transit Links" es necesario generar también un campo "MODE_ID" en la red base del sistema, y atribuirle a los arcos "Non-Transit Links" el valor que lo asocie a la tabla de modos.

File > New > Table



Crear una tabla



Cuadro de campos de la Mode Table

Parámetro	Descripción
Mode_name	Nombre del modo
Mode_Id	Identificador del modo
Mode_Used	0=Modo inhabilitado, 1=Modo habilitado
Speed	Velocidad por defecto
Headway	Frecuencia por defecto
Fare	Tarifa fija

Tabla 27. Campos de la Mode Table

Fuente: Elaboración propia

MODE_NAME	MODE_ID	Used	Speed	Headway	Fare
BUS URBANO	1	1	0.00	--	1.50
BUS INTERURBANO	2	1	0.00	--	1.50
TREN CERCANIAS	3	1	0.00	--	1.50
PEATON	10	1	0.00	--	0.00
TRANVIA	5	1	0.00	--	1.50
METRO	4	1	0.00	--	2.00
BTR	6	1	0.00	--	0.50

Figura 68. Dataview de la Mode Table

Fuente: Elaboración propia (TransCAD)

9.5.6. Creación del Transit Network

El Transit Network es un archivo donde se recopilan las informaciones y parámetros del modelo de Transporte, son necesarios para realizar cualquier tipo de asignación y análisis.

Para crearlo, es necesario elegir los siguientes elementos:

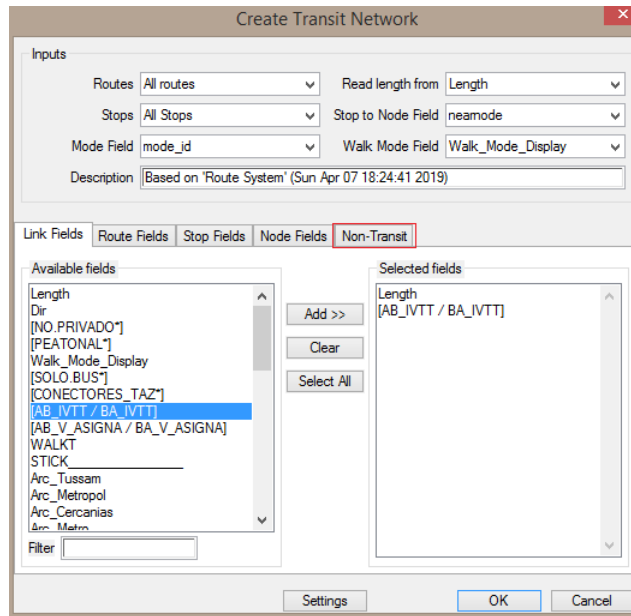
- Las rutas que se quieren incluir.
- Las paradas.
- Los atributos de las rutas, los nodos, las paradas y de la red base del modelo.
- El campo creado en la tabla de atributos del Route Stops que asocia cada parada con su nodo más cercano.
- Si se añade o no los Non-Transit Links para accesos, salidas y transbordos peatonales sobre la red.

9. Modelización del Transporte Público de Sevilla en TransCAD

Para añadir los Non-Transit Links en el sistema, tanto para los movimientos peatonales como para los de Transporte privado, habrá que realizar una selección previa de los arcos que formen cada uno de los conjuntos mencionados.

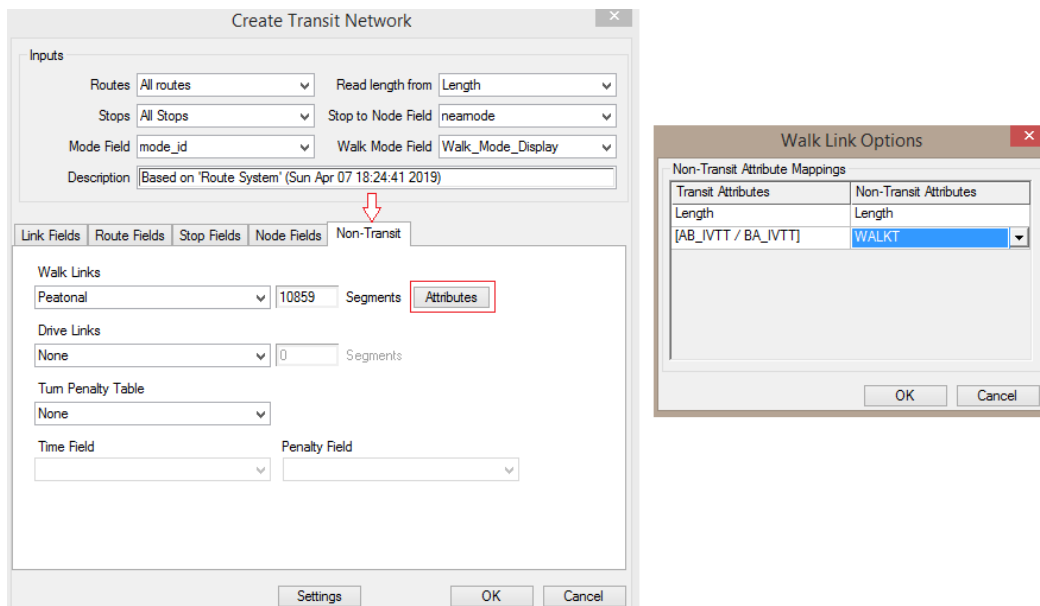
Para abrir el cuadro para crear el Transit Network debemos seleccionar la Route System como la capa activa:

Transit > Create Network



En cada capa, se seleccionan los campos que caracterizan la red:

- En el cuadro “Link Fields” seleccionamos los campos “Length” y “IVTT” (Tiempo de viaje en transporte público de cada arco)
- En el cuadro “Non-Transit”, se selecciona como “Walk Links” la red peatonal, tras realizar este conjunto de selección de la red base. Se establecen los atributos de estos arcos peatonales, cambiando el tiempo de viaje del transporte público por WALKT, que representa el tiempo de viaje peatonal por los arcos de la red.



9.6. ASIGNACIÓN DE VIAJES

9.6.1. Pathfinder Method

TransCAD aporta diferentes métodos de asignación y elección de viajes. La principal diferencia entre estos métodos radica en las hipótesis sobre el modo en que el viajero elige o no una determinada ruta entre el abanico de posibilidades.

El Pathfinder Method difiere de otros métodos teniendo en cuenta el sistema tarifario de las líneas para calcular la ruta óptima. Esto se hace mediante el uso de un coste generalizado de viaje en vez de utilizar únicamente el tiempo de viaje como medida a minimizar en la elección de la ruta.

El coste generalizado de viaje se calcula aplicando un factor de valor del tiempo, el cual es especificado por el usuario, convirtiendo así los tiempos de espera y de viaje en unidades monetarias, que pueden ser combinadas posteriormente con las tarifas de cada viaje.

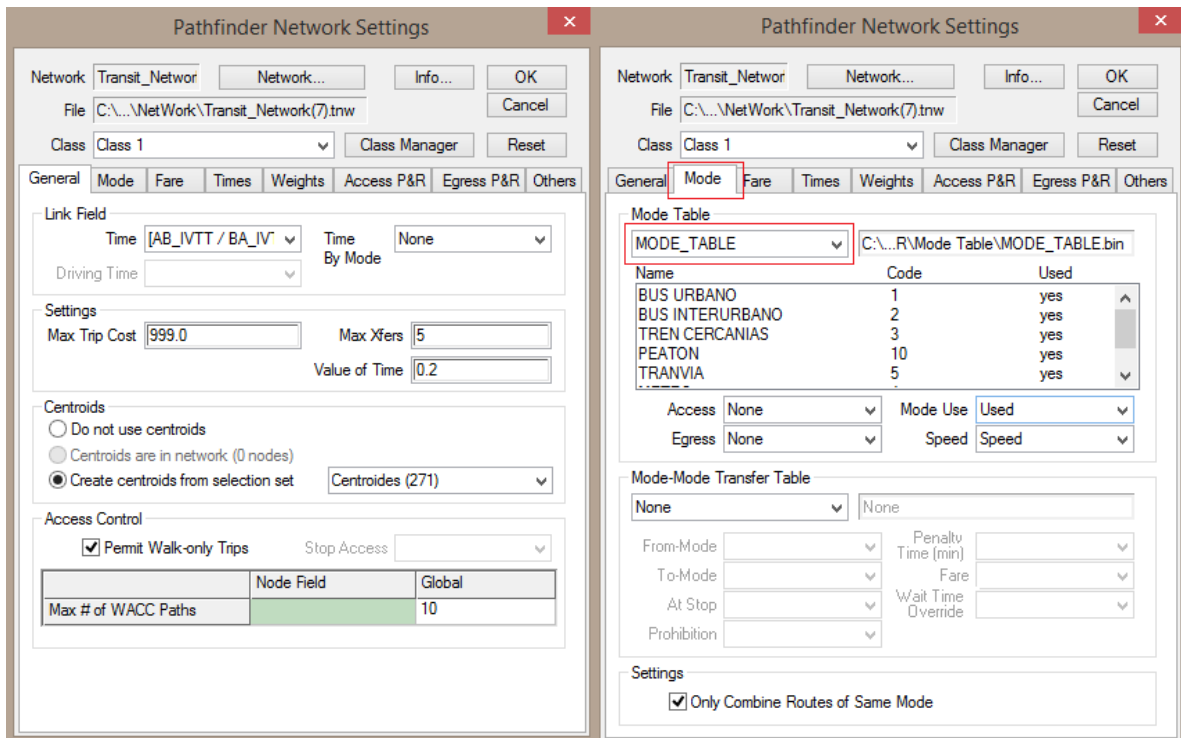
9.6.2. Configuración

Los ajustes de este modelo de asignación incluyen parámetros como:

- El campo de tiempo de viaje en Transporte Público
- Información sobre los nodos que corresponden con Centroides
- Información y control sobre las paradas de ruta
- Los atributos de la "Network" que contienen los datos de frecuencia de las rutas, las penalizaciones por transbordo, los valores máximos y mínimos de tiempos de espera y transbordos, los tiempos de subida y bajada de los vehículos y tiempos de cambio de sentido.
- Límites del número de transbordos posibles, máximo coste generalizado permitido del viaje, máximo tiempo de transbordo permitido y máximo tiempo permitido por modo los pesos asignados a los tiempos de espera, tiempos de viaje, tiempos de subida y bajada, tiempo sobre los "Non-Transit Links" y tiempos de transbordo
- La estructura tarifaria
- La información sobre los diferentes modos de Transporte
- La información sobre los movimientos de transbordo entre modos
- La información sobre las paradas

Transit > Transit Network Settings > Pathfinder

9. Modelización del Transporte Público de Sevilla en TransCAD



Ajustes del Transit Network

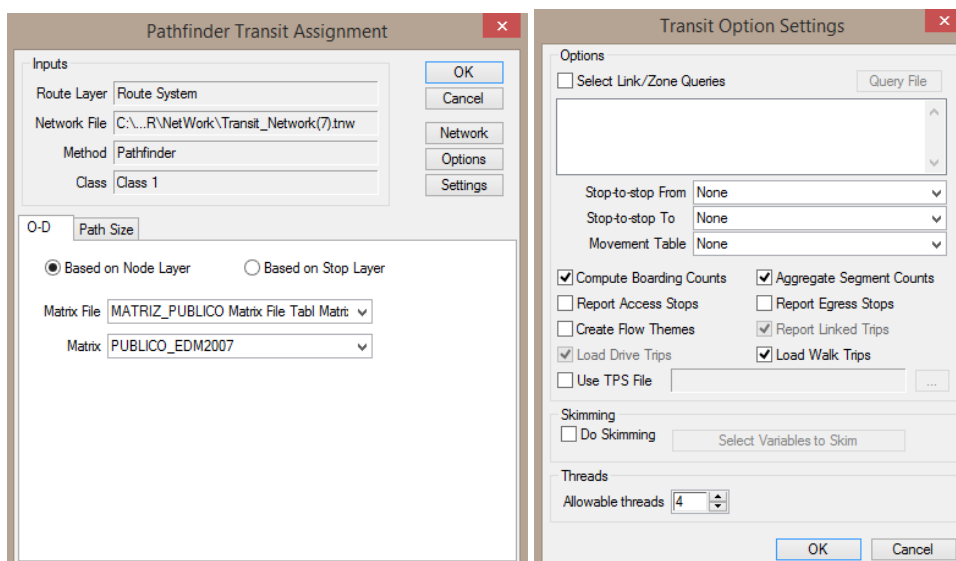
Se selecciona la Mode table generada, con objeto de incorporar los parámetros operativos de los distintos modos de transporte al modelo.

9.6.3. Asignación de la matriz de viajes

Una vez configurados todos los parámetros del sistema de Transporte puede darse paso a la asignación de la matriz de viajes, para ello debemos abrir la matriz en el entorno de trabajo.

Transit > Assignment > Pathfinder

El botón Options permite obtener otros parámetros correspondientes al Modelo Público.



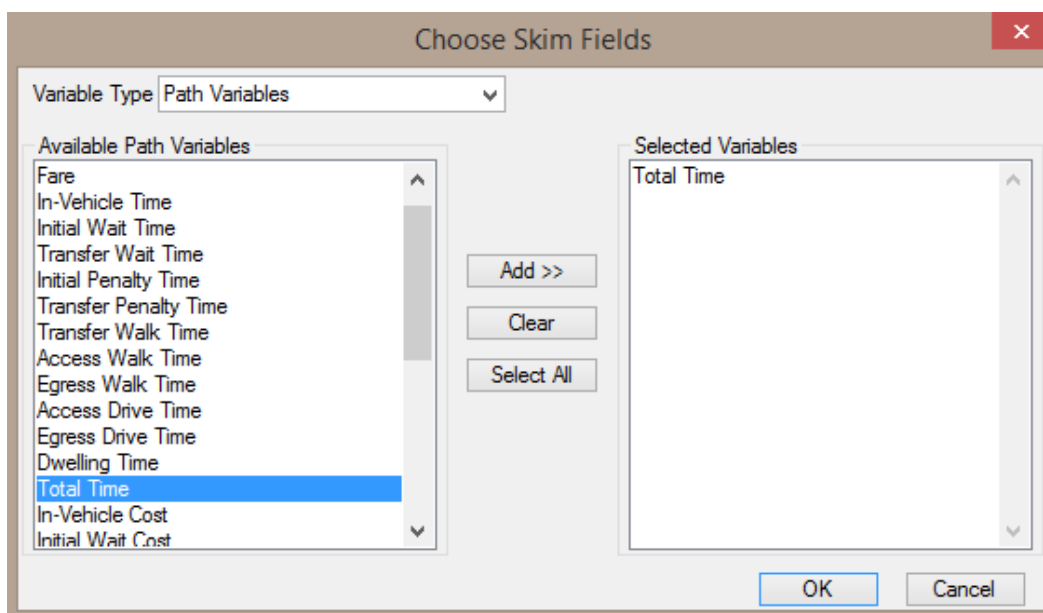
La selección “Report Access Stops” será necesario para obtener los datos que necesitamos para realizar el análisis.

Además, se puede seleccionar la herramienta “Skimming”, una herramienta para el análisis de accesibilidad del Transporte Público del modelo de estudio, mediante la cual, se pueden generar datos que determinan cuantitativamente la contribución del sistema de Transporte Público a los movimientos entre las distintas zonas de atracción y generación de viajes, es decir, entre los centroides del modelo.

Esta herramienta consigue recopilar datos que relacionan los pares Origen-Destino basándose en el modelo de Transporte generado, la solución genera diferentes matrices OD y por cada par, podrá plasmarse la siguiente información referente a los movimientos del usuario del Transporte Público entre cada par OD, entre las que destacan;

- El Coste generalizado del viaje.
- El Tiempo Total del viaje.
- El Tiempo en Vehículo Público del viaje OD.
- El Tiempo Total a pie del viaje OD.
- El Tiempo de Espera en parada.
- El Número de Transbordos.

Para el desarrollo del análisis, necesitaremos seleccionar la opción que devuelve el tiempo total del viaje:



10. RESULTADOS DE LA ASIGNACIÓN

Los resultados de una asignación aparecen en formato tabla en el entorno de trabajo de TransCAD, aportando diferentes datos sobre los movimientos de los usuarios.

Obtenidos estos resultados, pasamos a analizarlos desarrollando el método del balanceo iterativo, utilizando la herramienta MatLAB. Permitirá calcular el vector g que relaciona la Matriz de incidencia pares-líneas con la demanda de las líneas de TUSSAM.

$$\Gamma^1 \cdot g = D_{líneas}$$

Esta Matriz de incidencia tiene como filas los pares origen-destino y como columnas las líneas de TUSSAM a tomar para realizar ese movimiento. La secuencia indica qué líneas se toman y representa el orden en el que se toman:

$$\Gamma = \begin{matrix} & \text{Líneas TUSSAM} \\ \text{Pares O-D} & \left(\begin{matrix} \text{Secuencia} \end{matrix} \right) \end{matrix}$$

10.1. OBTENCIÓN DE LOS FICHEROS

A continuación, se detalla el proceso de obtención de esta matriz así como de otras matrices necesarias para desarrollar el método.

Al haber seleccionado Report Access Stops, se obtiene una tabla que devuelve para cada movimiento entre un origen y un destino, cuáles son las paradas de las rutas que se pueden tomar para comenzar el viaje.

Parámetro	Descripción
ORIGIN	ID del centroide Origen
DESTINATION	ID del centroide Destino
PARK_NODE	ID del nodo parking, si lo hubiera
STOP	ID de la parada de acceso al sistema público
SEQUENCE	Determina el número de posibilidades para el movimiento OD
CLASS	Determina el tipo de usuario
WEIGHT	Factor de peso de cada posibilidad

Tabla 28. Parámetros del Access Stops
Fuente: Elaboración propia

Depurando las columnas que necesitamos, obtenemos un fichero de la forma:

ORIGIN	DESTINATION	STOP	SEQUENCE	WEIGHT
15837	15956	46	1	0.6001
15837	15956	1929	2	0.3999
15837	15963	46	1	0.6001
15837	15963	1929	2	0.3999
15837	15984	46	1	0.6001
15837	15984	1929	2	0.3999
15837	16008	46	1	1.0000
15837	16077	46	1	0.6001
15837	16077	1929	2	0.3999
15837	16113	1108	1	0.5769
15837	16113	1808	2	0.4231
15837	16143	46	1	0.6001
15837	16143	1929	2	0.3999
15837	16212	46	1	1.0000
15837	16260	46	1	1.0000
15837	16329	46	1	1.0000
15837	16332	46	1	1.0000
15837	16334	46	1	1.0000
15837	16348	46	1	1.0000
15837	16364	46	1	0.6001
15837	16364	1929	2	0.3999

Figura 69. Access Stops
Fuente: Elaboración propia (TransCAD)

Dado que los identificadores de los orígenes y los destinos que aparecen en Access Stops son los identificadores de los nodos asociados a esos centroides, se han cruzado para tener estos datos de única forma: en identificadores de los centroides. Así, es más claro este proceso ya que el identificador del centroide coincide con el de la zonificación.

ID	Longitude	Latitude	X	Y	CENTROIDE	[ID:1]	[ID:2]	MACROZONA
16664	-5892864	37498020	--	--	2	--	272	7
16663	-5958118	37523550	--	--	2	--	271	7
16662	-5995612	37516595	--	--	2	--	270	7
16661	-6043269	37467360	--	--	2	--	269	4
16659	-6162622	37423030	--	--	2	--	268	4
16657	-6179560	37393491	--	--	2	--	267	4
16655	-6170059	37355076	--	--	2	--	266	5
16653	-6157669	37328215	--	--	2	--	265	5

Figura 70. Cambio de los identificadores de los centroides
Fuente: Elaboración propia (TransCAD)

Este mismo proceso de cruzar los identificadores se ha seguido también con las rutas de TUSSAM, con el objetivo de asignar la demanda correctamente a cada línea. La demanda asignada a las líneas son las tomadas de la Memoria de 2016 de TUSSAM. Esta demanda es de toda la línea, esto es, no diferencia por sentidos de circulación. Por eso, se ha tomado como la demanda de cada línea la mitad de la contemplada en dicha memoria.

10. Resultados de la asignación

	A	B	C	D	E	F	G
1	ROUTE_ID	TIPO_TP	ROUTE_NAME	Ruta_Nombre	Ruta_ID	Demanda Total Ruta	Demanda
2	597	TUSSAM	1	1	1	3018793	1509396,5
3	902	TUSSAM	1r	1	47	3018793	1509396,5
4	637	TUSSAM	2	2	5	6532478	3266239
5	638	TUSSAM	2r	2	6	6532478	3266239
6	859	TUSSAM	3r	3	14	3411309	1705654,5
7	877	TUSSAM	3	3	27	3411309	1705654,5
8	863	TUSSAM	5	5	18	2627779	1313889,5
9	886	TUSSAM	5r	5	34	2627779	1313889,5

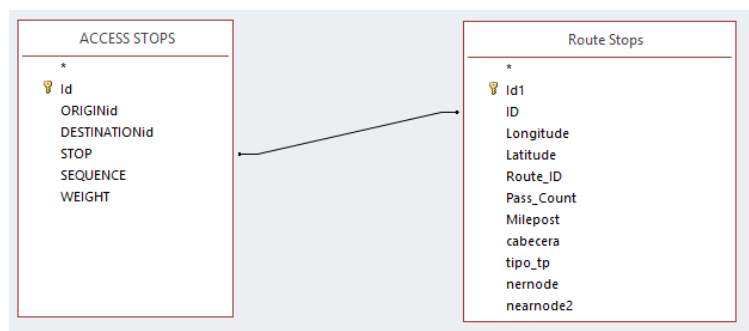
Figura 71. Cambio de los identificadores de las líneas y asignación de demanda
Fuente: Elaboración propia

Una vez que se tiene el origen y el destino con la denominación final y la secuencia, podemos dar un identificador a los pares. La secuencia toma un papel clave, ya que se presta atención a que hay pares O-D repetidos al tener la opción de transbordo, siendo en este caso la secuencia mayor a 1.

	A	B	C	D	E
1	Origen	Destino	Secuencia	ID_Ruta	ID_Par
2	1	34	1	12	1
3	1	36	1	12	2
4	1	37	1	23	3
5	1	45	1	22	4
6	1	47	1	22	5
7	1	52	1	12	6
8	1	57	1	22	7
9	1	59	1	22	8

Figura 72. Asignación de los identificadores de los pares
Fuente: Elaboración propia

Con el fichero Access Stops resultado de la asignación del modelo, tenemos la zona de origen, de destino, la parada de acceso y la secuencia. Con el objeto de obtener la ruta en lugar de la parada, utilizamos una consulta de Access que nos cruce el identificador de la parada con la de la ruta, haciendo uso de un fichero Access Stops y el fichero Route System.



De esta forma, obtenemos la Matriz de incidencia, con las columnas IDPar, IDRuta y Secuencia:

$$\Gamma = \begin{matrix} & \text{Líneas TUSSAM} \\ \text{Pares O-D} & \left(\begin{matrix} \text{Secuencia} \end{matrix} \right) \end{matrix}$$

Se ha comprobado que la asignación del transporte público es correcta utilizando esta matriz de incidencia, al tomar varias combinaciones de zonas de transporte y teniendo en conocimiento el mapa de líneas de TUSSAM, comprobar que es la mejor opción para el recorrido, teniendo en cuenta la secuencia, es decir, el transbordo.

Haciendo uso de tablas dinámicas en la herramienta Excel, obtenemos la **Matriz de Incidencia de Origen**, que relaciona los orígenes de los movimientos con los pares O-D, de la forma:

$$\Gamma_{\theta} = \begin{matrix} & \text{Pares O-D} \\ \text{Orígenes} & \left(\begin{matrix} 11 \dots 1 & 00 \dots 0 \\ 0 \dots 0 & 11 \dots 0 \end{matrix} \right) \end{matrix}$$

Para obtener una **matriz previa** de la que partir desarrollamos un proceso gravitacional para asignarle a cada par valores diferentes según población y viajes:

$$s = \frac{P_i \cdot P_j}{T_{ij}^2}$$

Para ello, necesitamos el tiempo desde el origen i hasta el destino j. Se obtiene al seleccionar la herramienta Total Time, en el Do Skimming en la asignación del modelo en TransCAD.

A la tabla resultado se le dotan el mismo identificador de los pares que en el resto del procedimiento. Utilizando la herramienta Access se obtiene el resultado s a través de una consulta.

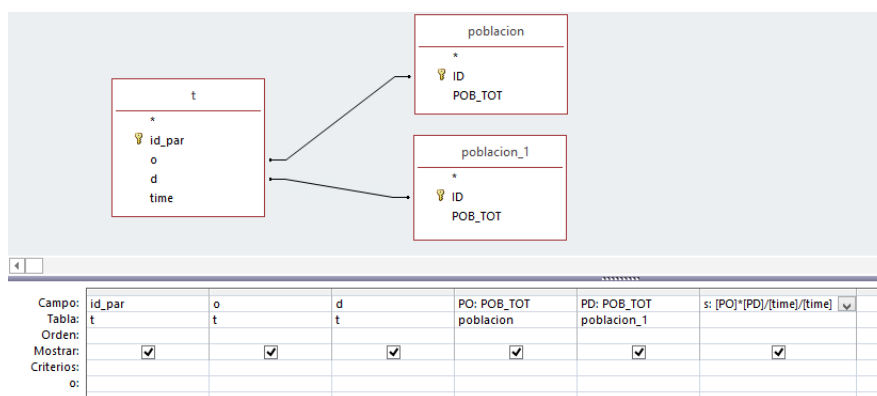


Figura 73. Consulta de Access para obtener s
 Fuente: Elaboración propia (Access)

10. Resultados de la asignación

	A	B	C	D	E	F
1	ID_Par	Origen	Destino	POB_Origen	POB_Destino	s
2	1	1	34	5114,529284	43,17940105	1940,61468
3	2	1	36	5114,529284	0,2664727	0,09411031
4	3	1	37	5114,529284	83,84531814	209,35841
5	4	1	45	5114,529284	7040,57233	13414,4106
6	5	1	47	5114,529284	5251,440334	8323,1485
7	6	1	52	5114,529284	333,5809266	189,486902
8	7	1	57	5114,529284	5551,337881	5859,42379
9	8	1	59	5114,529284	5024,709803	4834,90405

Figura 74. Resultado de la consulta
Fuente: Elaboración propia (Access)

A continuación, se muestran las **hojas de los ficheros utilizados** en el código, en el que se muestran las columnas de las que se hace mención en el mismo.

	A	B	C
1	Sequence	ID_Ruta	ID_Par
2	1	12	1
3	1	12	2
4	1	23	3
5	1	22	4
6	1	22	5
7	1	12	6
8	1	22	7
9	1	22	8

Figura 75. Fichero Procedure.
Hoja Matriz_Incidencia_PL

	A	B	C
1	Origen	ID_Par	Matriz
2	1	1	1
3	1	2	1
4	1	3	1
5	1	4	1
6	1	5	1
7	1	6	1
8	1	7	1
9	1	8	1

Figura 76. Fichero Procedure.
Hoja Matriz_Incidencia_Origen

	A	B
1	ID_Ruta	Demanda
2	1	1509396,5
3	2	2017679,5
4	3	2017679,5
5	4	1529481,5
6	5	3266239
7	6	3266239
8	7	714834
9	8	514035,75

Figura 77. Fichero Demanda_Rutas.
Hoja Demanda_Rutas.

	A	B	C	D	E	F
1	ID_Par	Origen	Destino	POB_Origen	POB_Destino	s
2	1	1	34	5114,529284	43,17940105	1940,61468
3	2	1	36	5114,529284	0,2664727	0,09411031
4	3	1	37	5114,529284	83,84531814	209,35841
5	4	1	45	5114,529284	7040,57233	13414,4106
6	5	1	47	5114,529284	5251,440334	8323,1485
7	6	1	52	5114,529284	333,5809266	189,486902
8	7	1	57	5114,529284	5551,337881	5859,42379
9	8	1	59	5114,529284	5024,709803	4834,90405

Figura 78. Fichero Grav.
Hoja Grav

	A	B
1	ID	POB_TOT
2	1	5114,529
3	2	5991,121
4	3	4922,825
5	4	3100,166
6	5	3394,147
7	6	4399,398
8	7	5144,541
9	8	3138,568

Figura 79. Fichero POBi.
Hoja POB

10.2. MÉTODO DEL BALANCEO ITERATIVO

El método del balanceo iterativo, recogido en Ortúzar & Willumsen, 2011, requiere el cálculo sucesivo de matrices. Se establecen unos factores de escala de origen y líneas para reproducir los valores O_i y D_l :

$$g_p = \alpha_{i(p)} \cdot \lambda_{l(p)} \cdot g_p^0$$

$$\alpha_{i(p)} = \frac{O_{i(p)}}{\sum_{p=1}^P \lambda_{l(p)} \cdot g_p^0 \cdot \delta_{i,p}}$$

$$\delta_{i,p} = \begin{cases} 1, & \text{si } g_p = i \\ 0, & \text{si } g_p \neq i \end{cases}$$

$$\lambda_{l(p)} = \frac{D_{l(p)}}{\sum_{p=1}^P \alpha_{i(p)} \cdot g_p^0 \cdot \delta_{l,p}}$$

$$\delta_{l,p} = \begin{cases} 1, & \text{si } l = L_p \\ 0, & \text{si } l \neq L_p \end{cases}$$

Donde L_p representa el conjunto de líneas que unen el par p .

Imponiendo que se verifique la restricción relativa al vector de orígenes, para el paso $R+1$:

$$\sum_j g_p = O_{i(p)}$$

$$g_p^{R+1} = \alpha_{i(p)}^{R+1} \cdot \lambda_{l(p)}^R \cdot g_p^0$$

Se impone la restricción:

$$O_{i(p)} = \sum_j g_p^{R+1} = \sum_j \alpha_{i(p)}^{R+1} \cdot \lambda_{l(p)}^R \cdot g_p^0 = \alpha_{i(p)}^{R+1} \sum_j \lambda_{l(p)}^R \cdot g_p^0 =$$

$$= \frac{\alpha_{i(p)}^{R+1}}{\alpha_{i(p)}^R} \sum_j \alpha_{i(p)}^R \cdot \lambda_{l(p)}^R \cdot g_p^0 = A_i^{R+1} \cdot \sum_j g_p^R$$

Al ser la misma $\alpha_{i(p)}^{R+1}$ en todos los destinos, se puede sacar este término del sumatorio. Se multiplica y divide por $\alpha_{i(p)}^R$, obteniendo:

$$A_i^{R+1} = \frac{O_{i(p)}}{\sum_j g_p^R} = \frac{O_{i(p)}}{O_i^R}$$

$$g_p^{R+1} = A_i^{R+1} \cdot g_p^R$$

Se impone la restricción de líneas:

$$D_l = \sum_{p/l \in L_p} g_p^{R+1} = \sum_{p/l \in L_p} \alpha_{i(p)}^R \cdot \lambda_{l(p)}^{R+1} \cdot g_p^0 = \lambda_{l(p)}^{R+1} \sum_{p/l \in L_p} \alpha_{i(p)}^R \cdot g_p^0 =$$

$$= \frac{\lambda_{l(p)}^{R+1}}{\lambda_{l(p)}^R} \sum_{p/l \in L_p} \alpha_{i(p)}^R \cdot g_p^0 = B_l^{R+1} \cdot \sum_{p/l \in L_p} g_p^R$$

Al ser la misma $\lambda_{l(p)}^{R+1}$, se puede sacar este término del sumatorio. Se multiplica y divide por $\lambda_{l(p)}^R$, obteniendo:

$$B_l^{R+1} = \frac{D_l}{\sum_{p/l \in L_p} g_p^R}$$

$$g_p^{R+1} = B_{l(p)}^{R+1} \cdot g_p^R$$

De forma iterativa, si el conjunto de restricciones es compatible, Bregman, 1967, demuestra la convergencia del método.

10.3. CÓDIGO EN MATLAB

El balanceo iterativo se realiza para determinar la distribución de viajes que cumple las restricciones. Consiste en la definición de diferentes pasos y la aplicación continua de los mismos, creándose una iteración cada vez que se realicen todos y cada uno de estos ellos.

El método y el código permiten que no sea necesario guardar la estructura completa de la solución, ya que es un vector de escala a calcular por el obtenido hasta ese momento (la matriz previa del paso anterior).

El código desarrollado para obtener el vector resultado:

```

fc = xlsread('Procedure.xlsx','Matriz_Incidencia_PL');
fdemandalin=xlsread('Demanda_Rutas','Demanda_Rutas');
fOrig=xlsread('POBi.xlsx','POB');
fIncidOrig=xlsread('Procedure.xlsx','Matriz_incidencia_Origen');
fGrav=xlsread('Grav.xlsx','Grav');

nLineas= max(fc(:,2))
nParesOD= max(fIncidOrig(:,2));
nOrigs= max(fIncidOrig(:,1));
nreg= size(fc,1);

gammaLineas= sparse(fc(:,2),fc(:,3),ones(nreg,1),nLineas,nParesOD);

nreg=size(fIncidOrig,1);

gammaOrigenes= sparse(fIncidOrig(:,1),fIncidOrig(:,2),ones(nreg,1),nOrigs,nParesOD);

Or=zeros(nOrigs,1);
Pob=zeros(nOrigs,1);
Pob(fOrig(:,1))=fOrig(:,2);

g0=zeros(nParesOD,1);
g0(fGrav(:,1))=fGrav(:,6);
% g0 no es el valor inicial, sino el de la iteración anterior.

bl=zeros(nLineas,1);
bl(fdemandalin(:,1))=fdemandalin(:,2);

g=g0;

PobTot=sum(Pob);

EscalaOrigenes=zeros(nOrigs,1);
ixNoCeros=(Pob~=0);
ixlins=false(nLineas,nParesOD);

for lin=1:nLineas % Línea a Línea
    ixlins(lin,:)= gammaLineas(lin,:)=1 ;
end

```

```
for it=1:100

    % Impongo restricción Demanda Lineas una a una porque los pares
    % intervienen en varias lineas a la vez

    for itinterna=1:50

        for lin=1:nLineas % Línea a Línea
            pareslin=ixlins(lin,:);
            b0=gammaLineas(lin,:)*g0;
            EscalaLineas=b(lin)/(b0+0.0000000001);
            g(pareslin)=g0(pareslin)*EscalaLineas;
            g0=g;
        end

    end

    g0=g;

    % Impongo restricción Suma Origenes

    Tviajes=sum(g);
    Or=Tviajes/PobTot*Pob;
    Or0=gammaOrigenes*g0;

    EscalaOrigenes(ixNoCeros)=Or(ixNoCeros)./Or0(ixNoCeros);

    g=g0.*(gammaOrigenes'*EscalaOrigenes);

    g0=g;

end

xlswrite('resultado.xlsx',g)
xlswrite('comprobOrig.xlsx',[Or gammaOrigenes*g])
xlswrite('comprobLineas.xlsx',[bl gammaLineas*g])
```

En el inicio del desarrollo de este código se tomaba g0 como un vector de unos. Para que partieran de una matriz previa más realista, que no fuera equitativa para todos los pares, sino que tuviera en cuenta la población y los viajes, se pensó en realizar un proceso gravitacional.

Finalmente, el número de registros es de:

N.º registros	
Orígenes	253
Pares	11.257
Líneas	73

Tabla 29. Número de registros
Fuente: Elaboración propia

10.4. CONCLUSIONES

El código se ha redactado para que devuelva tres ficheros:

- El fichero “Resultados”: Devuelve el valor del vector g.

	A
1	3,44734E-05
2	1,67179E-09
3	2,13126E-06
4	1,03857E-05
5	6,44397E-06
6	3,36608E-06
7	4,5365E-06
8	3,74329E-06
9	0,061641001

Figura 80. Vector g

Fuente: Elaboración propia (MatLAB)

- El fichero “ComprobOrig”. Devuelve las columnas:

ComprobOrig	
1º Columna	O_r
2º Columna	$\gamma O_r \text{ígenes} * g$

Tabla 30. Columnas Fichero ComprobOrig

Debe cumplirse:

$$\Gamma_o \cdot g = O_r$$

	A	B
1	371190,273	371190,273
2	434809,471	434809,471
3	357277,235	357277,235
4	224996,557	224996,557
5	246332,411	246332,411
6	319289,163	319289,163
7	373368,424	373368,424
8	227783,582	227783,582
9	310402,596	310402,596

Figura 81. Fichero ComprobOrig

Fuente: Elaboración propia (MatLAB)

- El fichero “ComprobLíneas”. Devuelve las columnas:

ComprobRuta	
1º Columna	bl
2º Columna	$gammaLíneas * g$

Tabla 31. Columnas Fichero ComprobLíneas

Debe cumplirse:

$$\Gamma_L \cdot g = b_l$$

	A	B
1	1509396,5	1382955,38
2	2017679,5	1900463,94
3	2017679,5	1538991,63
4	1529481,5	1445633,74
5	3266239	3029315,62
6	3266239	3064353,68
7	714834	670431,612
8	514035,75	485369,497
9	514035,75	665483,56

Figura 82. Fichero ComprobLíneas

Fuente: Elaboración propia (MatLAB)

Se comprueba que la suma del vector g y la suma del vector O_r son iguales:

$$sum(g) = sum(O_r)$$

En cuanto al cumplimiento de las restricciones, el código devuelve el resultado exacto cuando la restricción se encuentra la última en el código. Es el caso de la ComprobOrig.

El otro conjunto de restricciones, ComprobLíneas, se cumple de forma aproximada dependiendo del número de iteraciones.

11. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

11.1. CONCLUSIONES GENERALES

El modelo de movilidad en la ciudad de Sevilla gravita principalmente sobre el vehículo privado, acarreado numerosos impactos desde el punto de vista funcional, socioeconómico y medioambiental:

- Incremento del consumo energético
- Aumento de la contaminación atmosférica
- Aumento del ruido
- Disminución de la seguridad viaria.
- Aumento de los costes de congestión.
- Aumento de la exclusión social.
- Efectos negativos sobre la salud.
- Ocupación creciente del espacio.
- Efecto barrera en la ciudad.
- Generación de costes externos.

De forma paralela, se conoce que una mayor oferta viaria acarrea una mayor demanda de tráfico, al convertir al vehículo privado en una opción más atractiva que la opción del transporte público que, además, vería disminuida su velocidad comercial al compartir el viario con el vehículo privado.

Por tanto, la aplicación exclusiva de políticas de infraestructuras no resolverá los problemas de movilidad y tráfico de la ciudad, sino el fomento de modos de transporte que hagan compatibles crecimiento económico, cohesión social y defensa del medio ambiente. De esta forma, se garantiza una mejor calidad de vida para los ciudadanos.

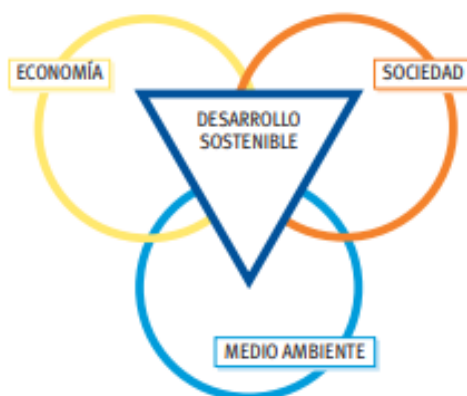


Figura 83. Movilidad Sostenible

Fuente: Guía para la implantación de Planes de Movilidad Urbana Sostenible

El diseño del transporte público deberá tener en cuenta la movilidad actual de los habitantes y visitantes de la ciudad, así como factores que provocarán un aumento de la movilidad urbana, como desarrollos y tendencias demográficas actuales, por ejemplo, el centro comercial y urbanización en Palmas Altas y la inmigración exterior hacia el área metropolitana. Por ello, es de gran importancia contar con datos de demanda actualizados para su optimización.

En este trabajo fin de grado se ha intentado profundizar en este conocimiento de la demanda de transporte público. Al no contar con información reciente, se ha intentado actualizar la información mediante diversos modelos de distribución y utilizando la herramienta TransCAD, maximizando así el uso de toda la información disponible.

11.2. LÍNEAS FUTURAS

La mayor deficiencia que se ha encontrado en la realización del proyecto es la falta de información actualizada. Recientemente, en los medios de comunicación, Diario de Sevilla, (2019) se han publicado algunos de los resultados de las encuestas de movilidad que se han realizado recientemente para elaborar el Plan de Movilidad Urbana Sostenible de Sevilla, aún en elaboración.

En un futuro, los resultados de dichas encuestas y las estrategias que se propongan en dicho Plan se harán públicos y será un buen momento para volver a analizar y caracterizar la movilidad de la ciudad en la actualidad.

Referencias

A continuación, se muestran las referencias bibliográficas agrupadas según el ámbito territorial de las mismas y ordenadas según orden de aparición en el documento.

- Referencias nacionales:
 - Sitio Web Instituto Nacional de Estadística
<https://www.ine.es/>
 - Portal Estadístico – Sede Electrónica de la DGT
https://sedeapl.dgt.gob.es/WEB_IEST_CONSULTA/
- Referencias autonómicas:
 - Sitio Web Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía
<http://www.ideandalucia.es/clientedescarga/>
- Referencias locales:
 - Centro de Gestión de la Movilidad – Ayuntamiento de Sevilla
<https://trafico.sevilla.org/>
 - Sitio Web Gerencia de Urbanismo
<https://www.urbanismosevilla.org/>
 - Sevilla en bici
<http://www.sevilla.org/sevillaenbici/>
 - Dictamen sobre Movilidad Sostenible en la ciudad de Sevilla
<https://www.sevilla.org/ayuntamiento/competencias-areas/area-de-economia-comercio-y-relaciones-institucionales/consejo-economico-y-social/pdf/dictamen-movilidad.pdf>
 - Plan de Transporte Metropolitano del Área de Sevilla.
https://ws147.juntadeandalucia.es/obraspublicasyvivienda/publicaciones/10%20TRANSPORTE/plan_transporte_metropolitano_area_sevilla/plan_de_movilidad_sostenible.pdf
 - Informe Anual SEVICI 2017.
<https://www.urbanismosevilla.org/areas/sostenibilidad-innovacion/sevilla-en-bici/ficheros/informes-sevici/informe-anual-sevici-2017/view>
 - Portal de Datos Abiertos de Sevilla
<http://datosabiertos.sevilla.org/>
- ❖ Relacionadas con TUSSAM:
 - Sitio Web TUSSAM
<http://www.tussam.es/>

- Memorias TUSSAM 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 y 2017.
<http://www.tussam.es/index.php?id=151>
- Catálogo TUSSAM 2017
http://tussam.es/fileadmin/uploads/pdf/Publicaciones/Nuevo_diseno_catalogo_2018__FIN_.pdf
- ❖ Relacionadas con el Consorcio de Transportes del Área Metropolitana de Sevilla:
 - Sitio Web Consorcio de Transportes Área Metropolitana de Sevilla.
<http://www.consorciotransportes-sevilla.com/>
 - Memoria 2017.
<http://www.consorciotransportes-sevilla.com/pdf/memoria/memoria2017.pdf>
- ❖ Relacionadas con Metro de Sevilla:
 - Sitio Web Metro de Sevilla.
<https://www.metro-sevilla.es/es>
 - Memoria 2017
https://www.metro-sevilla.es/sites/default/files/balance_anual_2017_v.3.pdf
- Otras referencias:
 - TransCAD. *User's Guide. Travel Demand Modeling with TransCAD 6.0*
 - Rolón R. (2009). *Manejo del software TransCAD especializado en transporte, logística y operaciones, Análisis de los recorridos de los vehículos del Transporte Público*. Centro de Investigaciones Viales.
 - *Encuesta Demanda de Movilidad de 2007*. Ayuntamiento de Sevilla.
 - Ortuzar, J. de D., and Willumsen, L.G. (2011). *Modelling Transport*. 4th ed. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, West Sussex, UK.
 - Bregman, L.M. (1967). Proof of convergence of Sheleikhovskii's method for a problem with transportation constraints. *USSR Comput. Math. & Math. Phys* 1, 191–204.
 - Guía práctica para la elaboración de Planes de Movilidad Urbana Sostenible
https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10251_Guia_PMUS_06_2735e0c1.pdf
 - Diario de Sevilla (2019).
https://www.diariodesevilla.es/sevilla/Encuesta-movilidad-Sevilla-barrios-periferia-generan-mitad-desplazamientos_0_1348965604.html
 - Diario de Sevilla (2018).
https://www.diariodesevilla.es/sevilla/Tussam-record-historico-demanda-mensual_0_1243376294.html