

# Proyecto Fin de Carrera Ingeniería Civil

## Analisis de la accesibilidad a la red de transporte público de Sevilla.

Autor: Daniel Garrocho López

Tutor: Jose Maria del Castillo Granados

**Dpto. de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y  
del Transporte**

**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**

**Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2021





Proyecto Fin de Carrera  
Ingeniería Civil

# **Analisis De La Accesibilidad A La Red De Transporte Público De Sevilla**

Autor:

Daniel Garrocho López

Tutor:

Jose Maria del Castillo Granados

Dpto. de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021



Analisis De La Accesibilidad A La Red De Transporte Público De Sevilla

Autor: Daniel Garrocho López

Tutor: Jose Maria del Castillo Granados

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2021

El Secretario del Tribunal



*A mi familia*

*A mis maestros*





# Agradecimientos

---

A mis padres, por permitirme estudiar la carrera que quise y donde quise.

A mi hermano Francis, por ayudarme en infinidad de ocasiones a lo largo de toda mi estancia en Sevilla.

A compañeros de piso, por haberme facilitado mi permanencia en Sevilla y, en general,

A todos mis compañeros de grado, por su permanente amabilidad y humildad a la hora de trabajar.

Agradecer también al tutor de este TFG, Jose Maria del Castillo, por haberme guiado a lo largo de la elaboración del mismo y, en especial, a la Dr. Cristina Torrecillas Lozano, por su tiempo en ayudarme al aprendizaje de los SIG, clave para abordar este Trabajo Fin de Grado.

A todos, de corazón, gracias.

*Daniel Garrocho López*

*Sevilla, 2021*



# Resumen

---

El presente Trabajo Fin de Grado que a continuación se expone, ha consistido en el estudio de la accesibilidad entre los distintos barrios de la ciudad de Sevilla mediante el uso exclusivo de TUSAM (bus y tranvía), es decir, el medio de transporte público más usado y de mayor cobertura en la capital hispalense.

Para ello, se han calculado mediante programas de sistema de información geográfica (QGIS en este caso) y con Google Maps, distancias y tiempos entre los centroides de cada barrio, con el fin de establecer de una forma analítica la conectividad/accesibilidad entre los barrios, prestando especial atención a las zonas que más viajes demandan (a priori aquellas donde más personas viven) y a las zonas que más viajes atraen (barrios donde más negocios y oportunidades hay).

También, y de forma gráfica, se han calculado las áreas de servicio de los distintos centroides mediante el uso de ArcGIS Pro, con el complemento Network Analyst. Por otro lado, y usando el mismo programa, se ha hecho un estudio del tiempo de acceso a las paradas del tranvía y del metro según las futuras ampliaciones marcadas en el Plan de Movilidad Urbana Sostenible.

El objetivo final de este TFG tiene un claro carácter social, ya que se busca ver que barrios tienen peor accesibilidad al centro y, por tanto, que barrios están más excluidos de las oportunidades.



# Abstract

---

This Final Degree Project has consisted in the study of the accessibility between the different neighborhoods of the city of Seville through the exclusive use of TUSSAM (bus and streetcar), that is, the most used means of public transport and of greater coverage in the capital of Seville.

For this purpose, distances and times between the centroids of each neighborhood have been calculated using geographic information system programs (QGIS in this case) and Google Maps, in order to establish in an analytical way the connectivity/accessibility between neighborhoods, paying special attention to the areas that demand more trips (the ones where more people live) and to the areas that attract more travelers (neighborhoods where there are more business and opportunities).

Also, and graphically, the service areas of the different centroids have been calculated using ArcGIS Pro, with the Network Analyst add-on. On the other hand, and using the same program, a study has been made of the access time to the streetcar and subway stops according to the future extensions marked in the Sustainable Urban Mobility Plan (PMUS).

The final objective of this TFG has a clear social character, since it seeks to see which neighborhoods have worse accessibility to the center and, therefore, which neighborhoods are more excluded from opportunities.

Translated with [www.DeepL.com/Translator](http://www.DeepL.com/Translator).



# Índice

---

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>ix</b>
<b>Resumen</b>	<b>xi</b>
<b>Abstract</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice</b>	<b>xv</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>xviii</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xx</b>
<b>1 ACCESIBILIDAD</b>	<b>1</b>
1.1. <i>Introduccion y marco teóirco.</i>	1
1.2. <i>Definiciones y medida de la accesibilidad.</i>	1
1.2.1. Concepto de accesibilidad según Hansen.	4
1.3. <i>Componentes de la accesibilidad</i>	5
1.4. <i>Aplicaciones de la accesibilidad</i>	6
<b>2 Red de Transporte Público TUSSAM</b>	<b>8</b>
2.1. <i>Red de Autobuses Urbanos Tussam</i>	8
2.1.1. <i>Introduccion</i>	8
2.2. <i>Lineas TUSSAM</i>	12
2.2.1. <i>Lineas transversales</i>	12
2.2.2. <i>Lineas radiales norte</i>	12
2.2.3. <i>Lineas radiales Este</i>	13
2.2.4. <i>Lineas Radiales Sur</i>	13
2.2.5. <i>Lineas radiales oeste</i>	14
2.2.6. <i>Lineas periféricas</i>	14
2.2.7. <i>Líneas De barrio</i>	14
2.2.8. <i>Líneas Circulares</i>	14
2.2.9. <i>Líneas Especiales (Aeropuerto y Lanzadera Cartuja)</i>	15
2.2.10. <i>Líneas Nocturnas</i>	15
2.3. <i>Metrocentro (Tranvia)</i>	16
<b>3 Estudio de Poblacion y Paradas</b>	<b>19</b>
3.1. <i>Poblacion</i>	19
3.2. <i>Comercios</i>	20
3.3. <i>Distribucion de paradas Tussam</i>	21
<b>4 Accesibilidad basada en datos de Google Maps</b>	<b>26</b>
4.1. <i>TAZ y Centroides</i>	26
4.2. <i>Calculo de Rutas en Google Maps</i>	28
4.2.1. <i>Penalizacion de los transbordos</i>	31

4.3. <i>Calculo de la Accesibilidad</i>	33
4.3.1. <i>Accesibilidad Geografica</i>	33
4.3.2. <i>Direcciones Privilegiadas</i>	38
4.3.3. <i>Radialidad</i>	40
4.3.4. <i>Resultados</i>	43
<b>5 ACCESIBILIDAD usando ArcGIS</b>	<b>45</b>
5.1. <i>Red Multimodal de Transporte de Sevilla</i>	45
5.1.1 <i>Datos Espaciales</i>	45
5.2. <i>Creacion del Dataset de Red Multimodal</i>	46
5.2.1 <i>Conectividad</i>	47
5.2.2 <i>Atributos de Red</i>	48
5.2.2.1 <i>Atributos de Coste</i>	48
5.2.2.2 <i>Atributos de Restriccion</i>	49
5.2.3 <i>Modos de Viaje</i>	49
5.3. <i>Areas de servicio (resultados)</i>	50
5.3.1. <i>Terminales y estaciones de cercanías.</i>	57
<b>6 Plan de MOVILIDAD de SEVILLA</b>	<b>60</b>
6.1. <i>Objetivos</i>	60
6.2. <i>Diagnostico</i>	61
6.2.1. <i>Vehiculos privados</i>	61
6.2.2. <i>Cercanias</i>	61
6.2.3. <i>Metro</i>	61
6.2.4. <i>Autobuses metropolitanos</i>	62
6.2.5. <i>TUSSAM</i>	62
6.2.6. <i>Distritos</i>	62
6.3. <i>Medidas</i>	63
6.3.1. <i>Ampliacion del Tranvia (Metrocentro).</i>	63
6.3.2. <i>Construccion de 3 nuevas lineas de metro.</i>	64
6.3.3. <i>BTR y cambio de líneas TUSSAM.</i>	67
<b>7 Conclusiones</b>	<b>70</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>71</b>





# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Características del Metrocentro.	17
Tabla 2. Matriz O/D Tiempos de Viaje.	30
Tabla 3. Accesibilidad.	33
Tabla 4. Matriz O/D Distancia.	34
Tabla 5. Accesibilidad Geografica, Poblacion y precio medio del suelo.	36
Tabla 6. Velocidades en km/h.	39
Tabla 7. Resultados estadísticos de las graficas.	44



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1-1. Componentes de la accesibilidad según Geurs.	6
Figura 1-2. Relación entre movilidad, accesibilidad y viaje.	7
Figura 2-1. Líneas TUSSAM.	8
Figura 2-2. Paradas TUSSAM	9
Figura 2-3. Explotación de las líneas de autobús.	10
Figura 2-4. Viajeros anuales bus TUSSAM	11
Figura 2-5. Líneas bus urbano TUSSAM	16
Figura 2-6. Línea T1 Metrocentro	18
Figura 3-1. Densidad Población de Sevilla	19
Figura 3-2. Densidad Población en mallas.	20
Figura 3-3. Página inicial ide. Sevilla	20
Figura 3-4. Número de establecimientos en Sevilla.	21
Figura 3-5. Proceso de QGIS Contar puntos en polígonos.	22
Figura 3-6. Parámetros de control del proceso Contar puntos en polígonos.	22
Figura 3-7. Simbología graduada de capa en QGIS	23
Figura 3-8. Número de paradas TUSSAM por mallas.	23
Figura 3-9. Número de paradas TUSSAM por barrios.	24
Figura 3-10. Número de Paradas TUSSAM por distritos.	24
Figura 4-1. Centroides y radio de influencia de 1 km	26
Figura 4-2. Herramienta de Geoproceso Buffer en QGIS	27
Figura 4-3. Parámetros de control de Buffer	27
Figura 4-4. Centroides situados en Google Maps	28
Figura 4-5. Apartado de Rutas en Google Maps.	28
Figura 4-6. Ruta Macarena-Bellavista.	29
Figura 4-7. Penalización en el tiempo de viaje por transbordo.	31
Figura 4-8. Penalizaciones	32
Figura 4-9. Herramienta de análisis Matriz de distancia.	35
Figura 4-10. Parámetros de análisis Matriz de Distancia	35
Figura 4-11. Accesibilidad	36
Figura 4-12. Accesibilidad Ponderada por la Poblacion	37
Figura 4-13. Precio del suelo-Accesibilidad.	37
Figura 4-14. Inverso de la accesibilidad frente a la distancia.	38
Figura 4-15. Velocidad media frente a distancia.	38
Figura 4-16. Carril bus en C/Torneo	40
Figura 4-17. Código usado en MATLAB para el cálculo de los ángulos.	41

Figura 4-18. Velocidad frente a ángulos.	41
Figura 4-19. Velocidad frente a ángulos sin los centroides del Distrito Triana.	42
Figura 4-20. Velocidad frente a ángulos de todos los pares.	42
Figura 5-1. Viario Urbano de Sevilla.	46
Figura 5-2. Página principal de la herramienta Network Analyst.	47
Figura 5-3. Conectividad entre los modos de transporte.	47
Figura 5-4. Atributos de Red.	48
Figura 5-5. Modo de viaje	50
Figura 5-6. Áreas de Servicio.	50
Figura 5-7. Características de la capa Área de Servicio.	51
Figura 5-8. Área de Servicio NERVION.	51
Figura 5-9. Área de Servicio BELLAVISTA.	52
Figura 5-10. Área de Servicio CARTUJA.	52
Figura 5-11. Área de Servicio CASCO ANTIGUO.	52
Figura 5-12. Área de Servicio CERRO DEL AGUILA.	53
Figura 5-13. Área de Servicio HELIOPOLIS.	53
Figura 5-14. Área de Servicio MACARENA.	53
Figura 5-15. Área de Servicio PARQUE ALCOSA	54
Figura 5-16. Área de Servicio PINO MONTANO.	54
Figura 5-17. Área de Servicio PORVENIR.	54
Figura 5-18. Área de Servicio SAN JERONIMO.	55
Figura 5-19. Área de Servicio SAN PABLO.	55
Figura 5-20. Área de Servicio SANTA JUSTA.	55
Figura 5-21. Área de Servicio SEVILLA ESTE.	56
Figura 5-22. Área de Servicio TIRO DE LINEA.	56
Figura 5-23. Área de Servicio TORREBLANCA-PALMETE.	56
Figura 5-24. Área de Servicio TRIANA-LOS REMEDIOS.	57
Figura 5-25. Mapa de la red ferroviaria y de metro de Sevilla	57
Figura 5-26. Estaciones de cercanías en Sevilla.	58
Figura 5-27. Red de cercanías de Sevilla	58
Figura 5-28. Áreas de servicio de las estaciones de cercanías en coche.	58
Figura 5-29. Áreas de servicio de las terminales e intercambiadores.	59
Figura 6-1. Documentos del PMUS.	60
Figura 6-2. Actual y futuras líneas del Metrocentro.	63
Figura 6-3. Infografía sobre la actuación en el Metrocentro.	63
Figura 6-4. Accesibilidad a pie a las paradas de Tranvía.	64
Figura 6-5. Línea 1 del Metro de Sevilla.	65
Figura 6-6. Mapa futuro del metro completo de Sevilla con 4 líneas	65
Figura 6-7. Línea 1 actual del Metro	66

Figura 6-8. Línea 2 futura del Metro.	66
Figura 6-9. Línea 3 futura del Metro.	66
Figura 6-10. Línea 4 radial del Metro.	66
Figura 6-11. Accesibilidad a las futuras paradas de Metro en intervalos de 5, 10 y 15 minutos andando.	67
Figura 6-12. Infografía sobre la futura línea BTR Sevilla Este-Nervión.	68
Figura 6-13. Cambios en los recorridos	68
Figura 6-14. Manifestación en el centro de Sevilla en contra del cambio de recorrido de la Línea 1.	69
Figura 6-15. Llamada a una manifestación en contra del cambio de la Línea 1.	69



# 1 ACCESIBILIDAD

---

## 1.1. Introducción y marco teórico.

La accesibilidad, según la RAE, se define como:

“Condición que deben cumplir los entornos, productos y servicios para que sean comprensibles, utilizables y practicables por todos los ciudadanos, incluidas las personas con discapacidad”.

Así pues, la accesibilidad en sí es un concepto abstracto, no es algo que se pueda ver o tocar, pero sabemos que está ahí. Aplicado al transporte, la accesibilidad puede hacer referencia a dos conceptos. Un primer concepto, relacionado con la facilidad con la que un individuo puede desplazarse desde un origen  $i$  hacia un destino  $j$  (medido bien como distancia o como tiempo) y, un segundo concepto, relacionado con la capacidad que tienen las personas con discapacidad para acceder a un transporte público (autobús, tren, taxi, etc.)

El presente trabajo trata sobre ese primer concepto de accesibilidad aplicado al transporte, es decir, como de fácil lo tiene una persona para ir de un sitio a otro. En especial, se tratará como de fácil puede un individuo moverse entre los distintos barrios de Sevilla usando exclusivamente TUSAM (líneas de bus regulares + tranvía) como medio de transporte. Los barrios se han modelizado como centroides (punto imaginario de donde parten y llegan todos los viajes), en el cual se ha supuesto que en un radio de 1 km a la redonda del centroide, el individuo iría andando a su lugar de destino y no tomaría un TUSAM.

Se ha decidido usar TUSAM ya que es el medio de transporte público que más kilómetros/líneas ofrece y que a más barrios llega, a diferencia por ejemplo del metro que solo ofrece una línea hasta el momento. (Una persona que viva en San Jerónimo/Pino Montano/Macarena no se le ocurriría usar el metro para desplazarse a otras zonas de Sevilla claro está).

Por difícil que pueda parecer, el concepto de accesibilidad en el transporte no está para nada depurado y ni mucho menos estudiado en su totalidad (cada autor propone una fórmula distinta para calcular la accesibilidad). Sigue pues habiendo muchas discrepancias en la propia definición de accesibilidad e incluso en cómo se mide dicha accesibilidad (ya que, tal y como se comentó con anterioridad, el estudio de la accesibilidad es relativo, no tiene unidades).

Así pues, antes de empezar con el estudio cuantitativo y cualitativo de la accesibilidad, se muestra a continuación una serie de definiciones y de medidas de la accesibilidad extraídas de distintas webs y de artículos de investigación.

## 1.2. Definiciones y medida de la accesibilidad.

Según los apuntes de José María del Castillo Granados (tutor de este TFG) para la asignatura Terminales e Intercambiadores, impartida en el 4º curso del grado en Ingeniería Civil, una definición de accesibilidad sería:

**Accesibilidad:** facilidad con la que un individuo puede desplazarse o bien un producto puede ser llevado a un lugar determinado. Para discapacitados la accesibilidad es también la facilidad con la que se pueden desplazar por la red de transportes.

La accesibilidad en sí tiene suma importancia para las personas: poder acceder a ofertas de trabajo, de ocio, educativa o sanitaria, así como importancia para las mercancías: poder acceder a un mayor mercado generando bienestar para las personas y economías de escala.

En ambos casos la accesibilidad tiene fuertes implicaciones económicas y sociales. En general, las áreas más



accesibles tienen una ventaja competitiva clara sobre las demás, lo que a largo plazo puede generar una gran desigualdad frente a las áreas más remotas.

A modo de resumen, está claro que la accesibilidad no se limita solo al mundo del transporte, sino que tiene un fuerte carácter social y económico. Esta, entre otras razones, fue una de las razones para elegir este tema como TFG.

Por otro lado, en el artículo *“La Accesibilidad Regional Y El Efecto Territorial De Las Infraestructuras De Transporte. Aplicación En Castilla-La Mancha”* redactado por Héctor Samuel Martínez Sánchez-Mateos en el año 2020, encontramos también definiciones muy interesantes:

*“La accesibilidad es, etimológicamente, «calidad de accesible». Johnston la define como «la oportunidad relativa de interacción y contacto». En la práctica se suele considerar como la mayor o menor facilidad para acceder de un lugar a otro. Es, en definitiva, una cualidad del territorio que adquiere sentido al comparar diferentes puntos del mismo entre sí. Ha sido y sigue siendo, además, uno de los temas de interés más relevantes en la Geografía del Transporte, acaparando multitud de estudios y análisis al respecto (Willigers, 2006: 54).”*

*“[...] la accesibilidad es una propiedad territorial que adquiere sentido al evaluar las diferencias de, al menos, dos puntos de un territorio. Este razonamiento nos ubica directamente en un análisis que establece relaciones de jerarquía, puesto que la accesibilidad se expresará en términos de «mayor que» o «menor que» dentro del sistema considerado: necesariamente habrá puntos más accesibles que otros, ya que no todos disponen de la misma localización. Seremos cautos en este aspecto e intentaremos no caer en un debate entre «espacios ganadores» y «espacios perdedores» que nos situaría en una lógica alejada de los objetivos planteados.”*

En este segundo apartado extraído del artículo se hace referencia a que, debido a su lejanía con el centro de la urbe, hay zonas que ya de por sí tendrán “mala” accesibilidad. De esta forma, un estudio sobre la accesibilidad debe sacar datos relativos, nunca absolutos, ya que no todas las zonas parten con la misma ventaja.

Si llevamos este último comentario al caso práctico del TFG, está claro que hay zonas como Torreblanca, Sevilla Este o El Cerro del Águila que tienen mala accesibilidad debido a su lejanía, y áreas como el Casco Histórico que debido a su posición céntrica tiene buena accesibilidad con el resto de zonas, pero, ¿cómo de mala y de buena es esa accesibilidad usando TUSAM? A esta pregunta se intentara responder con este TFG.

Continuando con el artículo sobre la accesibilidad regional en Castilla-La Mancha:

*“La accesibilidad como variable de análisis territorial une espacio (localización) y movimiento, además de vincularse de forma directa con la cohesión interna de las regiones (Gutiérrez et al., 2006). Las soluciones metodológicas para el estudio de la accesibilidad son muy diversas. Desde la accesibilidad topológica o espacial de la Geografía Neopositivista, hasta la accesibilidad individual de las personas de movilidad reducida o limitada, encontramos las más diversas conceptualizaciones y herramientas analíticas. A pesar de ello, la accesibilidad es frecuentemente malentendida y definida de forma dispersa a través de índices excesivamente sintéticos (Geurs y van Wee, 2004: 127).*

*Actualmente podemos distinguir entre dos conceptualizaciones diferenciadas sobre la accesibilidad y, por tanto, dos grupos de estudios diferenciados. La raíz de esa diferencia radica en el sujeto al que se aplica la cualidad de accesible.*

*El primero de ellos se centra en la **accesibilidad individual o personal**, entendida como la capacidad de movilidad individual y el acceso a servicios. Se relaciona con concepciones sociales del espacio y la Geografía, puesto que habla de exclusión y distancia social. Este tipo de estudios argumentan que la separación espacial tan sólo es un tipo de separación (Farrington y Farrington, 2005: 2). Podemos incluir estos enfoques dentro del estudio del bienestar, y además de la escala urbana también tratan la dicotomía urbano-rural y la diferenciación en el acceso a servicios entre ambos.*

*La otra conceptualización de la accesibilidad está más relacionada con el espacio concreto que con el espacio social, es la **accesibilidad de los lugares**. Parte de una idea más continua de espacio y distancia, aunque ésta no sea sólo distancia lineal. Se inicia con los análisis topológicos abstractos neopositivistas y ha evolucionado hasta la actualidad complementándose con otros matices. En su forma más abstracta, la accesibilidad combina dos elementos: la localización en una superficie en función de posibles destinos y las*

*características de la red de transporte (Gutiérrez, 2001: 231). ”*

El presente TFG tratará, tal y como se comentó al principio, sobre la accesibilidad individual o personal, donde entran en juego factores como población de la zona o número de paradas de bus en un área. Esta última cualidad es importante ya que, puede darse el caso de que una persona viva en una zona céntrica, pero que tenga muy pocas paradas alrededor suyo, por lo tanto ese individuo tendrá una mala accesibilidad a otros barrios de la ciudad.

Para terminar con los conceptos que ofrece este interesante artículo, en él se habla (tal y como se comentó también al principio de este trabajo) de la accesibilidad como un término “abierto” a interpretaciones en función de los objetivos planteados, proponiendo un marco general en el cual cada investigador puede insertar sus propios indicadores. Estas interpretaciones se asemejan a una serie de aproximaciones conceptuales:

- **Aproximaciones relacionadas con las infraestructuras:** las medidas pretenden evaluar el acceso a la red dentro de un territorio. Son análisis de redes que unen las consideraciones de la Teoría de Grafos con los principios de planificación. Fundamentalmente se basan en la oferta de transporte. La accesibilidad topológica de red es el cálculo más frecuente dentro de este grupo.
- **Aproximaciones orientadas a la actividad:** de carácter más económico y con tres ámbitos claros de análisis; el potencial de atracción, la accesibilidad presente en función de los viajes que soporta la red y los patrones de movimiento. Para estos enfoques no es sólo importante la localización, sino también los flujos y el sentido de los mismos. Es una accesibilidad centrada en la demanda.
- **Aproximaciones mixtas:** Unen características de ambas, sin profundizar excesivamente en ninguno de los dos enfoques anteriores.

En lo que ha medida de accesibilidad se refiere, este artículo muestra varias fórmulas de gran interés, las cuales han sido usada también para este trabajo.

Para el cálculo concreto de la accesibilidad urbana por carretera se emplea el indicador de accesibilidad que responde a la fórmula:

$$A_i = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n d_{ij}}{n-1} \quad (1)$$

Dónde:

A es la accesibilidad del punto  $i$ , que es el resultado de la suma de las distancias desde este punto al resto de puntos  $j$  del sistema y dividida entre el total de la muestra menos uno (el propio punto  $i$ ). La distancia  $d_{ij}$  puede estar expresada en la unidad de medida que consideremos más oportuna, en este caso elegimos tiempo en minutos al contener información sobre distancia y capacidad de transporte en función de otras características (calidad de red, servicios, frecuencias, etc.).

La elección de tomar las distancias como tiempos de trayecto es la más óptima, ya que depende de:

- La **localización de los nodos:** que introduce el concepto de distancia física tradicional,
- El **trazado de las carreteras:** cuanto más se aleje de la línea recta, menos directas sean las comunicaciones, más distancia de red y, por tanto, más tiempo empleado en el traslado, y
- La **velocidad de circulación:** que depende de la calidad de la red, puesto que la velocidad de las vías de doble calzada es superior a las de calzada única y, dentro de estas existen diferencias.

Para introducir el valor diferencial de la capacidad de atracción de unos núcleos sobre otros por motivos

funcionales se pondera la ecuación (1) incluyendo las poblaciones de origen y destino como factor de atracción. Para este caso adoptamos una formulación de carácter gravitatorio que muestra el potencial de accesibilidad:

$$P_i = \sum_{j=1, j \neq i}^n \frac{M_j}{C_{ij}} \quad (2)$$

Donde:

P es el potencial de accesibilidad del punto  $i$ , que se calcula del cociente entre la masa o el potencial de atractivo de los potenciales destinos  $j$  ( $M_j$ ) y la fricción de la distancia ( $C_{ij}$ ) en el denominador, que en este caso está compuesto por el valor en tiempo anteriormente calculado.

Ambos cálculos de la accesibilidad basadas en la localización (ciudades) se pueden normalizar en matrices territoriales que pueden combinarse con otras capas de información.

Una versión corregida (ponderada) de (1) sería, proporcionada por el tutor del TFG Jose Maria del Castillo Granados:

$$A_i = \frac{\alpha_i \sum D_{ij}}{n-1} \quad \text{donde } \alpha_i = \frac{P_i}{P} \text{ y } P_i = \text{Población de la zona } i$$

A su vez, y con el fin de compararla con la accesibilidad vía TUSAM, se puede calcular la accesibilidad geográfica:

$$B_i = \frac{\sum d_{ij}}{n-1} \quad \text{con } d_{ij} = \text{distancia en línea recta entre centroides.}$$

### 1.2.1. Concepto de accesibilidad según Hansen.

Cabe mencionar en este primer capítulo del TFG el artículo escrito por Walter G. Hansen (1959) y titulado “*How Accessibility Shapes Land Use*”, un artículo realmente novedoso para la época, en el que se habla por primera vez del concepto de accesibilidad aplicado al transporte. En el, Hansen define la accesibilidad como el potencial de oportunidades para la interacción, una definición que según Hansen difiere de la definición de accesibilidad como medida de la intensidad de las posibilidades de interacción. En términos generales, la accesibilidad según Hansen es la medida de la distribución espacial de actividades alrededor de un punto, ajustada a la habilidad y al deseo de las personas o empresas de superar dicha separación geográfica.

En el artículo, Hansen aplica el concepto de la previsión de desarrollo en el empleo en Washington D.C., por lo que propone la siguiente fórmula para calcular la accesibilidad:

$$A_{1-2} = \frac{S_2}{T_{1-2}^x} \quad \text{dónde:}$$

$A_{1-2}$  = medida relativa de la accesibilidad de la zona 1 hacia una actividad localizada en la zona 2

$S_2$  = tamaño de la actividad en la zona 2 (número de empleo, de personas, etc.)

$T_{1-2}$  = tiempo de viaje (travel time) o distancia entre la zona 1 y la 2

$x$  = exponente que describe el efecto del tiempo de viaje entre las zonas.

La fórmula establece que la accesibilidad desde un punto 1 hacia una zona 2 con una actividad particular (empleo por ejemplo), es directamente proporcional al tamaño de la actividad en la zona 2 (número de puestos de trabajo) e inversamente proporcional a alguna función que tenga en cuenta la distancia que separa el punto 1 del área 2. [1]

### 1.3. Componentes de la accesibilidad

En el artículo escrito en 2004 por Karst T. Geurs y van Wee titulado “*Transport Planning With Accessibility Indices in the Netherlands*” [2], los autores entienden que todo indicador de accesibilidad empleado se desagrega en cuatro componentes; **uso del suelo, transporte, el aspecto temporal y la componente individual**. En función de los objetivos del análisis unas componentes tendrán más peso sobre otras y, del mismo modo, las variables, indicadores, formulaciones y fuentes necesarias dependerán asimismo de estas componentes.

La componente del **uso del suelo** refleja el sistema de uso del suelo, que consiste en (a) la cantidad, calidad y distribución espacial de las oportunidades que se ofrecen en cada destino (puestos de trabajo, comercios, instalaciones sanitarias, sociales y recreativas, etc.), (b) la demanda de estas oportunidades en los lugares de origen (por ejemplo, donde viven los habitantes), (c) la confrontación de la oferta y la demanda de oportunidades, que puede dar lugar a una competencia por actividades con capacidad restringida, como las vacantes en los puestos de trabajo o las camas en los hospitales.

La componente de **transporte** describe el sistema de transporte, expresado como la inutilidad para un individuo de cubrir la distancia entre un origen y un destino utilizando un modo de transporte específico; se incluyen la cantidad de tiempo (viaje, espera y aparcamiento), los costes (fijos y variables) y el esfuerzo (incluyendo la fiabilidad, el nivel de comodidad, el riesgo de accidente, etc.). Esta inutilidad es el resultado de la confrontación entre la oferta y la demanda. La oferta de infraestructuras incluye su ubicación y sus características (por ejemplo, la velocidad máxima de desplazamiento, el número de carriles, los horarios del transporte público o los costes de desplazamiento).

La componente **temporal** refleja la dinámica temporal en los impedimentos de transporte y las limitaciones temporales de los individuos, como la disponibilidad de oportunidades en diferentes momentos del día, y el tiempo disponible para que los individuos participen en ciertas actividades (por ejemplo, trabajo u ocio). Está claro pues, y es entendido por muchos usuarios, que la accesibilidad de un punto a otro depende en gran medida de la hora y el momento del día en que se realice. Hoy en día, estas variaciones temporales de la accesibilidad a la red de carreteras pueden examinarse utilizando las velocidades de conducción en tiempo real en las redes de carreteras, basadas en las mediciones de GPS de teléfonos móviles (Google Maps) y sistemas de navegación como TomTom o NavTeq.

La componente **individuo** refleja las necesidades (en función de la edad, los ingresos, el nivel educativo, la situación del hogar, etc.), las capacidades (en función de la condición física de las personas, la disponibilidad de los modos de viaje, etc.) y las oportunidades (en función de los ingresos de las personas, el presupuesto para viajes, el nivel educativo, etc.) de las personas para viajar y acceder a las oportunidades distribuidas espacialmente.

Estas 4 componentes interactúan de múltiples maneras, como se ilustra en la Figura 1-1. Por ejemplo, los cambios en el sistema de transporte (por ejemplo, inversiones en nuevas infraestructuras) pueden inducir

cambios en el sistema de uso del suelo (decisiones de localización de los hogares y las empresas) y viceversa.

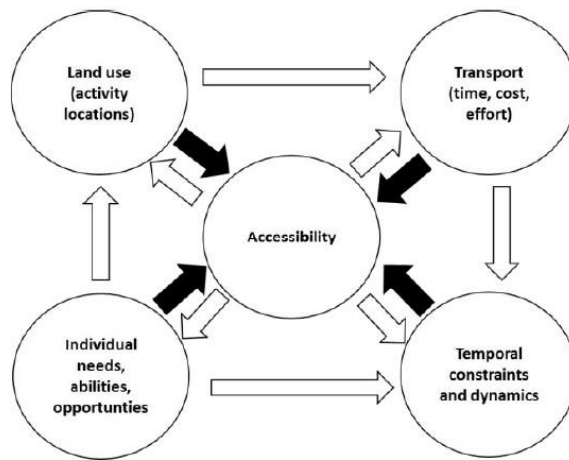


Figura 1-1. Componentes de la accesibilidad según Geurs.

## 1.4. Aplicaciones de la accesibilidad

La accesibilidad es una técnica útil tanto para la planificación como para la investigación. En el ámbito de la planificación, se ha utilizado, o se ha propuesto, como herramienta (a menudo en combinación con otras técnicas) tanto para los problemas de **transporte** como para los de **ordenación del territorio**. En la planificación del transporte se ha usado, por ejemplo, en la evaluación de varios sistemas alternativos de autobuses, de una propuesta de línea de ferrocarril o en el desarrollo general de la política de transporte de una zona. En la planificación del uso del suelo se ha utilizado por ejemplo, para identificar las mejores ubicaciones de los principales equipamientos de, como escuelas, hospitales, grandes centros administrativos, comerciales y de ocio.

La mayoría de los ejemplos citados se refieren a la utilización de recursos adicionales, pero la accesibilidad es igualmente útil para considerar el mejor uso de los recursos existentes o como asignar los recursos reducidos. Una ventaja especial del uso de la accesibilidad en la planificación es que permite a los planificadores del transporte considerar soluciones no relacionadas con el transporte para sus problemas [3].

Tal y como se comentó en la introducción de este TFG, el estudio de la accesibilidad al transporte tiene un fuerte carácter social y económico, ya que esta nos permite ver por ejemplo que zonas de una gran urbe se encuentran más excluidas de las oportunidades laborales y de ocio.



## 2 RED DE TRANSPORTE PÚBLICO TUSSAM

### 2.1. Red de Autobuses Urbanos Tussam

#### 2.1.1 Introducción

Transportes Urbanos de Sevilla Sociedad Anónima Municipal (TUSSAM), es una empresa pública creada por el Excmo. Ayuntamiento de Sevilla en 1975, encargada de la prestación del servicio de Transporte Público urbano colectivo de la ciudad de Sevilla.

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.

TUSSAM da servicio a la ciudad de Sevilla, cuya población se sitúa en torno a los 700.000 habitantes (censo 2020) distribuidos sobre una extensión de 142 km<sup>2</sup>, y lo hace mediante una red de **44 líneas diurnas** (contando la línea 35, creada recientemente, y sin tener en cuenta la línea C5, deshabilitada hace poco), además de **10 nocturnas**. La longitud total de la red alcanza alrededor de 690 km.

La flota consta de 413 autobuses (344 coches en hora punta) y 4 tranvías, a los que hay que sumar otros 17 vehículos de las líneas contratadas (líneas 29, 16 y C6). [4]

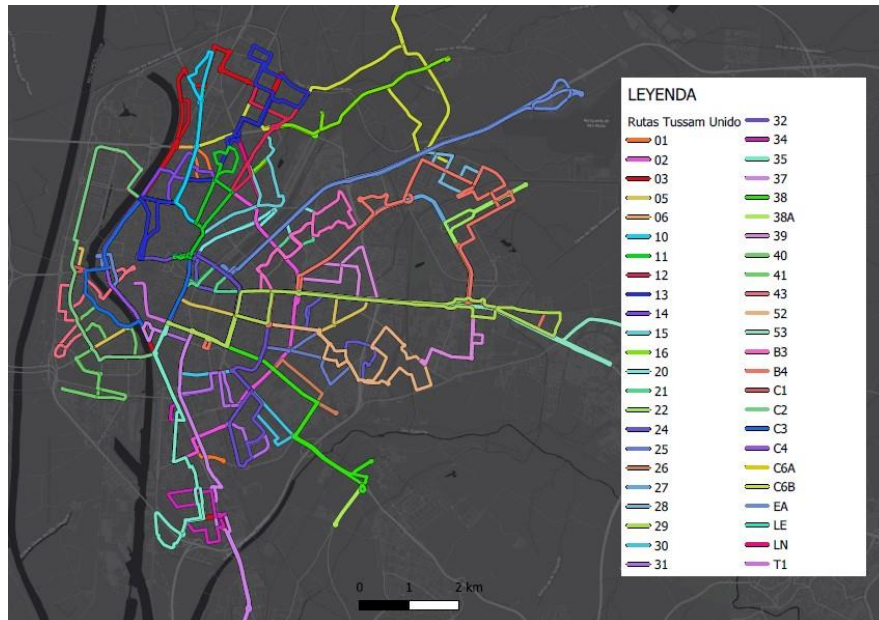


Figura 2-1. Líneas TUSSAM

Fuente: Elaboración propia en QGIS

En la actualidad cuentan con 1040 paradas con marquesinas y/o postes de parada, cuya ubicación se puede observar en la *Figura 2-2*. Cerca del 65% de estas paradas están equipadas con marquesinas para proporcionar mayor confort al usuario, coincidiendo con las paradas de mayor subida de viajeros. La distancia media entre

las paradas es de 300 metros, y el **95% de los habitantes tienen una parada a menos de 300 metros**. Este último dato es de especial importancia para hacer un estudio de la accesibilidad, el cual se analizará con más detalle en el apartado 3 de este TFG.

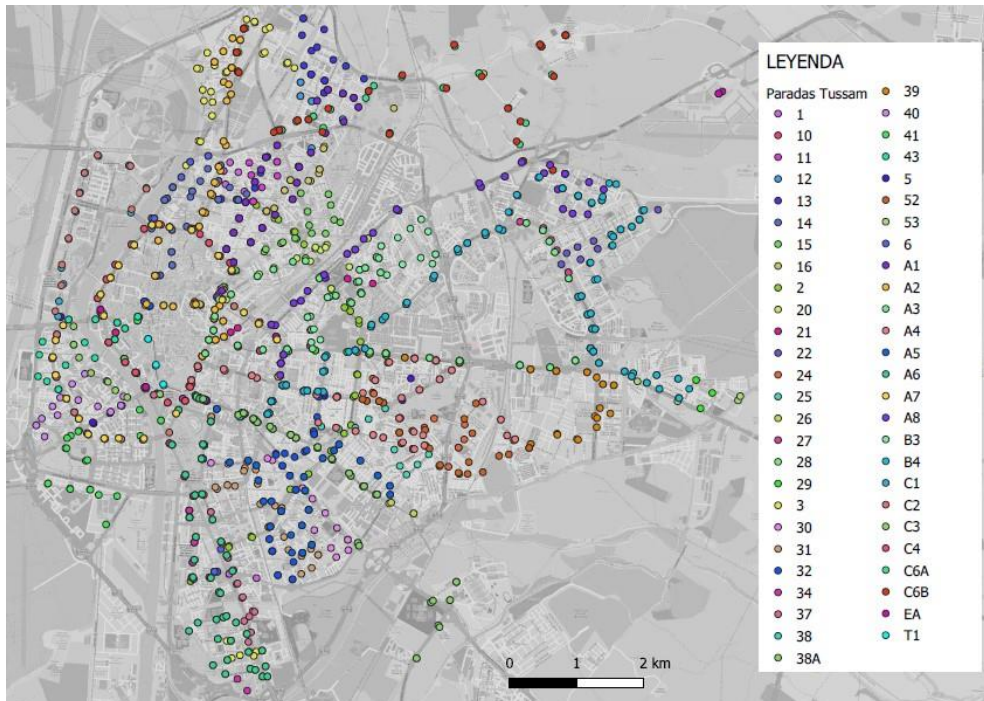


Figura 2-2. Paradas TUSAM

Fuente: Elaboración propia en QGIS

La frecuencia media de paso de los vehículos es de 9,15 vehículos por hora, generando un intervalo de 13 minutos entre vehículos aproximadamente. La velocidad comercial de los autobuses se sitúa en 12,94 km/h. [4]

#### ▪ Demanda

La demanda se ha situado en 83.362.555 viajeros transportados (año 2019), 1.864.672 viajeros más que el año 2018 (+2,24%), siendo la mayor demanda de los últimos diez años.

Cabe mencionar en este punto que para la muestra de estos datos, se han elegido los de la memoria de TUSAM de 2019 y no 2020 por dos razones, una por la no disponibilidad de los datos de 2020 en la web aun, y otra y mas importancia, por la clara repercusión de la COVID-19 en el uso del transporte publico en el año pasado.

Los ratios de explotación también han tenido una mejora en 2019: el ratio viajeros/km se sitúa en 4,32, un 1,39% superior a 2018. En cuanto al de viajeros/vuelta, asciende a 65,35, un 1,92% superior a 2018.

Por líneas, la **2 (Barqueta - Polígono San Pablo - V.Rocío – Heliópolis)** ha sido la de mayor demanda con más de 7 millones de viajeros transportados, seguida por la línea 27 (Plaza del Duque - Sevilla Este) con 4,36 millones, las líneas 32 (Plaza del Duque - Polígono Sur) y C2 Circular Exterior, con 3,95 millones de viajeros cada una, la C1 Circular Exterior con 3,90 millones, la línea 13 (Plaza del Duque - Pino Montano) con 3,72 millones y la línea tranviaria T1 con 3,82 millones de viajeros.



La línea Este (Prado de San Sebastián - Sevilla Este) ha transportado durante este año 1.137.178 viajeros, mientras que la línea Norte (Prado de San Sebastián - Pino Montano), instaurada en 2018, ha transportado en 2019, 1.229.073 viajeros.

Entre las líneas que experimentan mayores incrementos de demanda anual destacan, en valores absolutos, la ya mencionada línea Norte, la línea Especial Aeropuerto con 193.417 viajeros (17%), la 5 (Puerta Triana - Santa Aurelia) con 156.180 viajeros (6%), la 6 (Glorieta San Lázaro-Hospital Virgen del Rocío) con 135.876 viajeros (4,2%) y la 2 (Barqueta- Polígono San Pablo-Hospital Virgen del Rocío-Heliópolis) con 133.815 viajeros (1,9%). En porcentaje, además de la línea Especial del Aeropuerto destaca la línea 38 (Universidad Pablo de Olavide-Prado de San Sebastián) con el 7,7% y la línea 52 (San Bernardo-Palmete) con el 6,1%.

Línea	Vueltas reales	Velocidad comercial	Km	Viajeros	Viajeros/km	Viajeros/vuelta
1	31.813,30	11,17	527.459	3.026.180	5,74	95,12
2	42.623,80	11,77	855.310	7.060.568	8,25	165,65
3	26.082,10	14,08	1.030.669	3.651.192	3,54	138,99
5	31.718,90	12,35	612.968	2.783.151	4,54	87,74
6	29.897,00	12,01	682.200	3.354.195	4,92	112,19
10	32.988,90	11,68	349.590	1.894.134	5,42	57,42
11	27.475,70	10,37	188.105	839.951	4,47	30,57
12	46.978,80	11,05	534.440	2.667.414	4,99	56,78
13	46.189,40	12,13	738.903	3.729.439	5,05	80,74
14	24.807,70	10,70	174.502	852.089	4,88	34,35
15	25.697,50	10,64	208.925	1.019.585	4,88	39,68
20	25.787,20	11,66	281.392	993.467	3,53	38,53
21	28.641,60	11,56	442.772	1.770.908	4,00	61,83
22	24.287,60	15,47	597.268	1.784.284	2,99	73,46
24	29.411,00	11,57	420.476	2.072.132	4,93	70,45
25	30.839,90	12,25	304.631	1.107.917	3,64	35,92
26	33.913,50	11,52	286.171	1.484.093	5,19	43,76
27	40.829,20	13,13	835.235	4.361.384	5,22	106,82
28	38.788,20	15,90	762.118	2.336.886	3,07	60,25
30	25.581,00	12,00	239.962	724.100	3,02	28,31
31	22.964,00	12,20	274.550	643.442	2,34	28,02
32	40.181,80	11,06	633.108	3.959.268	6,25	98,53
34	30.425,70	13,17	416.745	996.030	2,39	32,73
35	4.098,30	14,30	51.434	185.570	3,61	45,28
37	31.757,00	14,04	647.630	2.183.446	3,37	68,75
38	10.770,60	15,11	158.694	369.625	2,33	34,32
40	22.106,90	11,12	179.137	607.610	3,39	27,49
41	23.179,00	13,66	302.872	650.486	2,15	28,06
43	26.509,90	10,89	213.927	802.752	3,75	30,28
52	22.704,30	12,35	334.517	1.087.551	3,25	47,90
53	884,00	23,19	21.340	9.653	0,45	10,92
B3	9.596,00	13,35	103.868	176.243	1,70	18,37
B4	15.978,20	14,60	549.366	1.207.692	2,20	75,58
C1	43.736,10	12,52	641.473	3.904.367	6,09	89,27
C2	43.498,80	11,96	647.973	3.950.895	6,10	90,83
C3	40.609,80	11,86	346.471	2.243.238	6,47	55,24
C4	35.350,30	11,01	276.409	1.727.319	6,25	48,86
C5	6.573,30	10,21	72.273	53.803	0,74	8,19
EA	26.909,30	19,01	842.804	1.347.151	1,60	50,06
LE	20.058,90	15,64	405.350	1.137.178	2,81	56,69
LN	19.723,50	13,34	322.221	1.229.073	3,81	62,32
E	11.107,50	9,17	44.734	408.315	9,13	36,76
N	15.844,90	15,66	263.638	419.375	1,59	26,47
T1	38.058,10	8,58	165.959	3.681.710	22,18	96,74
<b>Total TUSSAM</b>	<b>1.206.988,40</b>	<b>12,70</b>	<b>17.989.689</b>	<b>80.494.861</b>	<b>4,47</b>	<b>66,69</b>
29+39	48.212,50	18,20	910.407	2.293.297	2,52	47,57
16+C6	20.418,50	16,42	404.388	574.397	1,42	28,13
<b>Total Contratadas</b>	<b>68.631,00</b>	<b>17,66</b>	<b>1.314.696</b>	<b>2.867.694</b>	<b>2,18</b>	<b>41,78</b>
<b>Total General</b>	<b>1.275.619,40</b>	<b>12,94</b>	<b>19.304.284</b>	<b>83.362.555</b>	<b>4,32</b>	<b>66,35</b>

Figura 2-3. Explotación de las líneas de autobús.

Fuente: Memoria anual de TUSSAM 2019



Figura 2-4. Viajeros anuales bus TUSSAM

Fuente: Memoria anual de TUSSAM 2019

#### ▪ Uso títulos de viajes

Respecto al uso de los distintos títulos de viaje, el más utilizado durante este año ha sido la **Tarjeta Multiviaje Sin Transbordo** con el 23,35%, cifra ligeramente inferior a la del año pasado. Le sigue la Tarjeta Multiviaje Con Transbordo que se sitúa en el 18,21%, entre primera cancelación y transbordo, porcentaje también un punto inferior al año pasado, fundamentalmente por el **descenso del 6% en los transbordos (265.000 transbordos menos)** con el consiguiente ahorro de tiempo para los usuarios y el trasvase a la tarjeta de estudiantes.

Esta claro pues que los transbordos penalizan negativamente para desplazarse de un sitio a otro, es decir, los transbordos condicionan las accesibilidad entre zonas, tanto en tiempo como en comodidad para el usuario.

En cuanto al resto de títulos, la Tarjeta de la Tercera Edad se sitúa en el 16,58%, el Billete Univiaje en el 9,12%, la Tarjeta del Consorcio en el 8,18%, el Abono Mensual en el 6,51%, la Tarjeta Solidaria en el 4,58% y la Tarjeta Infantil en el 1,34% (1.119.384 cancelaciones). Destaca especialmente el incremento de la Tarjeta Estudiante/Universitaria que con 6.014.030 cancelaciones (7,21% del total), ha experimentado un crecimiento del 12% respecto del año pasado.

#### ▪ Material móvil (flota de autobuses)

En el año 2019 se han incorporado 15 autobuses, 5 unidades de 15 m, con motor de GNC y 10 vehículos articulados, situándose la flota en 408 autobuses que incorporan los últimos avances tecnológicos y que responden a los máximos niveles de seguridad, confort y calidad, respetando las exigencias medioambientales.

La antigüedad media de la flota se sitúa en 9,23 años. Durante el ejercicio 2019, más de 12.9 MM de kilómetros (el 68,35%) han sido recorridos con vehículos propulsados por gas natural comprimido y el 31,65% por gasóleo.

## 2.2. Líneas TUSSAM

### 2.2.1. Líneas transversales

Son las líneas de mayor longitud, las cuales conectan las zonas del municipio más alejadas. Las líneas transversales 1, 2, 3 y 5 atraviesan la ciudad de norte a sur, y la línea 6 de este a oeste.

- Línea 1 (Polígono Norte – Prado C. Sanitaria): Atraviesa la ciudad de forma transversal, de norte a sur, con una frecuencia de paso de 11 min, 7 min en hora punta, recorriendo una distancia de unos 16 km.
- Línea 2 (Barqueta – Pol. San Pablo – Virgen del Rocío - Heliópolis): Atraviesa la ciudad de forma transversal, de norte a sur, con una frecuencia de paso de 11 min, 6 min en hora punta, recorriendo una distancia de unos 20 km.
- Línea 3 (Pino Montano – San Jerónimo – Los Bermejales - Bellavista): Atraviesa la ciudad de forma transversal, de norte a sur, con una frecuencia de paso de 14 min, 10 min en hora punta, recorriendo una distancia de unos 24 km.
- Línea 5 (Puerta Triana – Prado – Gran Plaza – Santa Aurelia): Atraviesa la ciudad de forma transversal, de norte a sur, con una frecuencia de paso de 12 min, 8 min en hora punta, recorriendo una distancia de unos 18 km.
- Línea 6 (San Lázaro – Los remedios – Reina Mercedes – Virgen del Rocío): Atraviesa la ciudad de forma transversal, de este a oeste, con una frecuencia de paso de 9 min, 7 min en hora punta, recorriendo una distancia de unos 22 km.

### 2.2.2. Líneas radiales norte

Consta de 7 líneas que dan servicio en la zona norte de Sevilla, partiendo desde el centro de la ciudad. Tienen una estructura radial, favoreciendo el flujo de pasajeros hacia el centro de la ciudad.

- Línea 10 (Ponce de León – San Jerónimo): tiene una frecuencia de paso de 10 min, 8 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 11 km.
- Línea 11 (Ponce de León – Los Príncipes): tiene una frecuencia de paso de 16 min, 10 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 7 km.
- Línea 12 (Ponce de León – Pino Montano): tiene una frecuencia de paso de 6 min, 5 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 11 km.
- Línea 13 (Plaza del Duque – Pino Montano): tiene una frecuencia de paso de 8 min, 4 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 16 km.
- Línea 14 (Plaza del Duque – Pol. Norte): tiene una frecuencia de paso de 13 min, 12 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 7 km.
- Línea 15 (Ponce de León – San Diego): tiene una frecuencia de paso de 14 min, 11 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 8 km.
- Línea 16 (Plaza Jerónimo de Córdoba - Valdezorras): tiene una frecuencia de paso de 24 min, 23 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 9 km.

### 2.2.3. Líneas radiales Este

Son 11 líneas que dan servicio en la zona este de Sevilla, y permiten el flujo de pasajeros desde los barrios periferia hacia el centro de la ciudad. La mayoría tiene como parada terminal la estación de San Bernardo, permitiendo así el transbordo con otras líneas de transporte público.

- Línea 20 (Ponce de León – Pol. San Pablo): tiene una frecuencia de paso de 12 min, 11 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 11 km.
- Línea 21 (Plaza de Armas – Pol. San Pablo): tiene una frecuencia de paso de 12 min, 10 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 15 km.
- Línea 22 (Prado San Sebastián – Sevilla Este): tiene una frecuencia de paso de 11 min, 10 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 23 km.
- Línea 24 (Ponce de León – Los Pajaritos – Juan XXIII - Palmete): tiene una frecuencia de paso de 11 min, 10 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 14 km.
- Línea 25 (Prado San Sebastián - Rochelambert): tiene una frecuencia de paso de 11 min, 10 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 10 km.
- Línea 26 (Prado San Sebastián – Cerro del Águila): tiene una frecuencia de paso de 10 min, 9 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 8 km.
- Línea 27 (Plaza del Duque – Sevilla Este): tiene una frecuencia de paso de 8 min, 6 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 20 km.
- Línea 28 (Prado San Sebastián – Parque Alcosa): tiene una frecuencia de paso de 8 min, 6 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 19 km.
- Línea 29 (Prado San Sebastián - Torreblanca): tiene una frecuencia de paso de 8 min, 7 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 9 km.
- Línea 39 (C.C. Los Arcos – P.I. Ctra Amarilla – Hac. S. Antonio – S.J. de Palmete): tiene una frecuencia de paso de 35 min, 30 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 8 km.
- Línea 52 (San Bernardo – Gran Plaza - Palmete): tiene una frecuencia de paso de 14 min, 12 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 14 km.

### 2.2.4 Líneas Radiales Sur

Son 6 líneas que dan servicio en la zona sur de Sevilla, distribuyéndose por los distritos de Los Remedios, Palmera Bellavista y Sur, permitiendo el flujo desde el centro de la ciudad hacia el sur del municipio.

- Línea 30 (Prado San Sebastián – Barriada La Paz): tiene una frecuencia de paso de 13 min, 12 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 9 km.
- Línea 31 (Prado San Sebastián – Polígono Sur): tiene una frecuencia de paso de 14 min, 12 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 12 km.
- Línea 32 (Plaza del Duque – Polígono Sur): tiene una frecuencia de paso de 9 min, 7 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 15 km.
- Línea 34 (Prado San Sebastián – Los Bermejales): tiene una frecuencia de paso de 10 min, 8 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 13 km.

- Línea 37 (Puerta Jerez – Bellavista – Fuente del Rey): tiene una frecuencia de paso de 9 min, 8 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 19 km.
- Línea 38 (Prado San Sebastián – Pítamo - UPO): tiene una frecuencia de paso de 20 min, 15 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 15 km.

### 2.2.5. Líneas radiales oeste

Consta de 3 líneas que dan servicio a la zona oeste del municipio, principalmente conectando el distrito de Triana con el centro de la ciudad.

- Línea 40 (Plaza Magdalena – Triana – El Tardón): tiene una frecuencia de paso de 22 min, 15 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 9 km.
- Línea 41 (Tablada – Los Remedios - Magdalena): tiene una frecuencia de paso de 14 min, 12 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 14 km.
- Línea 43 (Plaza Magdalena – Triana – El Turruñuelo): tiene una frecuencia de paso de 14 min, 11 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 6 km.

### 2.2.6 Líneas periféricas

Sólo una línea, la 53, que opera entre el centro comercial Los Arcos y el centro penitenciario Sevilla 1, con una frecuencia muy baja y solo los días no festivos.

- Línea 53 (Los Arcos – Centro Penitenciario): tiene una frecuencia de paso de 30 min, y recorre una distancia de unos 24 km. No se contempla en el estudio, pues no ofrece servicio en las horas punta.

### 2.2.7. Líneas De barrio

Son 2 líneas que operan en el centro del municipio, dando servicio a los distritos de Nervión, Este, San Pablo-Santa Justa.

- Línea B3 (Nervión – Pol. San Pablo – Santa Clara): tiene una frecuencia de paso de 25 min, 15 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 11 km.
- Línea B4 (San Bernardo – Gran Plaza – Alcosa - Torreblanca): tiene una frecuencia de paso de 20 min, 16 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 29 km.

### 2.2.8. Líneas Circulares

Consta de 6 líneas circulares que recorren el municipio de Sevilla, permitiendo el flujo de pasajeros sin atravesar el centro de la ciudad, normalmente más congestionado.

- Línea C1 (Circular exterior): tiene una frecuencia de paso de 7 min, 6 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 14 km.
- Línea C2 (Circular exterior): tiene una frecuencia de paso de 7 min, 6 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 14 km.
- Línea C3 (Circular interior): tiene una frecuencia de paso de 7 min, 5 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 9 km.

- Línea C4 (Circular interior): tiene una frecuencia de paso de 8 min, 7 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 8 km.
- **Línea C5 (Circular centro)\***: tiene una frecuencia de paso de 30 min, y recorre una distancia de unos 11 km. No se contempla en el estudio, pues no ofrece servicio en las horas punta.
- Línea C6 (Circular Macarena Norte): tiene una frecuencia de paso de 80 min, 40 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 24 km.

\* Actualmente deshabilitada [5]

### 2.2.9. Líneas Especiales (Aeropuerto y Lanzadera Cartuja)

- Línea EA (Plaza de Armas - Aeropuerto): tiene una frecuencia de paso de 30 min, 14 min en hora punta, y recorre una distancia de unos 17 km.
- **Línea LC (Blas Infante - Cartuja)\*\***: tiene una frecuencia constante durante se período de funcionamiento de 11 min, y recorre una distancia de unos 13 km.
- Líneas LE: posee una frecuencia de paso de 8 minutos y recorre una longitud de 19'24 km.

\*\* *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 ha incrementado. Estas son las líneas 5, 6 y las exteriores C1 y C2.* [6]

### 2.2.10. Líneas Nocturnas

El servicio nocturno está atendido por 10 líneas (A1-A8, N28, N29) con salida desde el centro de Sevilla (Prado San Sebastián) y un horario de funcionamiento de 12 de la noche a 2 de la madrugada. Las líneas nocturnas no se contemplan en el desarrollo de la macro-simulación del transporte, pues no afectan al tráfico en las horas punta (de 7:30 a 9:30).

- Línea A1 (Prado San Sebastián – Pino Montano – Pol. Norte)
- Línea A2 (Prado San Sebastián – Puerta Jerez – Barqueta – San Jerónimo)
- Línea A3 (Prado San Sebastián – Nervión – San Ildefonso – Sevilla Este)
- Línea A4 (Prado San Sebastián – Santa Aurelia – Palmete - Rochelambert)
- Línea A5 (Prado San Sebastián – El Cerro – Pol. Sur – El Porvenir)
- Línea A6 (Prado San Sebastián – Bermejales – Bellavista - Heliópolis)
- Línea A7 (Prado San Sebastián – Remedios – Triana – Plaza del Duque - Nervión)
- Línea A8 (Prado San Sebastián – Pol. San Pablo – Parque Alcosa)
- Línea N16 (Plaza Jerónimo de Córdoba - Valdezorras)
- Línea N29 (Prado San Sebastián - Torreblanca)

Línea	Denominación	Longitud	Nº Coches	Frecuencia
C1	Circular Exterior 1	14,43	13	6
C2	Circular Exterior 2	14,43	17	4
C3	Circular Interior 1	8,57	9	5
C4	Circular Interior 2	7,81	5	9
C5	Circular Centro	10,58	2	30
1	Polígono Norte - Hospital V.Rocio	15,80	13	6
2	Barqueta - Heliópolis	19,43	18	6
3	Bellavista - San Jerónimo - Pino Montano	39,52	15	10
5	Puerta Triana - Santa Aurelia	19,16	10	10
6	Gta. San Lázaro - Hospital V.Rocio	21,56	14	7
10	Ponce de León - San Jerónimo	10,44	7	8
11	Ponce de León - Los Príncipes	6,77	4	11
12	Ponce de León - Pino Montano	11,19	11	5
13	Plaza Duque - Pino Montano	15,51	15	5
14	Plaza Duque - Polígono Norte - Las Golondrinas	6,91	3	13
15	Ponce de León - San Diego	7,92	4	11
20	Ponce de León - Polígono San Pablo	10,81	5	12
21	Plaza de Armas - Polígono San Pablo	15,38	7	11
22	Prado San Sebastián - Sevilla Este	22,53	8	11
24	Ponce de León - Juan XXIII - Palmete	14,01	8	10
25	Prado San Sebastián - Rochelambert	9,70	5	10
26	Prado San Sebastián - Cerro del Águila	8,28	5	9
27	Plaza del Duque - Sevilla Este	19,88	14	7
28	Prado San Sebastián - Alcosa	19,21	12	6
30	Prado San Sebastián - La Paz	9,24	4	11
31	Prado San Sebastián - Polígono Sur	11,82	4	14
32	Plaza Duque - Polígono Sur	15,42	13	6
34	Prado San Sebastián - Los Bermejales	13,42	7	8
35	Prado San Sebastián - Palmas Altas	12,55	2	25
37	Puerta Jerez - Pedro Salvador - Bellavista	20,36	11	9
38	Prado San Sebastián - Univ. Pablo Olavide	15,31	4	15
40	Plaza Magdalena - El Tardón - Triana	7,94	3	15
41	Plaza Magdalena - Los Remedios - Tablada	13,27	4	13
43	Plaza Magdalena - Turruñuelo - El Tardón - Triana	7,84	4	11
52	San Bernardo - Gran Plaza - Palmete	14,32	6	12
53(*)	Los Arcos - Centro Penitenciario Sevilla I	24,14	1	50
B3	Gran Plaza - Polígono San Pablo - Santa Clara	10,62	2	25
B4	San Bernardo - Alcosa - Sevilla Este - Torreblanca	31,07	8	15
EA	Plaza de Armas - Aeropuerto	31,32	8	14
LE(**)	Prado San Sebastián - Sevilla Este	19,24	8	8
LN(***)	Prado San Sebastián - Pino Montano	16,34	9	9
T1	Metrocentro (Plaza Nueva - San Bernardo)	4,41	4	7
<b>Total Líneas TUSSAM</b>		<b>628,42</b>	<b>328</b>	<b>9,15</b>
29	Prado San Sebastián - Torreblanca	19,21	13	7
16	Rialto - Valdezorras	17,27	3	23
C6	Circular Macarena Norte	24,64	2	40
<b>Total Líneas Contratadas</b>		<b>61,12</b>	<b>18</b>	<b>13,80</b>
<b>Total General</b>		<b>689,54</b>	<b>344</b>	<b>9,49</b>

(\*) Servicio durante sábados y domingos

(\*\*) Servicio de lunes a sábado

(\*\*\*) Servicio en días laborables

Figura 2-5. Líneas bus urbano TUSSAM

Fuente: Memoria anual TUSSAM 2019

### 2.3. Metrocentro (Tranvía)

El Metrocentro (Plaza Nueva - San Bernardo) ha transportado 3.681.710 viajeros el año 2019, cerca de 50,9 millones de viajeros en sus 12 años de vida, convirtiéndose en el medio de transporte más valorado de la red de transporte público de Sevilla, con 7,90 puntos sobre 10 obtenidos en la última evaluación de la calidad en octubre de 2019 [4]. Características de este medio de transporte:

<i>Características del Tranvía de Sevilla</i>	
Longitud del trazado	2.000 m (ampliable en un futuro)
Velocidad máxima	15 – 20 km/h
Velocidad comercial	10 km/h
Frecuencia de paso	7 – 9 minutos
Tiempo de recorrido (ida y vuelta)	22 minutos
Capacidad	260 personas (4 vagones)
Material móvil	4
Nº de paradas	5 (San Bernardo, Prado San Sebastián, Puerta Jerez, Archivo de Indias, Plaza Nueva)

Tabla 1. Características del Metrocentro

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.

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. Igualmente, el tránsito de peatones por dicha Avenida se ha visto perjudicado desde la instalación del tranvía.

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%.

En un futuro se espera ampliar la longitud del recorrido de la línea T1 (proyecto ya aprobado) desde San Bernardo hasta la estación de trenes Santa Justa. Este recorrido, una vez evaluadas todas las alternativas, se realiza a través de San Francisco Javier, Luis de Morales y Eduardo Dato. En el diseño, tras los estudios técnicos, se ha optado por una plataforma reservada en la mediana de la calzada. La velocidad comercial media será de 21,5 kilómetros hora, lo que permitiría un tiempo de 3 minutos 40 segundos entre San Bernardo y Nervión y 5 minutos 36 segundos en todo el trazado hasta Santa Justa. La previsión es que se reduzcan en 1,4 millones los kilómetros de circulación en vehículo privado y una reducción total de 2.392 toneladas de CO<sub>2</sub> al año. [7]



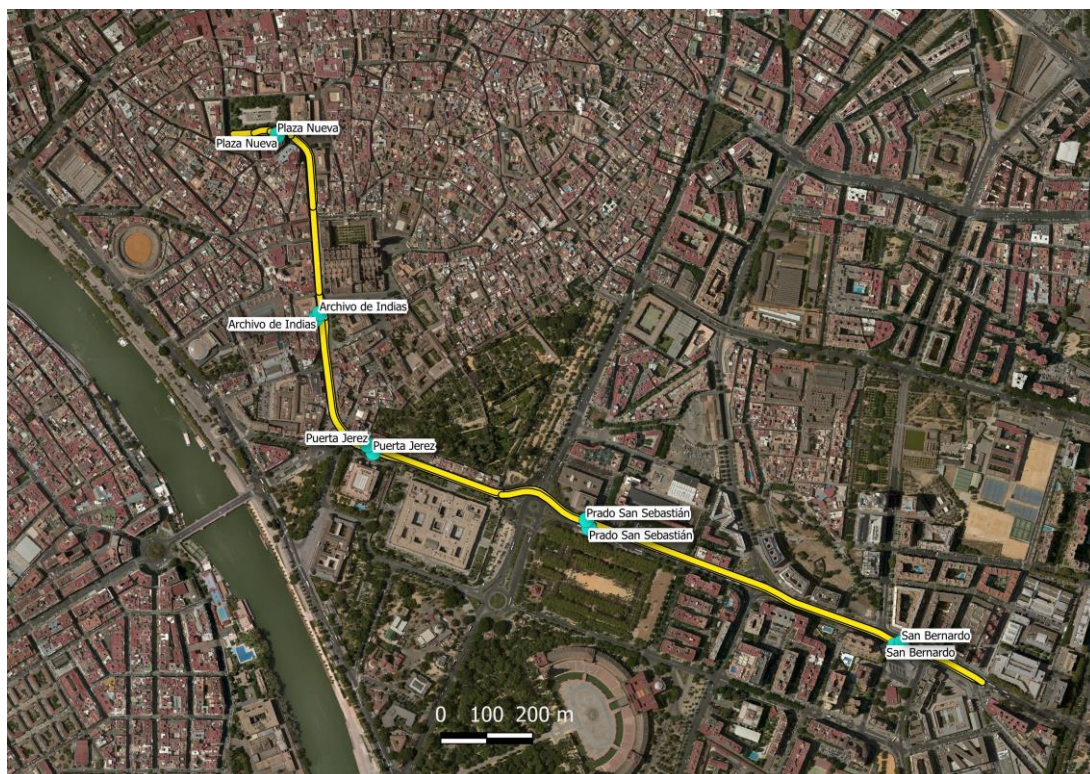


Figura 2-6. Línea T1 Metrocentro  
Fuente: Elaboración propia en QGIS

## 3 ESTUDIO DE POBLACION Y PARADAS

En este tercer capítulo del TFG se presenta un estudio cuantitativo realizado mediante programas como QGIS o ArcGIS, los cuales se basan en sistemas de información geográfica.

A la largo de este capítulo se presentan una serie de figuras sobre la distribución de población y de comercios de la ciudad de Sevilla, con el fin de previsualizar cuales serán a priori las áreas de Sevilla con mas generación/atracción de viajes respectivamente.

También, se presentan una serie de mapas sobre la distribución de las paradas de TUSSEM a distintas escalas.

### 3.1. Poblacion

La ciudad de Sevilla, según el censo del año 2020, contaba con una población de 691395 habitantes empadronados, 2803 más que hace un año. Estos habitantes se reparten sobre una superficie de 140'8 km<sup>2</sup>.

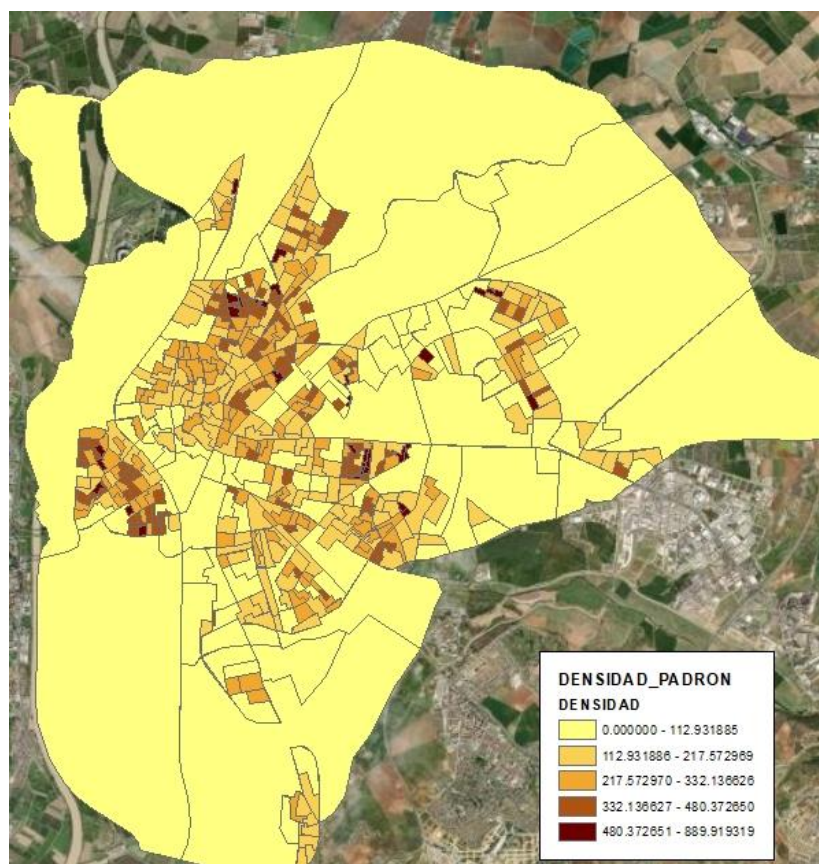


Figura 3-1. Densidad Poblacion de Sevilla

Fuente: Elaboracion propia en ArcGIS

Vease en la Figura 3-1 como los barrios de Macarena Norte, Triana-Los Remedios y Nervion Este (Los Arcos) son las zonas con mayor densidad de población. Por su mayor cercanía al casco antiguo, se espera que los dos primeros barrios mencionados sean los que más generación de viajes originen.

En esta primera figura del capitulo tambien se puede visualizar que zonas como Pino Montano o Sevilla Este, aun estando relativamente lejos del centro de la ciudad, cuentan cada vez con mas habitantes.

Otra forma de visulizar la densidad de población seria mediante una cuadrícula formada por mallas de 250x250 m de lado, tal y como se muestra a continuación. Se obtiene un resultado prácticamente idéntico al de Figura 3-1:

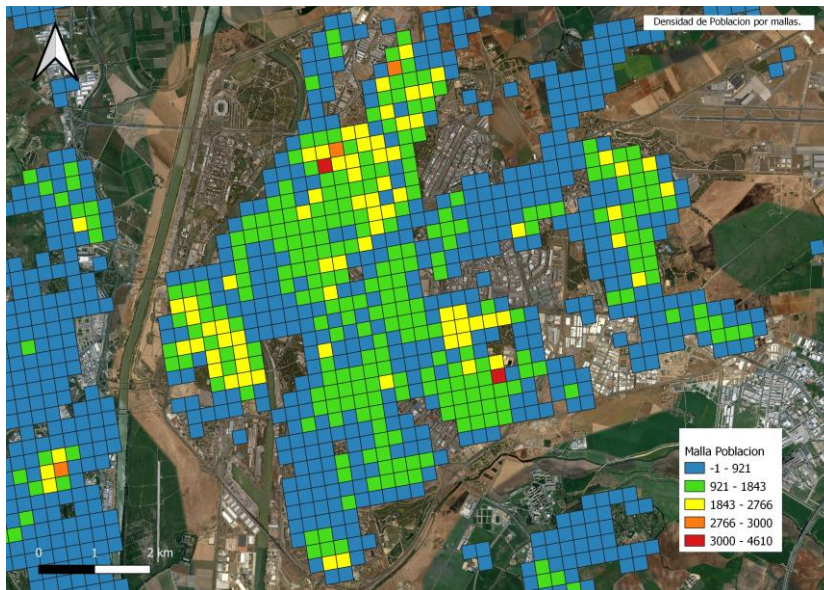


Figura 3-2. Densidad Poblacion en mallas.

### 3.2 Comercios

En el portal de Infraestructuras de Datos Abiertos del Ayuntamiento de Sevilla (ide.Sevilla), se encuentra una capa en formato shape (.shp) con el número aproximado de locales/edificos de cualquier índole que podemos encontrar en la ciudad. Este fue descargado y representado en QGIS con el fin de establecer cuantitativamente cuales son los barrios de Sevilla con más atracción de viajes, es decir, cuales son los barrios de Sevilla con más ofertas de ocio, cultura o trabajo.



Figura 3-3. Pagina inicial ide. Sevilla

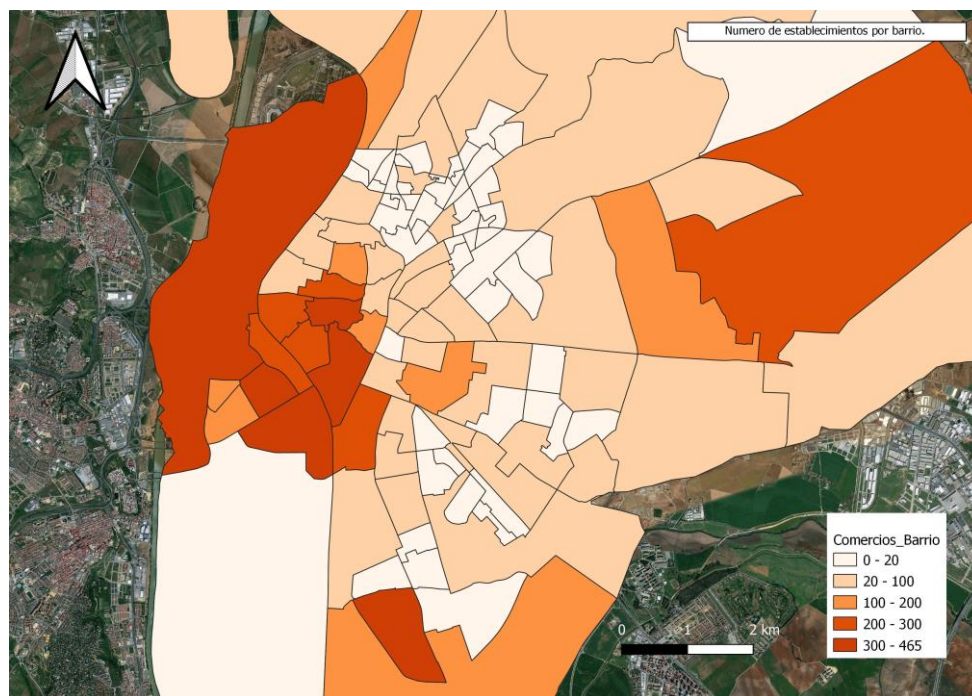


Figura 3-4. Numero de establecimientos en Sevilla.

Fuente: Elaboracion propia en QGIS.

Esta capa de puntos representa bares, parques, bancos, facultades, museos, edificios religiosos, plazas, cines, tienda de ropa, hoteles, kioskos, bibliotecas, colegios, polideportivos... entre otras muchas dotaciones.

Se ha pensado que esta capa podía ser representativa que ya son lugares que de una manera u otra atraen viajes.

Se observa claramente en la Figura 3-4 como el distrito Casco Antiguo y Triana-Los Remedios son los que mas opciones de entretenimiento/empleo ofrecen. También llama la atención el barrio de los Bermejales o el distrito Alcosa-Sevilla Este que debido a su constante aumento demográfico, a su cercanía con el aeropuerto y a su gran superficie cuenta también con un alto número de locales.

### 3.3 Distribucion de paradas Tussam

En este tercer apartado de este capítulo se representa mediante distintos mapas la distribución de paradas Tussam a nivel de distrito, barrio y malla cuadrada. El objetivo de este estudio cuantitativo es ver si algunas zonas de Sevilla, por no tener un número suficiente de paradas de bus urbano adecuado a la población (o por estar las paradas lejos de las viviendas), contarán de antemano con una mala accesibilidad.

Para representar estos mapas se ha usado la herramienta de QGIS “Contar puntos en polígonos”:

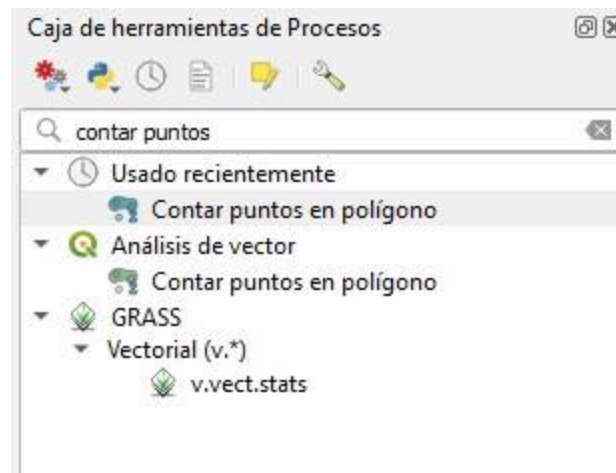


Figura 3-5. Proceso de QGIS Contar puntos en polígonos.

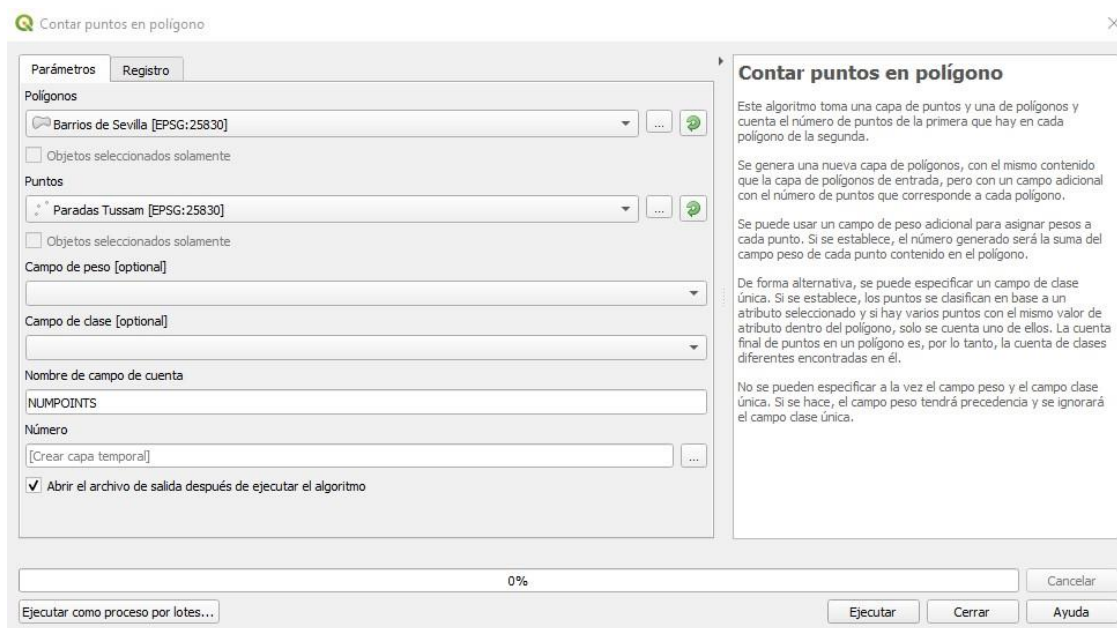


Figura 3-6. Parametros de control del proceso Contar puntos en polígonos.

Las capas tipo polígonos que se introdujeron fueron “Barrios de Sevilla”, “Distritos de Sevilla” y “Malla Cuadrada de Poblacion”. Las dos primeras capas se obtuvieron de la web ide.sevilla (ver Figura 3-3.) y la ultima del IDEAndalucia, siendo esta ultima capa la misma utilizada para la conformación de la Figura 3-2.

Como capa de puntos se uso la capa “Paradas Tussam”, la cual fue proporcionada por el profesor D. Luis Miguel Romero Perez y que a su vez tambien se uso para realizar la Figura 2-2.

Cabe mencionar en este momento que todas las capas usadas tanto en QGIS como en ArcGIS están en formato EPSG 25830, el mas idóneo para trabajar en la provincia de Sevilla.

Una vez realizado el proceso de contar puntos con las tres capas de polígonos, cambiamos la simbología de estas de valor único a graduado, para que la visualización de los valores obtenidos se mas intuitiva.

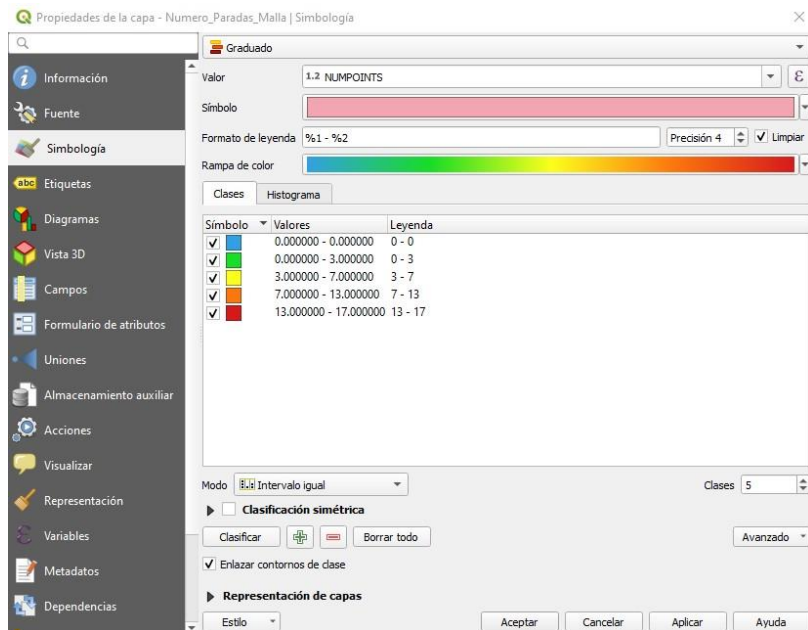


Figura 3-7. Simbología graduada de capa en QGIS.

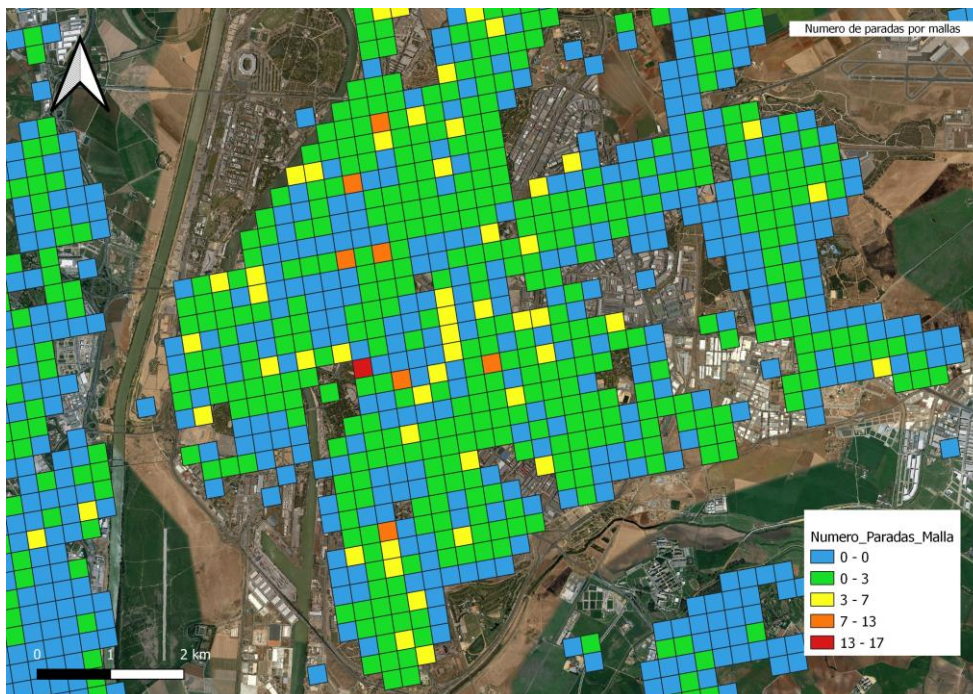


Figura 3-8. Numero de paradas TUSAM por mallas.

Fuente: Elaboracion propia en QGIS.

Según la Figura 3-8 se puede observar como en mayor o menor medida las paradas de Tussam están distribuidas de forma equitativa por todo el término municipal de Sevilla.

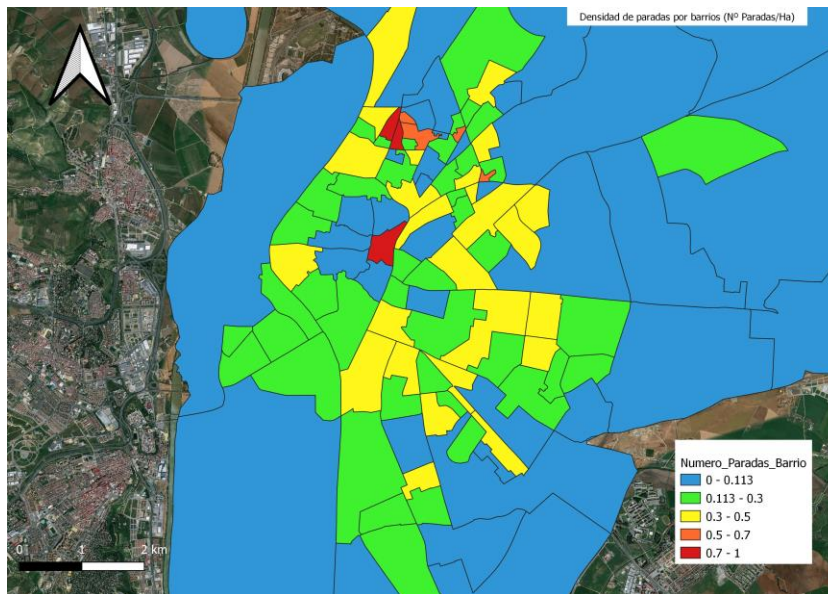


Figura 3-9. Numero de paradas TUSSAM por barrios.

Fuente: Elaboracion propia en QGIS.

Esta ultima figura representa la densidad del numero de paradas, es decir, NºParadas/Ha. Llama la atención la escasez de paradas en algunos barrios del casco antiguo, posiblemente debido a que la disposición y las características urbanas de las calles en estas zonas impidan la circulación de un autobús urbano.

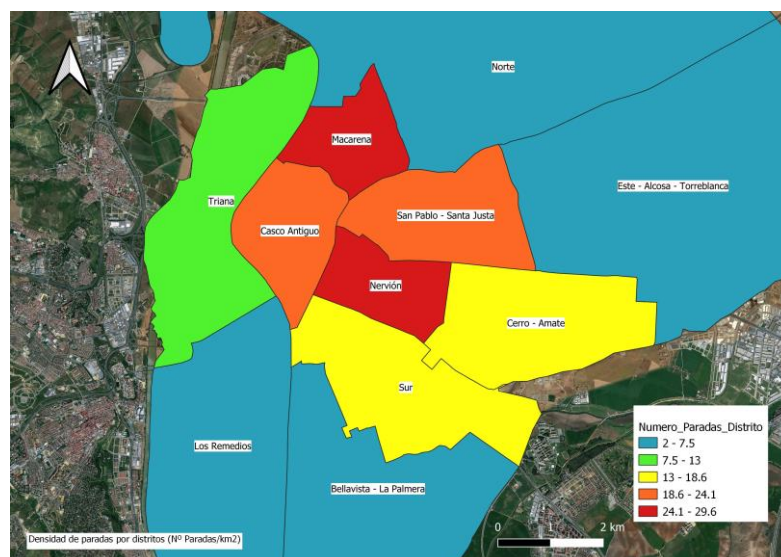


Figura 3-10. Numero de Paradas TUSSAM por distritos.

Fuente: Elaboracion propia en QGIS.

En esta última figura del tercer capítulo, se representa la densidad del número de paradas a nivel distrito (Nº Paradas/Km<sup>2</sup>). Llama bastante la atención como los distritos más céntricos son los más “pequeños” y que a su vez son los que cuentan con más paradas.

Por otro lado, los distritos de la periferia son mucho más grandes, y por eso su densidad de paradas es menor. De todas formas y a modo de conclusión para cerrar este capítulo, según lo mostrado en la Figura 3-8, la mayoría de la población en Sevilla cuenta con al menos 1 estación de Tussam en un radio aproximado de 250 m.

De la Figura 3-8, cabe destacar que solo hay una malla cuadrada de color rojo, la cual se corresponde con la estación de bus de Prado de San Sebastian. Veremos en el siguiente capítulo la implicación de este alto número de paradas en tan poco espacio para la accesibilidad de la zonas aledañas.



## 4 ACCESIBILIDAD BASADA EN DATOS DE GOOGLE MAPS

En este cuarto capítulo del TFG se describe el proceso utilizado para el cálculo del tiempo de viaje entre los distintos barrios/zonas de Sevilla (modelizados como centroides). Para ello, se ha hecho uso de la aplicación Google Maps, en concreto, su apartado Rutas, la cual permite estimar el tiempo de viaje entre dos zonas cualesquiera de la ciudad de Sevilla usando únicamente TUSAM como medio de transporte.

### 4.1. TAZ y Centroides

La zona de análisis de transporte o TAZ es la unidad geográfica usada en los modelos de transporte, constituyendo 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 de ámbito urbano) hasta una provincia o comunidad autónoma (análisis de ámbito nacional). [8]

Tal y como se describió en el capítulo 1, nuestros TAZ serán los barrios/zonas de Sevilla, los cuales se han modelizado con 17 centroides, que son los puntos ficticios donde se concentran los viajes de la zona.

Estos 17 centroides tal y como se muestran en la Figura 4-1 se han elegido de manera que estos, junto con un radio de 1 km a su alrededor, abarcasen todo el término municipal de Sevilla. La distancia de 1 km se ha estimado como la que sería capaz de recorrer un usuario sin tener que tomar un autobús urbano.

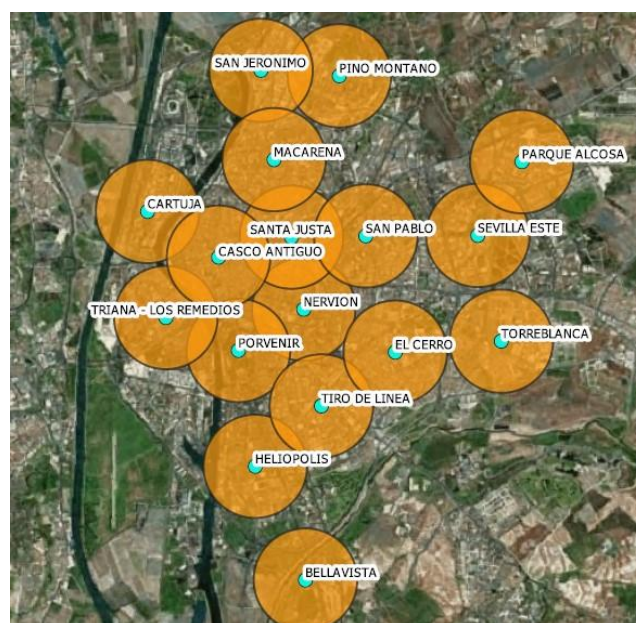


Figura 4-1. Centroides y radio de influencia de 1 km

Fuente: Elaboración propia en QGIS

A su vez, los centroides se han intentado colocar en barrios distinguidos de Sevilla, con el fin de que en el estudio de accesibilidad posterior reflejase al máximo la conectividad entre los barrios de Sevilla donde se sabe que viven una gran cantidad de personas.

El área de influencia de 1 km alrededor del centroide se relizo mediante la herramienta de geoprocso Buffer disponible en QGIS:

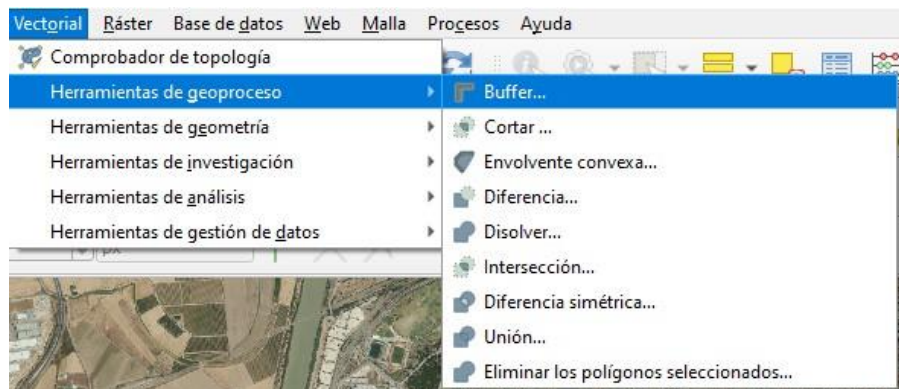


Figura 4-2. Herramienta de Geoprocso Buffer en QGIS.

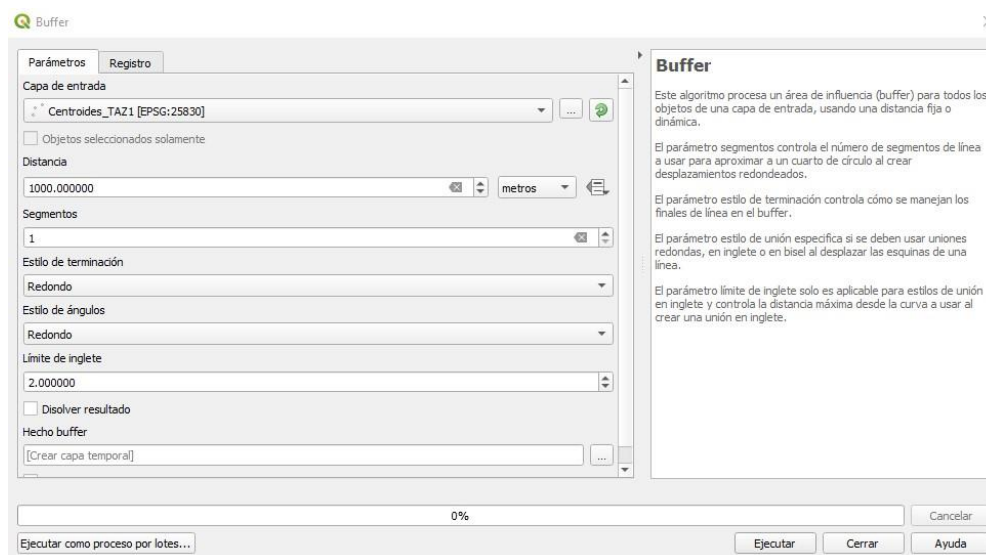


Figura 4-3. Parámetros de control de Buffer.

Se elige como distancia 1000 metros (1 km), 1 segmento para que solo nos haga un círculo y un estilo de angulos redondo.

## 4.2. Calculo de Rutas en Google Maps

Estos 17 centroides descritos en el apartado 4.1 se colocaron en Google Maps de forma manual y se les añadió una etiqueta con el nombre de los barrios para que su búsqueda en el apartado Rutas fuese más rápida.

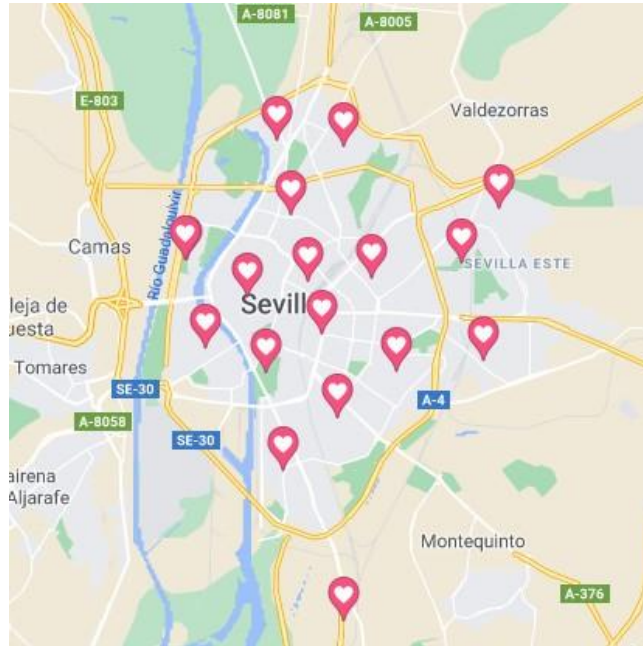


Figura 4-4. Centroides situados en Google Maps.

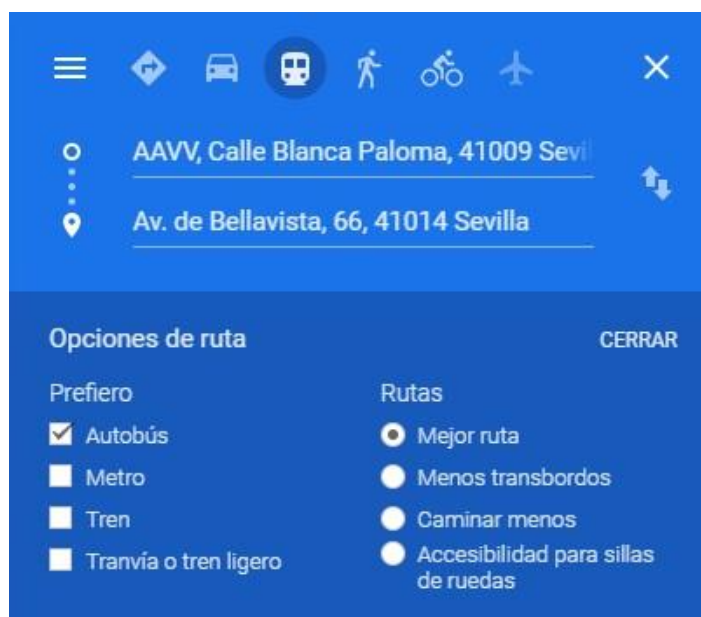


Figura 4-5. Apartado de Rutas en Google Maps.

Tal y como se observa en la Figura 4-5, en el apartado de Rutas podemos elegir en que medio de transporte nos desplazamos (coche privado, a pie, transporte público, bicicleta y avión). A su vez, podemos elegir que medio de transporte preferimos (en este caso se ha elegido autobús) y, si nos queremos mover según la mejor ruta (la mas rápida), la que tenga menos transbordos o en la que haya que andar menos hasta la parada.

Estas opciones junto con el hecho de que Google Maps calcula rutas en tiempo real hacen de esta aplicación una herramienta muy potente.

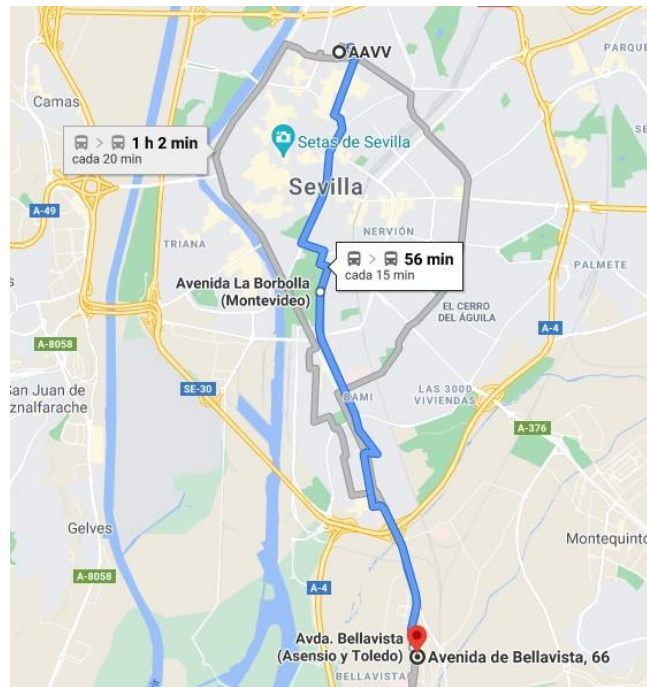


Figura 4-6. Ruta Macarena-Bellavista.

Tal y como se ve en la Figura 4-6, Google Maps siempre ofrece varias opciones para ir de un lugar a otro (en este caso desde el centroide Macarena hasta el de Bellavista). Así pues, a la hora de elaborar la matriz O/D de 17 filas x 17 columnas (289 rutas a calcular) se ha intentado elegir siempre en la medida de lo posible la ruta mas rápida y la que tuviese menos transbordos, siempre que no hubiese que andar mas de 1 km para llegar a la parada mas cercana.

Las rutas también se han calculado durante días laborables en la franja horaria comprendida entre las 16:00 y las 19:00 h, buscando pues que los resultados fuesen los más uniformes y fieles a la realidad. Se comprobó que si se calculaba el tiempo de viaje en fines de semana o de noche los resultados eran menos fidedignos.

Se muestra en la siguiente página la matriz O/D con los tiempos medios de viaje en minutos entre los centroides usando como medio de transporte caminar + TUSSEM y, entre paréntesis, la línea que se usa.

En rojo están aquellas rutas en las que hay que hacer al menos un transbordo.

Minutos (Lineal)	San Jeronimo	Pino Montano	Cartuja	Macarena	Santa Justa	San Pablo	C. Antiguo	Triana	Povernit	Tiro de Linea	Helipolis	Bellavista	Nevion	El Cerro	Torreblanca	S. Este	Alcosa
San Jeronimo		16 (03)	34 (03)	17 (10)	28 (10)	42 (20+10)	33 (10)	40 (03)	35 (03)	57 (02+10)	42 (03)	59 (03)	31 (LN+C6B)	53 (02+10)	82 (52+32+10)	70 (27+10)	42 (C6A)
Pino Montano	18 (03)		43 (03)	20 (13)	32 (LN)	33 (20+LN)	37 (13)	49 (03)	44 (03)	49 (02+LN)	51 (03)	68 (03)	25 (LN)	43 (02+LN)	66 (52+LN)	58 (LE+LN)	37 (C6A)
Cartuja	31 (03)	44 (03)		34 (06)	39 (C4)	56 (21+C1)	29 (43)	22 (C1)	30 (C1)	59 (31+C1)	44 (06)	58 (03)	43 (05)	58 (05)	75 (52+05)	70 (LE+C1)	69 (28-C1)
Macarena	16 (10)	27 (C6A+01)	38 (06+02)		21 (10)	20 (02)	22 (14)	43 (06)	31 (01)	36 (02)	45 (01)	61 (37+01)	22 (LN+02)	34 (02)	55 (39+02)	44 (B4+02)	38 (28-02)
Santa Justa	33 (03 + C1)	25 (LN)	38 (C1)	20 (04)		20 (20)	16 (32)	31 (05+21)	26 (01)	37 (32)	40 (01)	56 (37+01)	16 (C2)	40 (24)	52 (52+32)	46 (27)	31 (28)
San Pablo	40 (03+02)	28 (LN+02)	56 (21)	18 (02)	19 (E4)		29 (20)	43 (21)	37 (21)	23 (02)	35 (02)	57 (03+02)	14 (B3)	21 (02)	35 (39)	27 (B4)	27 (27)
Casco Antiguo	32 (03)	34 (13)	32 (06)	22 (16)	16 (32)	30 (21)		29 (05)	24 (03)	43 (32)	31 (03)	48 (03)	24 (32)	46 (24)	59 (52+32)	48 (27)	49 (27)
Triana	33 (03)	49 (03)	19 (C2)	38 (06)	32 (05+21)	45 (21+C3)	24 (40)		19 (06)	48 (02+06)	28 (06)	48 (03)	24 (05)	39 (05)	54 (52+05)	57 (LE+05)	58 (B4+05)
Povernit	31 (03)	47 (03)	29 (C2)	28 (04)	26 (01)	34 (21)	23 (03)	20 (06)		25 (36)	18 (34)	33 (37)	25 (C1)	35 (25)	53 (52+05)	49 (LE)	46 (28)
Tiro de Linea	53 (03+02)	44 (LN+02)	55 (C2+31)	33 (02)	33 (21)	24 (02)	32 (41)	45 (C2+31)	20 (31)		17 (02)	42 (37+02)	23 (32)	20 (02)	46 (52+02)	43 (LE+02)	50 (28-02)
Helipolis	37 (03)	54 (03)	46 (06)	42 (01)	39 (01)	36 (02)	30 (03)	30 (06)	19 (03)	17 (02)		28 (37)	37 (LE+37)	32 (02)	58 (52+02)	55 (LE+02)	60 (27+02)
Bellavista	56 (03)	75 (03)	60 (03)	58 (01+37)	56 (01+37)	57 (02+37)	51 (03)	55 (03)	49 (03)	40 (02+37)	27 (03)		55 (28+37)	55 (02+37)	88 (52+37)	80 (LE+37)	75 (28-37)
Nevion	34 (LN)	18 (LN)	41 (05)	29 (01+C1)	13 (C1)	17 (21)	23 (32)	26 (05)	21 (05)	26 (32)	37 (01+05)	59 (03+05)		21 (52)	35 (52)	30 (LE)	30 (28)
El Cerro	48 (10+24)	37 (LN+52)	56 (05)	33 (02)	33 (C1+52)	24 (02)	41 (24)	42 (05)	31 (38A)	20 (02)	32 (02)	54 (03+02)	16 (52)		26 (52)	41 (LE+52)	52 (B4+24)
Torreblanca	75 (LN+22)	54 (LN+29)	75 (05+52)	55 (02+39)	39 (21+29)	33 (29)	52 (27+29)	63 (05+52)	48 (29)	49 (02+52)	59 (02+52)	82 (37+29)	34 (52)	24 (52)		50 (B4+22)	53 (B4+29)
Sevilla Este	72 (10+27)	55 (LN+27)	68 (C2+E)	45 (02+27)	44 (27)	25 (27)	46 (27)	53 (05+E)	44 (LE)	41 (02+B4)	56 (02+B4)	76 (37+E)	35 (27)	43 (52+B4)	37 (22)		20 (B4)
Alcosa	59 (LN+28)	42 (LN+28)	75 (C2+28)	43 (02+28)	30 (28)	26 (28)	48 (27)	59 (05+B4)	49 (LE)	41 (02+B4)	56 (02+27)	78 (37+B4)	27 (28)	38 (02+B4)	37 (29+37)	21 (B4)	

Tabla 2. Matriz O/D Tiempo de viaje.



Otro caso de estudio fue el proyecto TRANSFER, dirigido por TRANSyT y financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad. Este proyecto se inició con el objetivo de identificar las variables más relevantes del transbordo en viajes habituales en autobús urbano y metro (en la ciudad de Madrid), y estimar su impacto.

Este proyecto tuvo una duración de 3 años y en él se analizaron las tres componentes del transbordo: (1) tiempo caminando (desde mi casa a la parada), (2) tiempo de espera en la parada, y (3) una penalización asociada al mero hecho de transbordar. Del proyecto se obtuvieron datos muy interesantes:

- Los hombres penalizan cada minuto caminando como 0,8 MEV, mientras que las mujeres lo penalizan 1,27 veces más (es decir, 1 MEV). **MEV = Minutos Equivalentes en Vehículo.**
- Los usuarios de transporte público perciben negativamente un transbordo que implique cambiar de modo, con un impacto comparable a 2,2 MEV.
- La información en tiempo real no es significativa en viajes con 1 transbordo (los usuarios están acostumbrados a transbordar en una ocasión y asumen esperar un tiempo medio). Sin embargo, sí es importante en viajes con dos transbordos (impacto positivo de 1,7 MEV).
- La penalización pura por transferencia es de **15,2** y **17,7** MEV cuando se realizan una y dos transferencias, respectivamente. Este último dato muestra unos valores muy parecidos a los subrayados en la Figura 4-7.

En definitiva, la introducción de una transferencia en un viaje sin transbordos debe suponer un ahorro en tiempo equivalente en vehículo de unos 15 minutos aproximadamente, si el objetivo es que el usuario no perciba penalización alguna. En viajes de un transbordo, la introducción de una transferencia adicional debe suponer un ahorro de 2,5 MEV.

Estos resultados ponen de manifiesto la importancia de tener en cuenta estas variables al diseñar una red de transporte público.

Como conclusión, para nuestro TFG, se sumara por cada transbordo 15 minutos más al tiempo total de viaje.

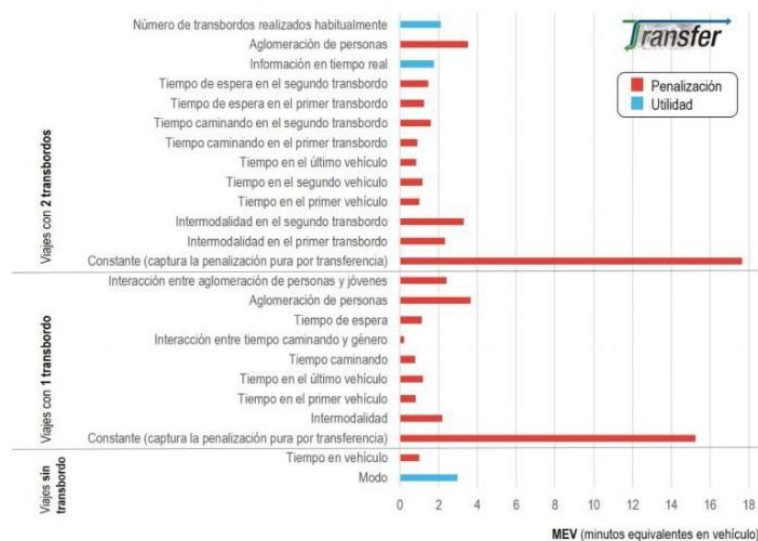


Figura 4-8. Penalizaciones.

### 4.3. Calculo de la Accesibilidad

La accesibilidad se calculara sencillamente según lo indicado en la Formula (1). Para cada barrio/centroide (17 en total), se hará el sumatorio de los tiempos de viaje al resto de centroides (teniendo en cuenta el aumento en 15 minutos por cada transbordo) y se dividirá por 16, ya que el viaje dentro de la propia zona no se tiene en cuenta. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

	Nº Transbordos	Tiempo Extra al TTT (min)	Accesibilidad (min)
BELLAVISTA	9	135	65.125
CARTUJA	5	75	52.5
TORREBLANCA-PALMETE	12	180	64.875
SEVILLA ESTE	10	150	58.6875
PARQUE ALCOSA	4	60	53.56
PINO MONTANO	7	105	47.125
SAN JERONIMO	7	105	48.31
NERVION	4	60	31.93
PORVENIR	0	0	32.93
TRIANA - LOS REMEDIOS	5	75	45.3125
SANTA JUSTA	4	60	35
HELIOPOLIS	4	60	42.375
SAN PABLO	5	75	37.3125
CASCO ANTIGUO	1	15	33.5
TIRO DE LINEA-SUR	8	120	45.6875
EL CERRO-AMATE	5	75	42.3125
MACARENA	5	75	38.125

Tabla 3. Accesibilidad

La accesibilidad se entiende pues como el tiempo medio de viaje que se tarda en llegar a cada uno de los 17 centroides/barrios. Se observa en la Tabla 3 como a priori Bellavista es la zona con peor accesibilidad (seguido muy de cerca por la zona de Torreblanca-Palmete) y que Nervion es el barrio con mejor accesibilidad (muy cerca del Porvenir y del Casco Antiguo).

#### 4.3.1. Accesibilidad Geografica

Los datos mostrados en la Tabla 3 son relativos, ya que, como se comento en el primer capítulo, hay barrios que por su lejanía al centro de Sevilla, contarán de antemano con una mala accesibilidad, pero ¿cómo de mala? Para intentar contestar a esta pregunta se compara en este apartado la accesibilidad geográfica (medida en distancia) con la accesibilidad en tiempo de viaje.

Para ello, se obtuvo mediante la herramienta de análisis “Matriz de Distancia” de QGIS, véase Figura 4-9, la matriz O/D de distancia en metros entre los centroides y que se muestra en la Tabla 4:



Distancia (metros)	BELAVISTA	CARTUA	TORREBLANCA	SEVILLAS	PARQUE ALC	PIÑOMONTA	SAN JERÓN	NERIVON	PORVENIR	TRAMA - L	SANTA JUST	HELIPOLIS	SAN PABLO	CASCO ANT	TRO DE LI	EL CERRO	MACARENA
BELAVISTA	0.00	7757.11	5927.33	7453.92	9127.05	9780.47	9902.41	5240.40	4627.48	5750.43	6641.79	2404.30	6780.93	6470.03	3383.24	4738.83	8158.53
CARTUA	7757.11	0.00	7276.27	6392.83	7291.86	4538.50	3600.91	3559.21	3211.51	2083.59	2820.20	5553.01	4239.49	1630.92	5942.52	5503.40	2638.81
TORREBLANCA	5927.33	7276.27	0.00	2066.79	3496.86	6013.13	7000.99	3865.00	5078.92	6482.81	4525.05	5331.83	3315.99	5896.21	3833.14	2058.04	5621.59
SEVILLAS	7453.92	6392.83	2066.79	0.00	1629.01	4085.25	5268.57	3853.03	5130.64	6229.44	3599.91	6199.36	2162.86	5023.24	4473.92	2765.07	4199.18
PARQUE ALC	9127.05	7291.86	3496.86	1629.01	0.00	4085.25	5268.57	3853.03	5130.64	6229.44	3599.91	6199.36	2162.86	5023.24	4473.92	2765.07	4199.18
PIÑOMONTA	9780.47	4538.50	6013.13	4085.25	3897.83	0.00	1516.52	1516.52	1516.52	5125.75	2280.16	3597.20	3707.98	3707.98	3400.45	3497.54	2169.73
SAN JERÓN	9902.41	3600.91	7000.99	5268.57	5339.90	1516.52	0.00	4897.79	5439.78	5125.75	2280.16	3597.20	3707.98	3707.98	3400.45	3497.54	2169.73
NERIVON	5240.40	3559.21	3865.00	3853.03	5090.74	4570.36	5090.74	0.00	1491.51	2866.21	1446.08	3180.12	1689.04	1929.52	1901.96	1933.54	2951.81
PORVENIR	4627.48	3211.51	5078.92	5130.64	6681.67	5439.78	4897.79	1491.51	0.00	1538.95	2419.98	2265.73	3311.05	1846.19	1928.30	3028.89	3756.50
TRAMA - LOS REMEDIOS	5750.43	2083.59	6482.81	6229.44	7500.05	5754.13	5125.75	2866.21	1538.95	0.00	2880.16	3597.20	4171.12	1549.83	3455.78	4480.02	3701.46
SANTA JUST	6641.79	2820.20	4525.05	3599.91	4686.31	3256.78	3281.77	1446.08	2419.98	2880.16	0.00	4489.97	1437.11	1458.24	3317.98	2936.92	1536.69
HELIPOLIS	2404.30	5553.01	5331.83	6199.36	7827.57	7730.17	7665.29	3180.12	2265.73	3597.20	4489.97	0.00	4948.29	4109.78	1730.30	3491.02	5846.29
SAN PABLO	6780.93	4239.49	3315.99	2162.86	3339.87	3790.88	3790.88	1689.04	3311.05	4171.12	1437.11	4948.29	0.00	4109.78	3400.45	2220.74	2306.34
CASCO ANTIGUO	6470.03	1630.92	5896.21	5023.24	6142.27	4213.84	3707.98	1929.52	1846.19	1549.83	1458.24	4109.78	2872.30	0.00	3497.54	3876.06	2169.73
TRO DE LINEA	3383.24	5942.52	3833.14	4473.92	6111.05	6398.73	6399.74	1901.96	1928.30	3455.78	3317.98	1730.30	3400.45	3497.54	0.00	1766.14	4853.64
EL CERRO	4738.83	5503.40	2058.04	2765.07	4424.10	5456.58	6040.07	1933.54	3028.89	4480.02	2936.92	3491.02	2220.74	3876.06	1766.14	0.00	4400.59
MACARENA	8158.53	2638.81	5621.59	4199.18	4787.19	2169.73	1747.41	2951.81	3756.50	3701.46	1536.69	5846.29	2306.34	2169.73	4853.64	4400.59	0.00

Tabla 4. Matriz O/D Distancia

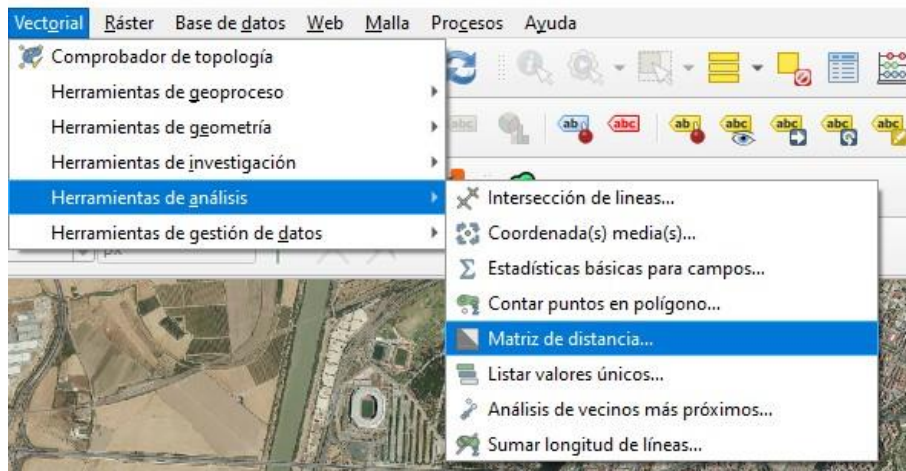


Figura 4-9. Herramienta de analisis Matriz de distancia.

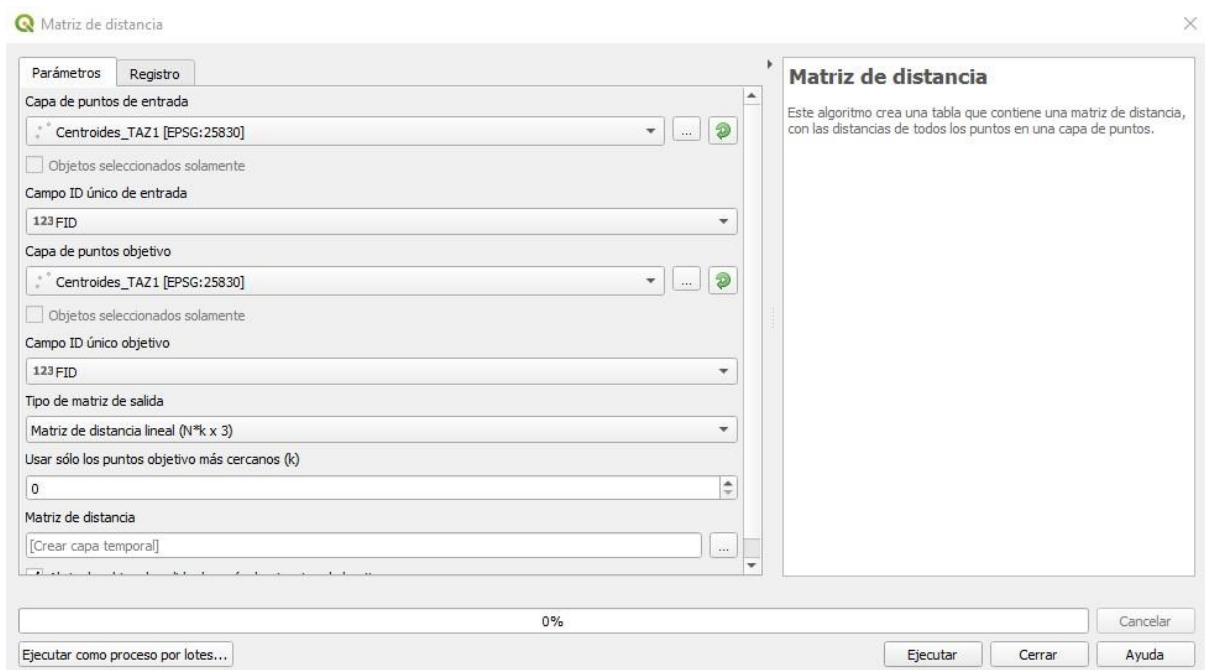


Figura 4-10. Parametros de análisis Matriz de Distancia

Para calcular la accesibilidad geografica se procedio de nuevo al uso de la Formula (1); se hizo el sumatorio de las distancias de cada columna de la Tabla 4 y se dividió entre 16. Los resultados y la comparación con la accesibilidad en tiempo de viaje se muestran en la siguiente página:

	Bi	Ai	Poblacion (aprox)	$\alpha_i (P_i/P)$	Ai Ponderada	Precio €/m <sup>2</sup>
BELLAVISTA	6510	65.125	20820	0.030110463	1.960943895	1280
CARTUJA	4552	52.5	22716	0.032852511	1.724756817	1300
TORREBLANCA-PALMETE	4846	64.875	24200	0.034998713	2.270541497	680
SEVILLA ESTE	4400	58.6875	52335	0.075688332	4.441958991	1700
PARQUE ALCOSA	5456	53.56	37113	0.053673852	2.874771539	1156
PINO MONTANO	4879	47.125	32000	0.04627929	2.180911528	1176
SAN JERONIMO	5039	48.31	24930	0.036054459	1.741790922	1083
NERVION	3127	31.93	51293	0.074181363	2.368610913	2522
PORVENIR	3582	32.93	35000	0.050617973	1.666849856	2645
TRIANA - LOS REMEDIOS	4172	45.3125	75957	0.109851125	4.977629116	2567
SANTA JUSTA	3173	35	30000	0.043386834	1.518539194	2022
HELIOPOLIS	4752	42.375	20820	0.030110463	1.275930865	2220
SAN PABLO	3336	37.3125	30000	0.043386834	1.618871248	1177
CASCO ANTIGUO	3512	33.5	60437	0.08740567	2.928089938	2928
TIRO DE LINEA-SUR	3847	45.6875	35000	0.050617973	2.312608648	1061
EL CERRO-AMATE	3706	42.3125	64200	0.092847825	3.928623596	1020
MACARENA	3802	38.125	74633	0.10793632	4.115072188	1338
			691454			

Tabla 5. Accesibilidad Geografica, Poblacion y precio medio del suelo.

Casualmente, los barrios con mayor Ai son tambien los que tienen una mayor Bi. En la Tabla 5 se muestran tambien la población aproximada de cada zona de estudio (con el fin de ponderar la accesibilidad de las zonas según la población) y el precio medio del metro cuadrado de la vivienda (valores obtenidos del portal Idealista).

Vease en la Tabla 5 como los valores de la Cartuja se han sombreado en color morado. Esto se ha hecho asi para recordar que en la Cartuja no hay viviendas, por lo que es un barrio donde no reside nadie. Asi pues, el valor de la población hace referencia al numero de empleados que hay en el PCT Cartuja y el precio del metro cuadrado no es de la vivienda sino de la oficina. Los resultados graficos se muestran a continuación:

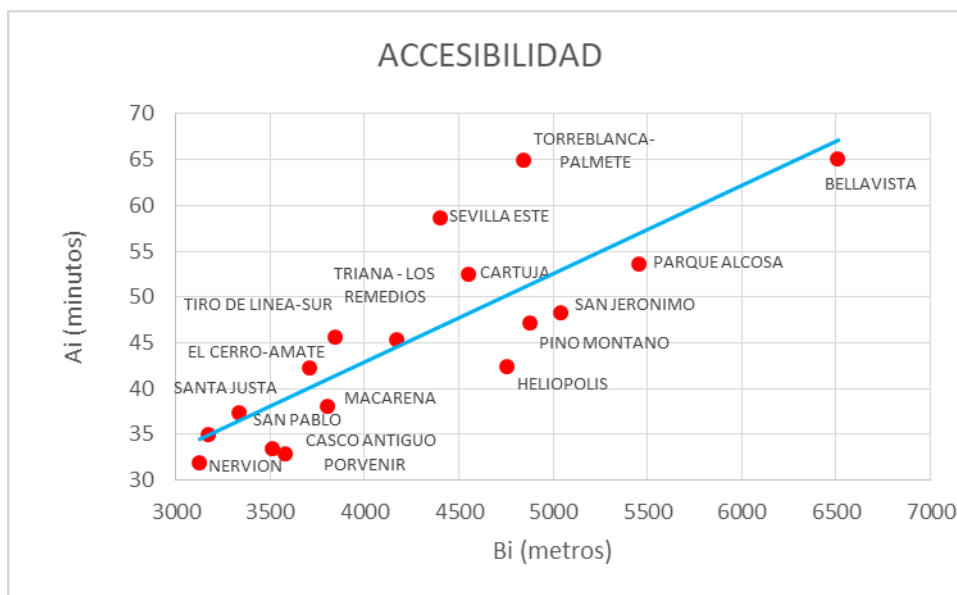


Figura 4-11. Accesibilidad.

De la Figura 4-11 observamos que en realidad, la zona con peor accesibilidad no es Bellavista, sino Torreblanca-Palmete. Esto es así ya que aun siendo la  $A_i$  parecidas en ambas zonas, la  $B_i$  de Torreblanca-Palmete es menor (esta a una distancia media menor del resto de barrios pero se tarda el mismo tiempo).

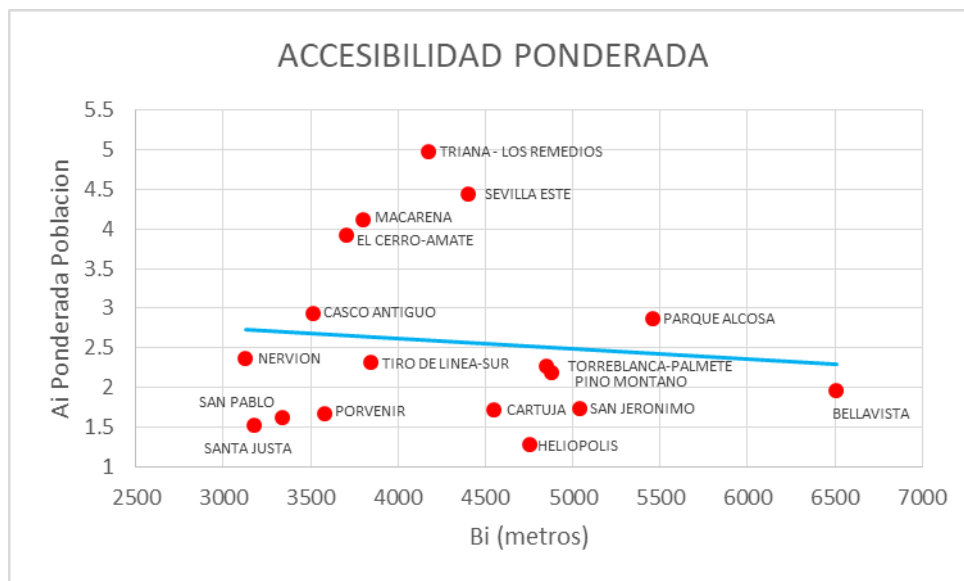


Figura 4-12. Accesibilidad Ponderada por la Poblacion.

Si ponderamos la accesibilidad según la población de cada barrio (Figura 4-12), vemos que las zonas más pobladas (Triana y Macarena por ejemplo) se encuentran en zonas con una relativa baja  $B_i$ . Es decir, no por contar las zonas con más población tienen estas mejores accesibilidades. Este fenómeno se refleja bien en Sevilla, donde la población se agrupa lejos del casco histórico.

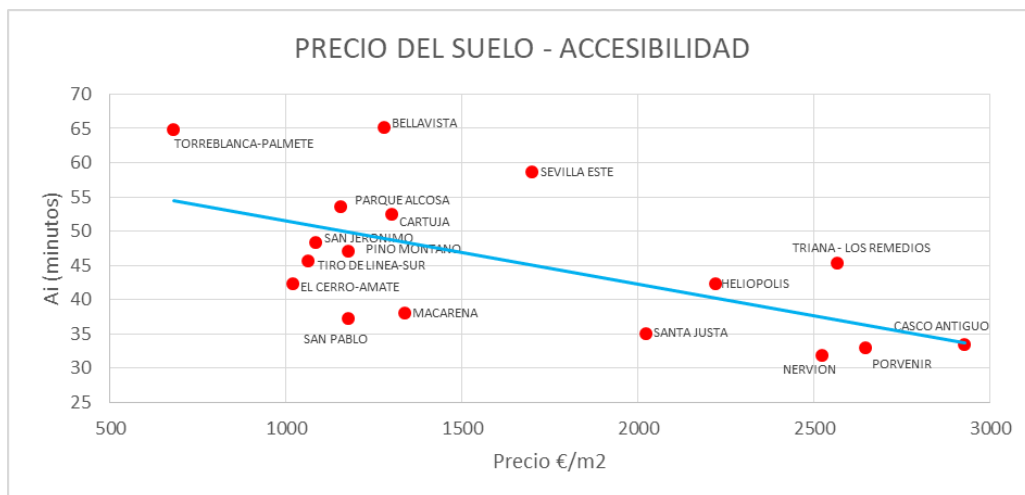


Figura 4-13. Precio del suelo-Accesibilidad.

En la Figura 4-13 se observa algo que era esperable y que mediante este estudio hemos confirmado; las zonas con mejor accesibilidad (tanto geográfica como en tiempo) son las más caras para vivir.

Otro dato que se ha comparado fue el de la distancia geográfica en línea recta ( $B_i$ ) frente al inverso de la accesibilidad ( $A_i^{-1}$ ). A mayor  $A_i$  más tiempo de viaje, es decir, peor accesibilidad. Por el contrario, a mayor  $A_i^{-1}$ , mejor accesibilidad.

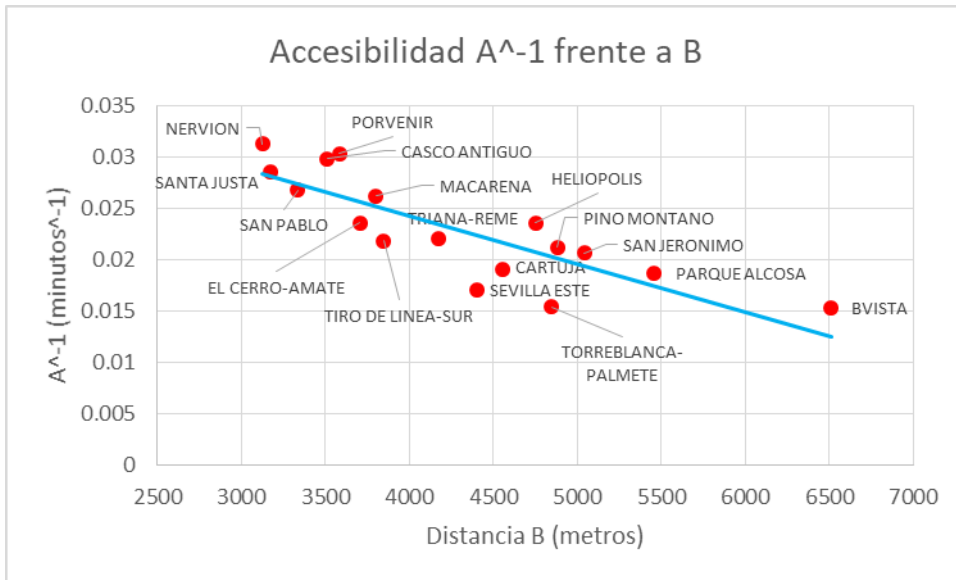


Figura 4-14. Inverso de la accesibilidad frente a la distancia.

### 4.3.2. Direcciones Privilegiadas

Otro estudio que se llevo a cabo en este TFG fue el de las direcciones privilegiadas, es decir, ver si en la ciudad de Sevilla existe alguna avenida/calle que por sus características urbanas permitan la rápida conectividad entre centroides. Para intentar sacar alguna conclusión se ha hecho un estudio de velocidad entre los orígenes/destino, dividiendo término a término los valores en kilómetros de la matriz indicada en la Tabla 4 entre los valores de los tiempos en horas mostrados en la Tabla 2. Para estos cálculos se ha tomado un tiempo adicional de transbordo de 10 minutos. La gráfica distancia-velocidad se muestra a continuación:

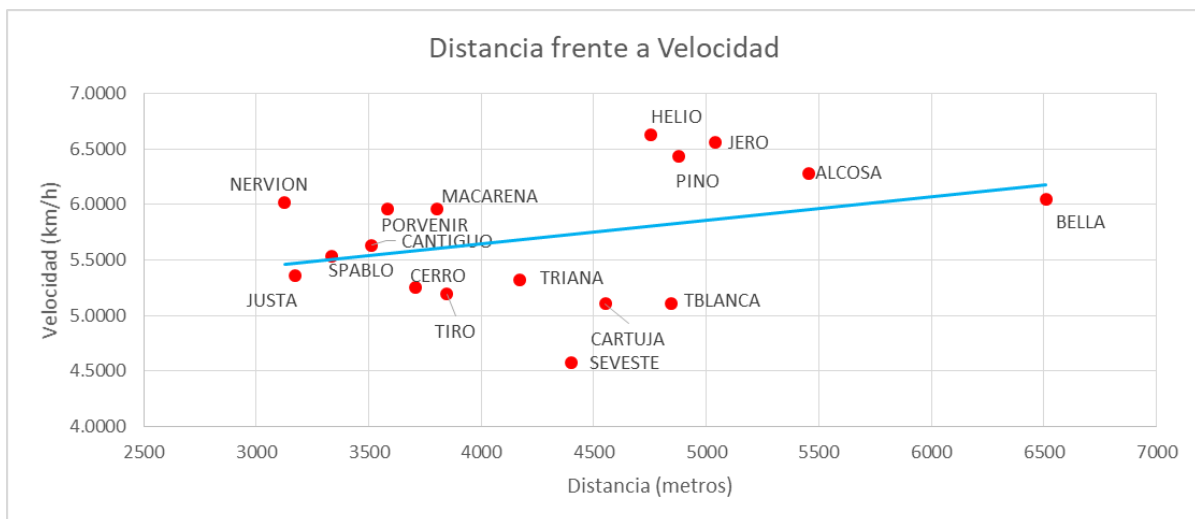


Figura 4-15. Velocidad media frente a distancia.

Es interesante ver de esta última figura como los centroides mas alejados del centro son los que cuentan con una mayor velocidad. La matriz de velocidades queda tal que:

Velocidad (Km/h)	BELVISTA	CARTUJA	TORREBLANCA	SESTE	P. ALGOSA	PIROTANO	S. ERONIMO	NERVION	PERPIÑER	TRAM-VEHENDOS	S. JUSTA	HELOPOLIS	SAN PABLO	C. ANTIQO	TIPO DE LINEA	EL CERRO	MACARENNA
BELVISTA	00	78	37	50	64	78	106	48	57	63	60	53	61	76	41	44	72
CARTUJA	80	00	51	48	55	62	68	50	64	57	43	73	39	34	44	57	47
TORREBLANCA-PALUETE	39	51	00	21	33	56	49	68	63	53	56	46	60	55	38	51	52
SEILLA ESTE	52	49	34	00	50	38	39	63	70	59	49	56	52	66	53	31	46
PARQUE ALGOSA	62	51	45	47	00	45	46	113	81	65	94	71	77	77	72	55	54
PINO MONTANO	86	63	47	36	63	00	51	110	77	70	61	91	44	68	65	62	62
SAN ERONIMO	101	62	41	39	76	57	00	69	93	77	70	110	44	67	59	58	62
NERVION	46	52	66	73	102	62	83	00	43	62	65	41	66	50	44	56	45
PERPIÑER	94	66	49	63	86	72	105	36	00	46	56	76	58	48	46	52	80
TRAMVA - LOS VEHENDOS	72	66	61	56	66	70	93	67	49	00	41	72	46	39	36	69	58
SANTA JUSTA	60	45	44	47	91	78	46	53	58	42	00	67	43	55	54	45	46
HELOPOLIS	52	70	47	57	67	66	724	41	72	67	69	00	82	82	61	65	85
SAN PABLO	61	45	57	48	74	50	45	80	54	58	45	85	00	59	89	66	77
CASO ANTIQO	81	31	50	63	75	74	70	48	46	32	55	80	57	00	49	51	59
TIPO DE LINEA	39	47	40	51	61	71	63	50	58	38	60	61	85	66	00	53	88
EL CERRO	44	59	47	33	43	70	62	73	59	64	42	65	58	57	53	00	80
MACARENNA	69	33	52	47	60	33	66	55	73	52	44	79	69	59	81	78	00

Tabla 6. Velocidades en Km/h

Los valores en rojo son las dos mayores velocidades de cada par O/D. Estas velocidades no se asemejan a las velocidades comerciales de TUSAM mostradas en la Figura 2-3, ya que se han tomados tiempos de transbordo y porque los desplazamientos entre centroides abarcan en muchas ocasiones varias líneas de bus urbano. De las velocidades marcadas en rojo en la Tabla 6, las líneas de bus urbano que más se repetían eran la **3, 2 y 28**. Viendo en QGIS las calles por las que discurren estas líneas se obtuvo de forma precipitada que las direcciones privilegiadas son:

- C/Torneo, Paseo Cristóbal Colon
- Avda. Kansas City
- Avda. Ronda Tamarguillo
- Avda. Montes Sierra

Todas estas vías casualmente, menos la última, cuentan con 3 carriles por sentido y un carril exclusivo para bus, lo que da a entender que el autobús urbano pueda circular de forma más rápida por estas avenidas. En cuanto a la **Avda. Montes Sierra**, se prevé que por esta circule un **bus BTR** que conecte Sevilla Este con Nervion (este tema se tratará más adelante en el TFG), lo que reafirma la idea de que esta avenida es una dirección privilegiada de la ciudad.



Figura 4-16. Carril bus en C/Torneo.

### 4.3.3. Radialidad

Por último para acabar este cuarto punto del TFG, a petición del tutor, se llevó a cabo un estudio para ver si hay relación entre la radialidad y la velocidad de los pares O/D. Para calcular la radialidad se midió el ángulo formado entre cada par O/D con la Plaza de la Campana (lugar céntrico de Sevilla) usando las coordenadas UTM  $x$  e  $y$  de cada centroide, las cuales se obtuvieron fácilmente de QGIS. Una vez obtenidas las coordenadas, haciendo uso del código de MATLAB que se muestra a continuación, se obtuvo el ángulo en grados decimales:

```
function [A] = Radialidad_Theta
%Angulo entre los centroides (17) y la Campana (Sevilla):
X=✓
[233596.117,235690.804,236649.793,236997.013,238418.962,240452.679,237889.864,240022.7✓
88,240849.502,236674.594,233968.138,234980.863,237344.233,235806.544,236071.093,236368✓
.71,235376.653]; %X_UTM
Y=✓
[4143314.117,4138353.831,4141412.674,4139560.834,4140569.425,4140784.371,4142851.157,4✓
142818.088,4144322.708,4136129.969,4141230.797,4142433.666,4145943.069,4145976.137,414✓
4289.64,4142801.554,4140569.425]; %Y_UTM
C=[234843.422,4142644.478]; %Coordenadas de la Campana
xc=C(1);
yc=C(2);
A=[]; %Matriz vacia para almacenar los resultados

for i=1:17
    for j=1:17
        if i==j
            A(i,j)=0;
        else
            w = [X(i)-xc,Y(i)-yc]; %Vector1
            mod1=sqrt(w(1).^2+w(2).^2); %Modulo del vector 1
            u = [X(j)-xc,Y(j)-yc]; %Vector 2
            mod2=sqrt(u(1).^2+u(2).^2); %Modulo del vector 2
            CosTheta= w*u' / (mod1*mod2);
            %
            A(i,j)=abs(CosTheta);
            A(i,j)= CosTheta;
            j=j+1;
        end
    end
    i=i+1;
end
end
```

Figura 4-17. Código usado en MATLAB para el cálculo de los angulos.

El código es de elaboración propia y supervisado por el tutor Jose Maria del Castillo Granados. Tal y como se ve en la imagen superior, el uso de dos bucles `for` da como resultado una matriz. La relación entre el ángulo medio y la velocidad se muestra en la siguiente figura:

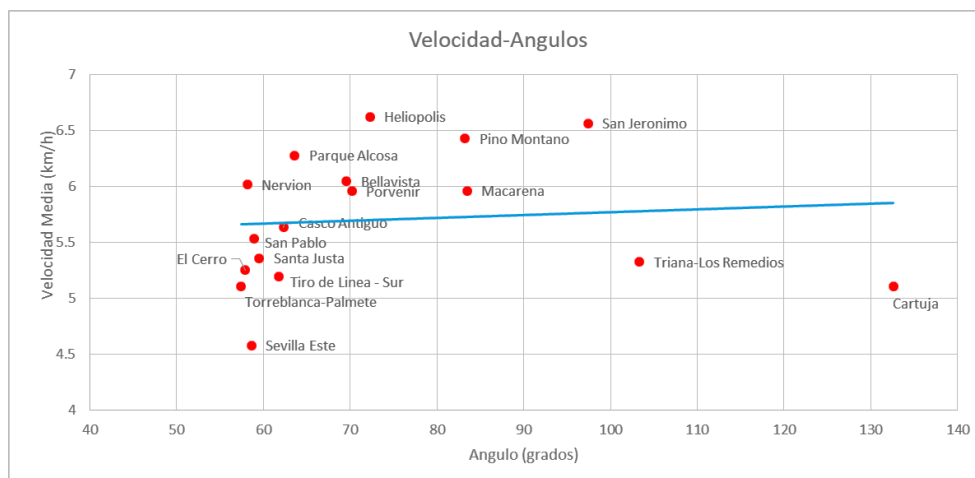


Figura 4-18. Velocidad frente a angulos.



Según se ve en la Figura 4-18, no hay una alta correlación entre la radialidad y la velocidad, si mostramos esa misma línea de regresión sin tener en cuenta los centroides de Cartuja y Triana-Los Remedios (los situados más al este y que distorsionan los resultados) obtenemos una grafica más representativa:

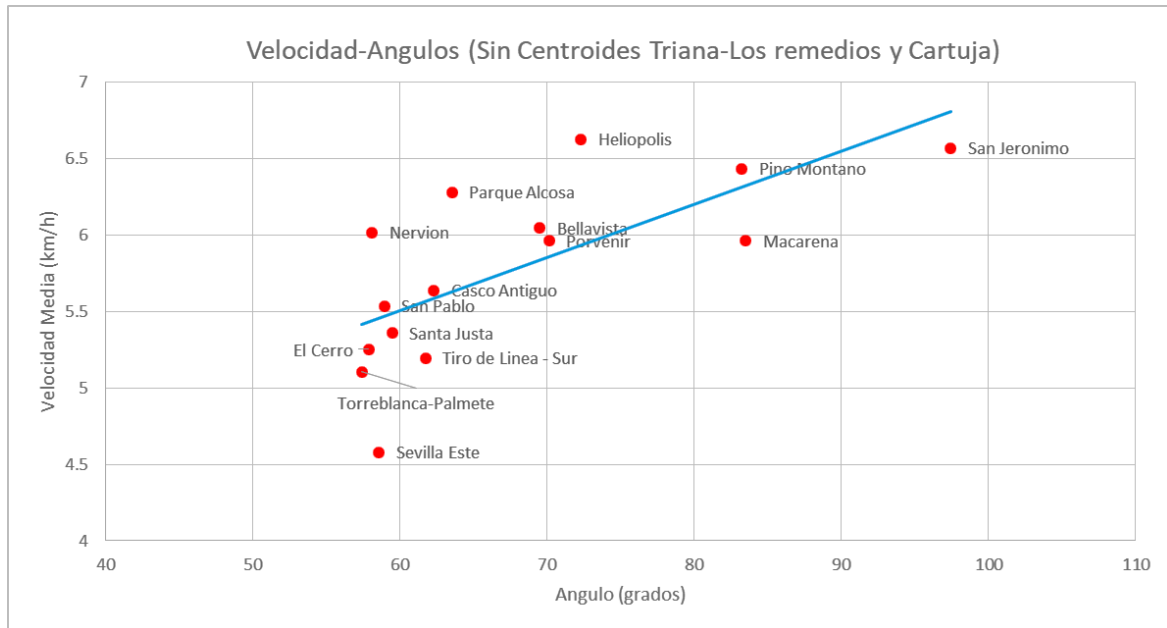


Figura 4-19. Velocidad frente a angulos sin los centroides del Distrito Triana.

Para concluir y obtener datos mas rigurosos (con el fin de ver si la red beneficia o no a las rutas mas radiales) se muestra la regresión con los 17x16 pares origen/destino, es decir una muestra mas desagregada que tomando valores medios.

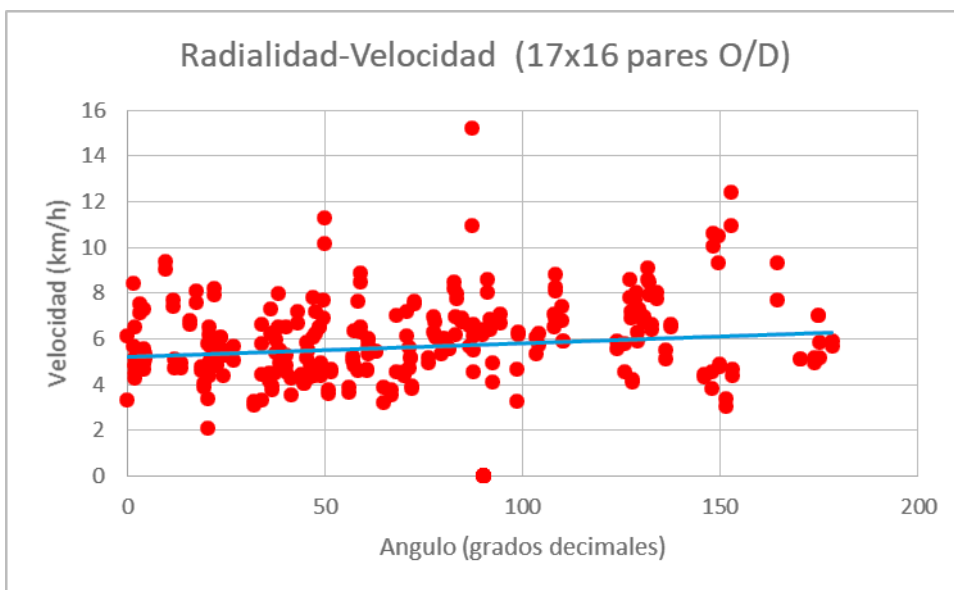


Figura 4-20. Velocidad frente a angulos de todos los pares.

De esta última imagen observamos la poca pendiente de la línea de regresión, por lo que esto quiere decir que el efecto del angulo no es significativo en la velocidad.

### 4.3.4. Resultados

A lo largo de este cuarto punto se han mostrado un total de 8 gráficas con una línea de regresión en cada una. Se presentan a continuación los datos estadísticos de estas graficas (prestando especial interés al coeficiente de correlacion  $R^2$  y al valor de p, el cual si  $p < 0.05$  nos indica que el coeficiente es significativo). Los datos que a continuación se muestran han sido calculados mediante el complemento de Excel “Análisis de Datos” con la función “Regresión”:

Resumen Bi-Ai (Figura 4-11).								
<i>Estadísticas de la regresión</i>								
Coeficiente de correlación múltiple	0.77476128							
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.600255042							
R <sup>2</sup> ajustado	0.57170183							
Error típico	6.300668277							
Observaciones	16							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F			
Regresión	1	834.552787	834.552787	21.02233039	0.000424402			
Residuos	14	555.7775376	39.69839554					
Total	15	1390.330325						
	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	1.830713615	9.405591569	0.194640986	0.848470263	-18.34227397	22.0037012	-18.34227397	22.0037012
	6510	0.010278646	0.002241793	4.585011493	0.000424402	0.005470479	0.015086814	0.015086814
Resumen Bi-Ai(-1) (Figura 4-14)								
<i>Estadísticas de la regresión</i>								
Coeficiente de correlación múltiple	0.816314009							
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.666368561							
R <sup>2</sup> ajustado	0.642537744							
Error típico	0.002931672							
Observaciones	16							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F			
Regresión	1	0.000240329	0.000240329	27.96247227	0.00011465			
Residuos	14	0.000120326	8.5947E-06					
Total	15	0.000360655						
	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0.046341477	0.004376381	10.58899595	4.57706E-08	0.036955074	0.05572788	0.036955074	0.05572788
	6510	-5.51585E-06	1.0431E-06	-5.287955396	0.00011465	-7.75307E-06	-3.27863E-06	-3.27863E-06
Resumen Precio-Ai (Figura 4-13)								
<i>Estadísticas de la regresión</i>								
Coeficiente de correlación múltiple	0.623981173							
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.389352504							
R <sup>2</sup> ajustado	0.345734826							
Error típico	7.787360323							
Observaciones	16							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F			
Regresión	1	541.3285934	541.3285934	8.926483928	0.009786768			
Residuos	14	849.0017312	60.6429808					
Total	15	1390.330325						
	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	58.36868206	5.081067678	11.48748369	1.63454E-08	47.47087574	69.26648838	47.47087574	69.26648838
	1280	-0.008436037	0.002823568	-2.987722197	0.009786768	-0.014491989	-0.002380086	-0.002380086
Resumen Bi-Ai ponderada (Figura 4-12)								
<i>Estadísticas de la regresión</i>								
Coeficiente de correlación múltiple	0.014952186							
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.000223568							
R <sup>2</sup> ajustado	-0.071189034							
Error típico	1.193937654							
Observaciones	16							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F			
Regresión	1	0.004462701	0.004462701	0.00313065	0.956170562			
Residuos	14	19.95681972	1.425487123					
Total	15	19.96128242						
	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	2.719912639	1.782301973	1.526067233	0.149263866	-1.102744906	6.542570184	-1.102744906	6.542570184
	6510	-2.37688E-05	0.000424806	-0.055952213	0.956170562	-0.000934887	0.000887349	0.000887349

Resumen B-V (Figura 4-15)									
Estadísticas de la regresión									
Coefficiente de correlación múltiple		0.301279482							
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>		0.090769326							
R <sup>2</sup> ajustado		0.025824278							
Error típico		0.593181554							
Observaciones		16							
ANÁLISIS DE VARIANZA									
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F				
Regresión	1	0.491777148	0.491777148	1.397632748	0.256811069				
Residuos	14	4.926100991	0.351864357						
Total	15	5.417878139							
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%	
Intercepción	6510	4.650465538	0.885497371	5.251811793	0.000122442	2.751262564	6.549668513	2.751262564	6.549668513
		0.000249513	0.000211055	1.182215187	0.256811069	-0.000203156	0.000702182	-0.000203156	0.000702182
Resumen Angulo-V (Figura 4-18)									
Estadísticas de la regresión									
Coefficiente de correlación múltiple		0.427564649							
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>		0.182811529							
R <sup>2</sup> ajustado		0.124440924							
Error típico		0.548842073							
Observaciones		16							
ANÁLISIS DE VARIANZA									
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F				
Regresión	1	0.943418045	0.943418045	3.131910817	0.098540328				
Residuos	14	4.217186693	0.301227621						
Total	15	5.160604738							
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%	
Intercepción	132.6069182	4.541698293	0.691579747	6.567136062	1.2582E-05	3.058407259	6.024989327	3.058407259	6.024989327
		0.017174937	0.009704886	1.769720548	0.098540328	-0.003639974	0.037989848	-0.003639974	0.037989848
Resumen (Figura 4-19)									
Estadísticas de la regresión									
Coefficiente de correlación múltiple		0.71773688							
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>		0.515146228							
R <sup>2</sup> ajustado		0.474741747							
Error típico		0.411537714							
Observaciones		14							
ANÁLISIS DE VARIANZA									
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F				
Regresión	1	2.159336238	2.159336238	12.74973013	0.003847607				
Residuos	12	2.032359478	0.16936329						
Total	13	4.191695715							
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%	
Intercepción	72.26917566	3.487953427	0.631336202	5.524716338	0.000130964	2.112390011	4.863516843	2.112390011	4.863516843
		0.03299177	0.009239641	3.570676424	0.003847607	0.012860321	0.053123219	0.012860321	0.053123219
Resumen Angulo-V (Figura 4-20)									
Estadísticas de la regresión									
Coefficiente de correlación múltiple		0.128826309							
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>		0.016596218							
R <sup>2</sup> ajustado		0.013157743							
Error típico		2.173489224							
Observaciones		288							
ANÁLISIS DE VARIANZA									
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F				
Regresión	1	22.80122978	22.80122978	4.826622003	0.028825614				
Residuos	286	1351.079847	4.724055409						
Total	287	1373.881077							
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%	
Intercepción	90	5.24023263	0.24094224	21.74891638	1.44434E-62	4.765987645	5.714477616	4.765987645	5.714477616
		0.006101916	0.002777439	2.196957442	0.028825614	0.000635101	0.01156873	0.000635101	0.01156873

Tabla 7. Resultados estadísticos de las graficas.

En amarillo están sombreados los valores del R<sup>2</sup> y de p (Valor crítico de F). Las regresiones de las Figuras 4-12, 4-15 y 4-18 son las únicas que tienen un valor de p superior al 0'05.

# 5 ACCESIBILIDAD USANDO ARCGIS

En este quinto capítulo del TFG se muestra un estudio gráfico de la accesibilidad entre los barrios de Sevilla, así como de la accesibilidad a las paradas de cercanías y a los intercambiadores de la ciudad. Este estudio se ha llevado a cabo a través del programa ArcGIS, mediante su extensión Network Analyst, la cual es una herramienta frecuentemente usada en estudios relacionados con la Ingeniería del Transporte.

## 5.1. Red Multimodal de Transporte de Sevilla

Para llevar a cabo este estudio se hizo uso de una **Red Multimodal de Transporte de Sevilla**. La creación de esta Red fue objeto de un TFG realizado en el año 2020 por Francisco Jiménez Zamora y cuya tutora fue Doña Cristina Torrecillas Lozano. Esta última, amablemente, me paso dicha red para poder realizar los estudios que se muestran en este capítulo. Esta red multimodal es también usada en una de las prácticas de la asignatura Geomatica & SIG, impartida en el 4º curso de GIC.

Brevemente, en este apartado se describirá las características de esta Red Multimodal.

### 5.1.1 Datos Espaciales

Para conformar la Red Multimodal se necesitan de datos espaciales y de datos alfanuméricos. De los datos espaciales se necesitan de: viario urbano de Sevilla (ver figura 5-1), paradas y líneas de TUSSAM (ver figuras 2-1 y 2-2), carriles bici y estaciones de SEVICI y, línea 1 y estaciones del Metro de Sevilla.

Los datos espaciales obtenidos tanto líneas de autobús, metro y carril bici como sus correspondientes paradas o estaciones de metro y SEVICI pertenecen a la página de Infraestructura de Datos Espaciales de Sevilla (ide.sevilla). A excepción de la red de viario urbano, ya que sus datos espaciales proceden de un servidor libre de descarga (Geofabrik.de) una web alemana que contiene datos espaciales procedentes de OpenStreetMap. [9]

Todos los mapas han sido representados en coordenadas proyectadas **UTM ETRS89 Huso 30N** (en código EPSG: 25830).

El motivo por el que se obtuvo el viario de Sevilla de la web Geofabrik, es porque este incluye un campo con los sentidos de circulación llamado “oneway”:

- **oneway**. Campo en el que se recoge si la vía no es transitable por vehículos motorizados, es de doble sentido o de sentido único y su sentido.

Cabe destacar que las calles de un único sentido tienen el sentido implícito en el mismo valor del campo, siendo este expresado en función de la dirección en la que se creó dicha línea en los datos espaciales.

- F vía de sentido único, que va en el sentido correcto al de su trazado
- T vía de sentido único, que va en el sentido contrario al de su trazado
- B vía de doble sentido
- N vía en la que no está permitida la circulación de vehículos motorizados

La línea 1 del metro con sus respectivas paradas se muestra en la Figura 6-5. De lo referente al SEVICI no se nombra nada ya que no va a ser usado en este estudio de accesibilidad.

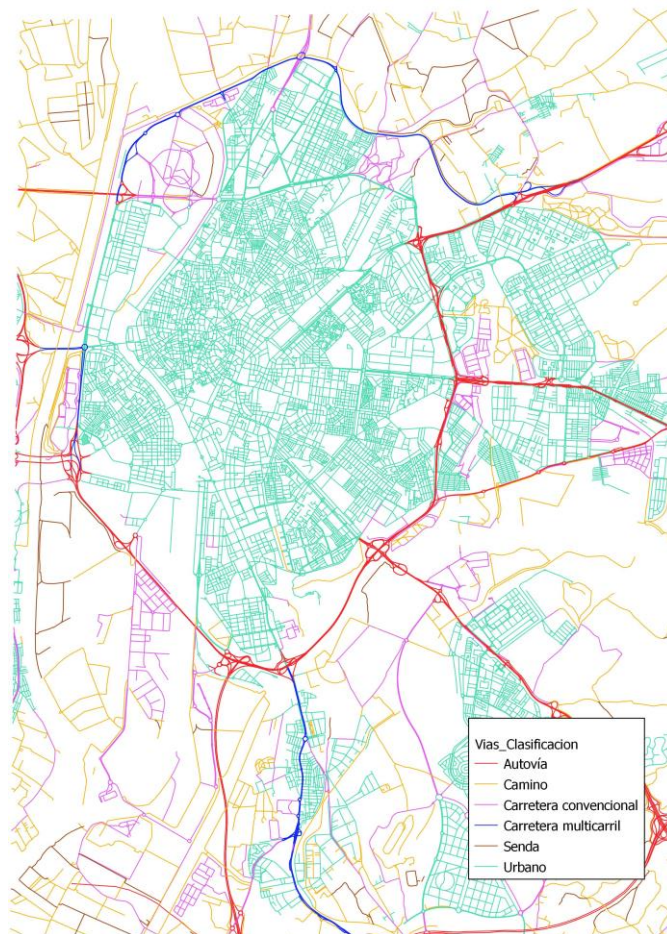


Figura 5-1. Viario Urbano de Sevilla.

Fuente: Elaboracion propia en QGIS

En cuanto a las velocidades, la capa de las líneas de TUSSAM incluye un campo con los valores de la velocidad comercial mostrada en la Figura 2-3, la capa de viario urbano tiene también otro campo con la velocidad máxima permitida en cada vía, y la capa de la línea de metro tiene un campo con la velocidad media (40 km/h).

## 5.2. Creación del Dataset de Red Multimodal

Crear una Red Multimodal en ArcGIS es como crear un árbol de caminos mínimos desde cero. Se van a definir pues los caminos por los que puede desplazarse un usuario (calles de Sevilla, líneas de TUSSAM, línea de metro...), datos de elevaciones y de conectividad entre modos de transporte (una parada de bus urbano conecta pues el modo a pie con el modo autobús por ejemplo), atributos de red, restricciones y la configuraciones de los modos de viaje.

Puesto que no es el motivo de este TFG, en este documento se muestra solo algunas de estas configuraciones de la Red Multimodal. Para indagar más en la creación de la Red Multimodal se recomienda ver el TFG completo del propio Francisco Jiménez Zamora.



Figura 5-2. Pagina principal de la herramienta Network Analyst.

### 5.2.1 Conectividad

En la siguiente figura se muestra la conectividad entre los distintos modos de transporte que confluyen en la Red Multimodal. Las 4 columnas se deben leer de arriba hacia abajo para una correcta interpretación.

Se han creado diferentes dataset de entidades de líneas para completar la base de datos obtenida. Estos archivos se utilizarán posteriormente como punto de unión entre las diferentes redes, ya que sin ellos quedarían inconexas y no sería posible la intermodalidad entre las diferentes formas de desplazamiento. Teniendo así que elegir un único modo de viaje cuando en la realidad existe la posibilidad de cambiar de medio de transporte cuando el usuario lo estime oportuno. [9]

Grupos de conectividad:

Fuente	Política de Conectividad	1	2	3	4
Bus	Extremo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Calles	Extremo	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CarrilBici	Extremo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Metro	Extremo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Transfer_Calles_Bus	Extremo	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Transfer_Calles_Metro	Extremo	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Transfer_Calles_Sevici	Extremo	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Transfer_CarrilBici_Sevici	Extremo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estaciones_Bus	Honor	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estaciones_Bus_Ref	Honor	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estaciones_Metro	Honor	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Estaciones_Sevici	Honor	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 5-3. Conectividad entre los modos de transporte.

## 5.2.2 Atributos de Red

Los atributos de red son las propiedades de los elementos de red, con ellos se consigue controlar la movilidad de la red y tienen las siguientes características básicas: nombre, uso, unidades y tipo de datos.

El uso de los atributos describe el modo en que se usará dicho atributo durante el análisis. Puede ser un coste, un descriptor, una restricción o una jerarquía.

- **Coste:** se usa para medir y modelar las impedancias, como la distancia o el tiempo de viaje y se miden en función de la longitud del elemento. Estos atributos sirven para resolver un problema de minimización y con ellos se podrá obtener la ruta más rápida o corta, dependiendo de la impedancia que usemos para ello.
- **Descriptor:** se usa para describir las características de la red o de sus elementos y no depende de la longitud de los elementos.
- **Restricción:** se usa para prohibir, evitar o preferir elementos de la red. Se definen usando tipos de datos booleanos, esto hace que se evalúe el elemento y de un resultado positivo (no hay restricción) o negativo (hay restricción).
- **Jerarquía:** se usa para establecer una clasificación a los elementos de la red. Este tipo de atributos sirven para minimizar el tiempo de resolución del programa, ya que prioriza la resolución para las jerarquías de mayor rango. Un ejemplo claro es la preferencia de un conductor a conducir por autovía antes que hacerlo por una carretera secundaria. [9]

Especificar los atributos para el dataset de red:

!	⊕	Nombre	Uso	Unidades	Tipo de datos	
	⊕	Bici	Restricción	Desconocido	Booleano	Add...
	⊕	Bus_Metro	Restricción	Desconocido	Booleano	Eliminar
	⊕	Car	Restricción	Desconocido	Booleano	Remove All
		DriveTime	Coste	Minutos	Doble	Rename
	⊕	Longitud	Coste	Metros	Doble	Duplicate
		Oneway_Bus	Restricción	Desconocido	Booleano	Ranges...
	⊕	Oneway_Driving	Restricción	Desconocido	Booleano	Parámetros...
		PedestrianTime	Coste	Minutos	Doble	Evaluators...
		Walk	Restricción	Desconocido	Booleano	

Figura 5-4. Atributos de Red.

### 5.2.2.1 Atributos de Coste

- **DriveTime:** Este atributo se utiliza para establecer impedancias de tiempo de viaje en **vehículo propio**, por lo que únicamente tendrá valores en la clase de elementos de “calles”, ya que los vehículos únicamente podrán transitar a lo largo de las calles. Estos valores serán los tiempos en minutos que tardarán en recorrer ese elemento de la red.

- **PedestrianTime:** Este atributo se utiliza para establecer impedancias de tiempo de viaje en un método de transporte diferente al vehículo propio, es decir, al **tránsito a pie por las calles, la utilización de transporte público ya sea bus o metro y utilización de bicicletas**. Estos valores serán los tiempos en minutos que tardarán en recorrer los elementos de la red en dicho método de transporte. Suponiendo que un individuo se desplaza a una velocidad de 6 km/hora, el tiempo caminando en minutos será  $[Metros]*60/5000$  donde  $[Metros]$  es el campo que contiene la longitud del elemento en metros.
- **Meters (Longitud):** Este atributo se utiliza para establecer los costes de las distancias de viaje, es decir, mide la longitud de los elementos de la red. Estos valores serán las distancias en metros de cada uno de los elementos de la red.

### 5.2.2.2 Atributos de Restricción

- **Car:** Establece una restricción de uso de los elementos de red cuando se circula en con coche. En este caso se han restringido todos los elementos excepto las entidades de tipo “calle”
- **Oneway\_Driving:** Establece una restricción de circulación para las calles de un único sentido cuando se circula en coche. Este atributo se utilizará juntamente con el atributo de restricción “Car” y se modelará con un programa de VB Script.
- **Bici:** Establece una restricción de uso de los elementos de red cuando se circula en **bicicleta o a pie**. En este caso se han restringido todos los elementos excepto las entidades de tipo “bici”, “calles” y sus correspondiente transfers, ya que el individuo podrá seleccionar ir en bici o a pie, en función de la distancia/tiempo que tarde con cada una de ellas.
- **Bus\_Metro:** Establece una restricción de uso de los elementos de red cuando se desplace en **transporte público**, ya sea en bus o metro, o a pie. En este caso se han restringido todos los elementos excepto las entidades de tipo “Bus”, “Metro”, “Calles” y sus correspondiente transfers, ya que el individuo podrá seleccionar ir en transporte público o a pie, en función de la distancia/tiempo que tarde con cada una de ellas.
- **Oneway\_Bus:** Establece una restricción de circulación cuando se utiliza el autobús, ya que líneas únicamente tienen un sentido. Este atributo se utilizará juntamente con el atributo de restricción “Bus\_Metro” y se modelará con el mismo programa de VBScript que se ha modelado “Oneway\_Driving”.

### 5.2.3 Modos de Viaje

Los modos de viaje de un dataset de red modelan las diferentes formas en las que un individuo puede desplazarse, ya sea a pie, en coche, en bicicleta u otro medio de transporte.

La creación de un modo de viaje se basa en la asignación de los atributos de red que están permitidos en dicha forma de desplazarse, así no será necesario seleccionar los atributos de red para cada ruta creada, si no que únicamente habrá que seleccionar el modo de transporte deseado.

Al realizar un análisis, seleccionar un modo de viaje permite definir de manera eficaz las propiedades adecuadas para dicho tipo de viaje. Las ventajas de crear los modos de viaje son el ahorro considerado de tiempo y una menor complejidad, ya que no será necesario realizar una selección de atributos para cada ruta, únicamente se tendrá que definir el modo de viaje en el que es realizada. [9]



Para todos los resultados que se muestran tanto en este capítulo 5 como en el capítulo 6 de este TFG, se definió un modo de viaje usando solo transporte público (bus urbano y metro pero no bici), otro usando solo el coche y un último modo de transporte solo a pie. Las características de los modos de viaje se muestran en la siguiente figura:

Modo de viaje: Tussam/Metro

Usar de forma predeterminada  
Modo de viaje predeterminado: Tussam/Metro

Configuración

Description: El usuario solo puede ir andando o en transporte publico (bus o metro).

Tipo: Caminar

Impedancia: PedestrianTime (Minutos)

Atributo de tiempo: PedestrianTime (Minutos)

Atributo de distancia: Longitud (Metros)

Cambios de sentido en: Permitido

Tolerancia de simplificación:  0

Utilizar jerarquía

Valores de parámetro...

Restricciones

Bici

Bus\_Metro

Car

Oneway\_Bus

Oneway\_Driving

Walk

Figura 5-5. Modo de viaje.

### 5.3. Areas de servicio (resultados)

Una vez definidas todas las características de la Red Multimodal nos disponemos a calcular las áreas de servicio para cada uno de los 17 centroides. Las áreas de servicio están representadas en intervalos de 10 minutos.

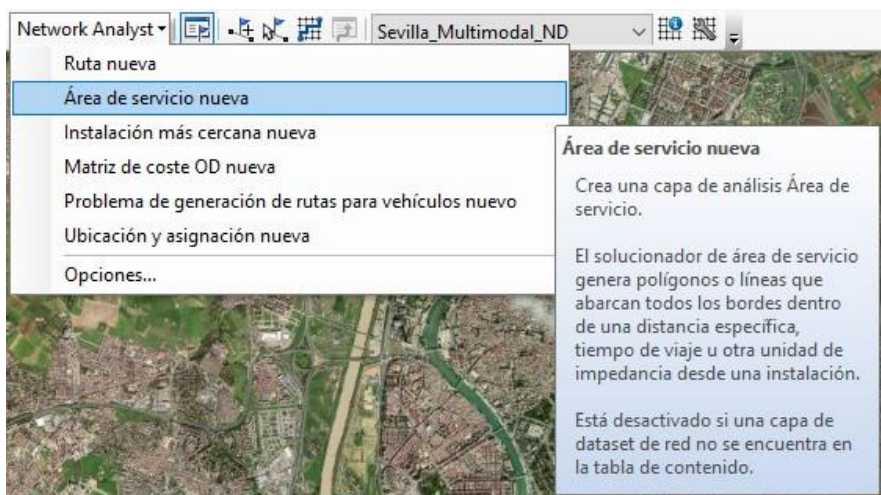


Figura 5-6. Areas de Servicio.

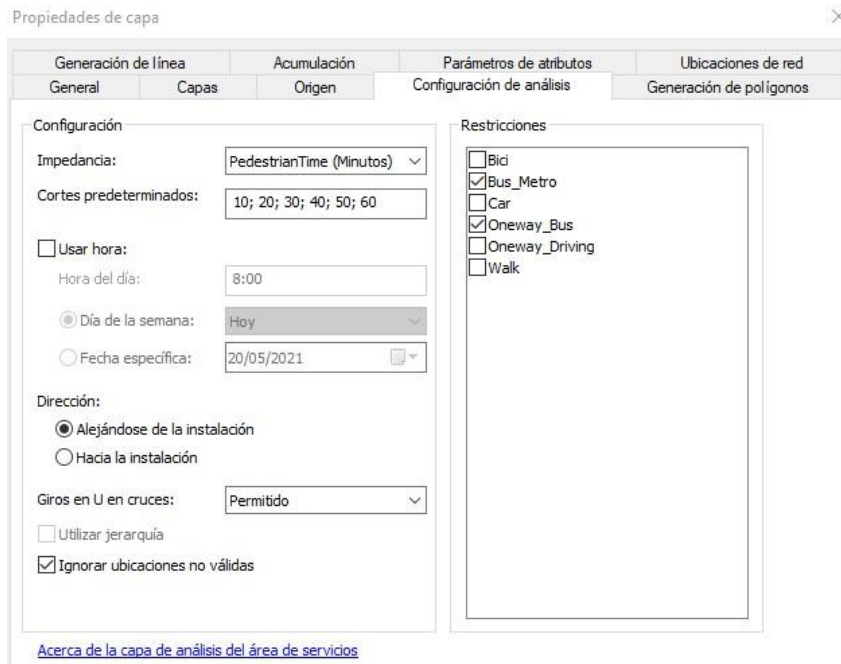


Figura 5-7. Características de la capa Area de Servicio.

Vease en la figura superior como en costes predeterminados se han fijado los intervalos de 10 en 10 minutos. Se muestran a continuación todas las áreas de servicio:

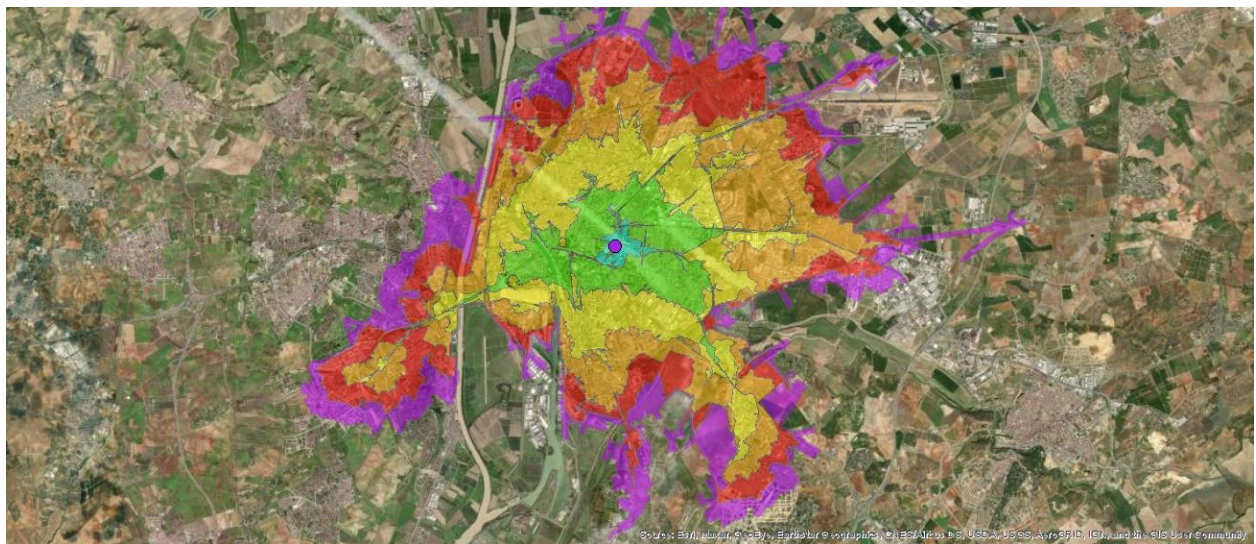


Figura 5-8. Area de Servicio NERVION.

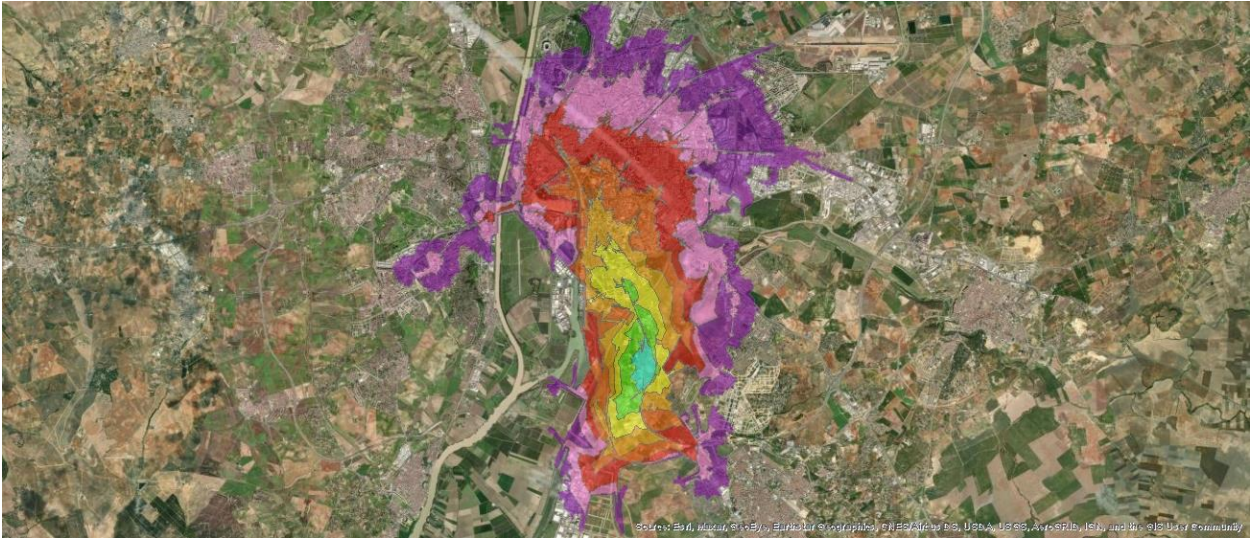


Figura 5-9. Area de Servicio BELLAVISTA.

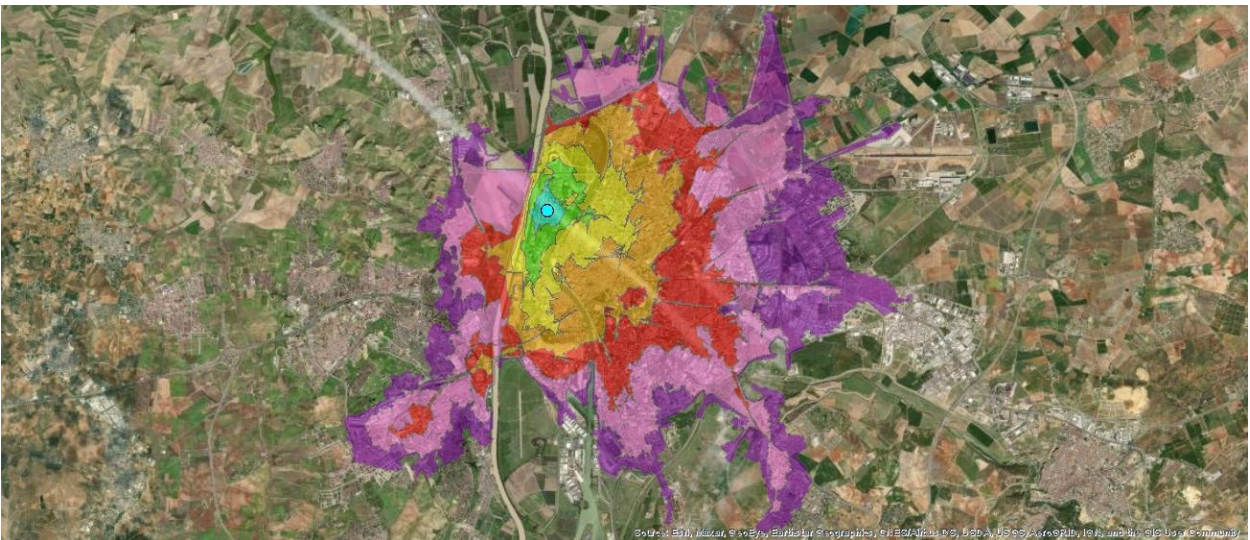


Figura 5-10. Area de Servicio CARTUJA.

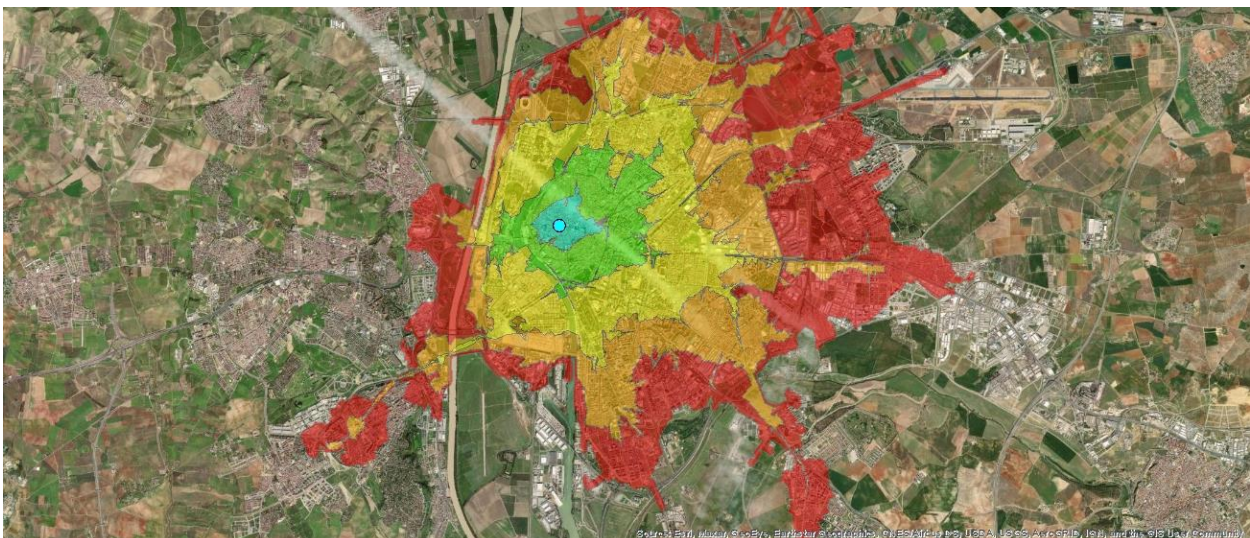


Figura 5-11. Area de Servicio CASCO ANTIGUO.

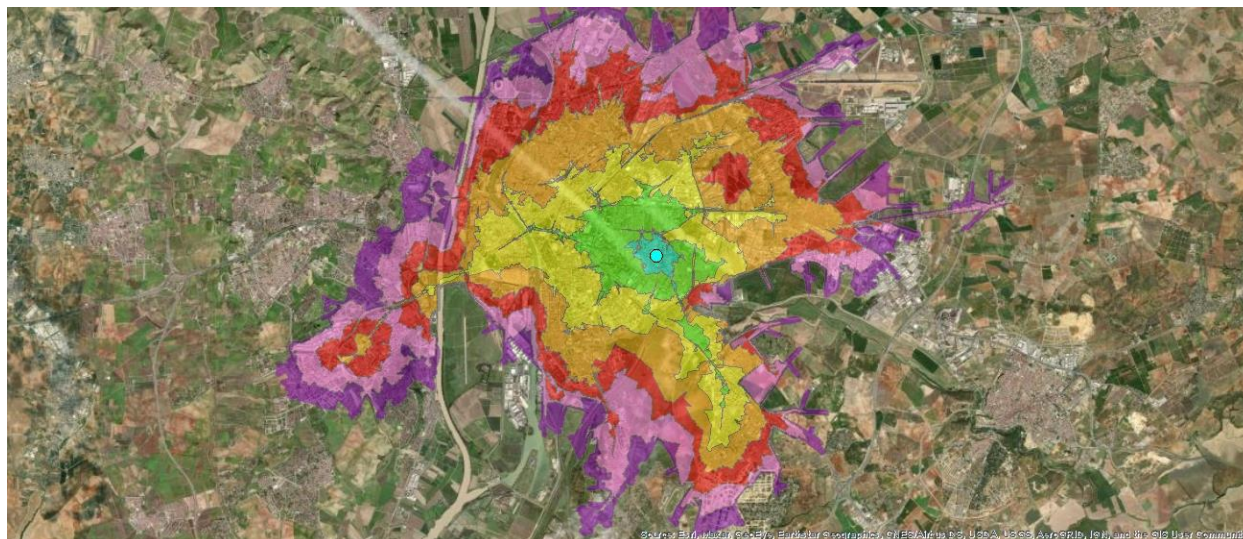


Figura 5-12. Area de Servicio CERRO DEL AGUILA.

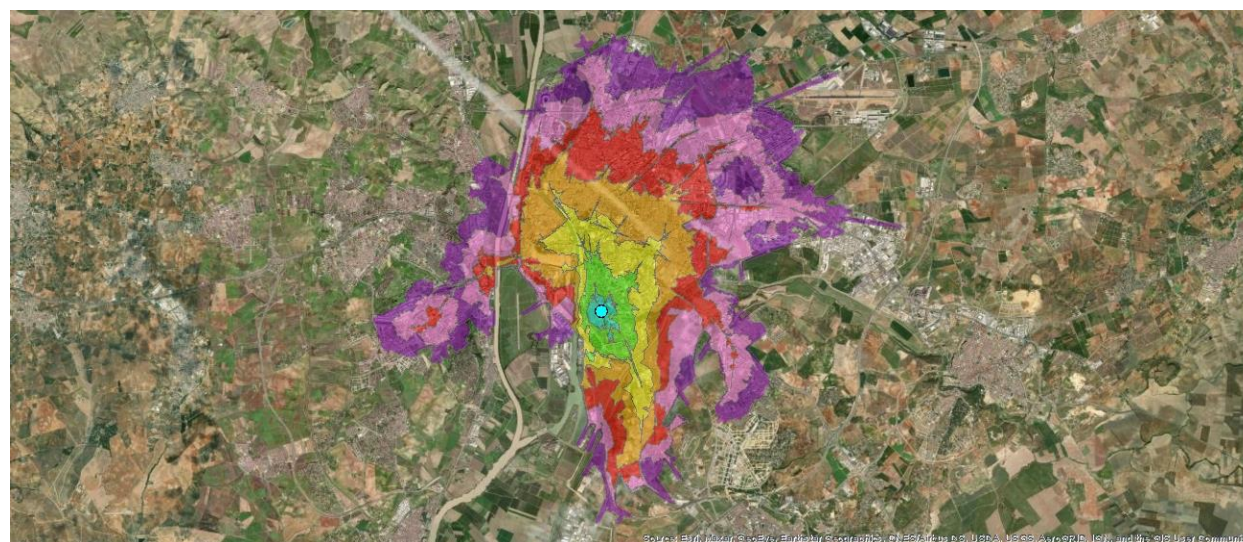


Figura 5-13. Area de Servicio HELIOPOLIS.

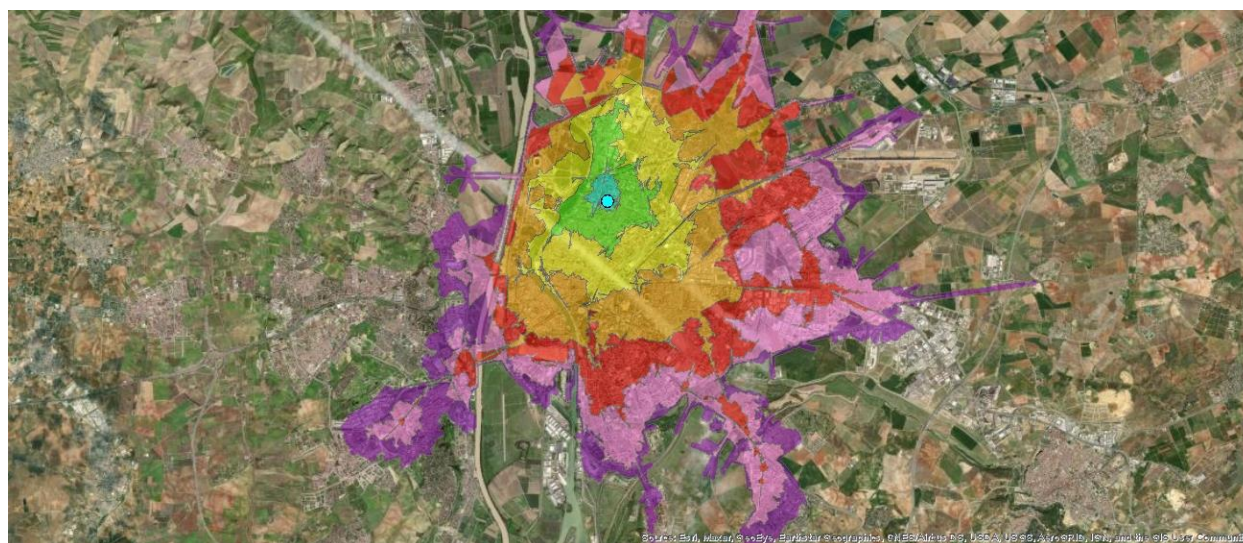


Figura 5-14. Area de Servicio MACARENA.

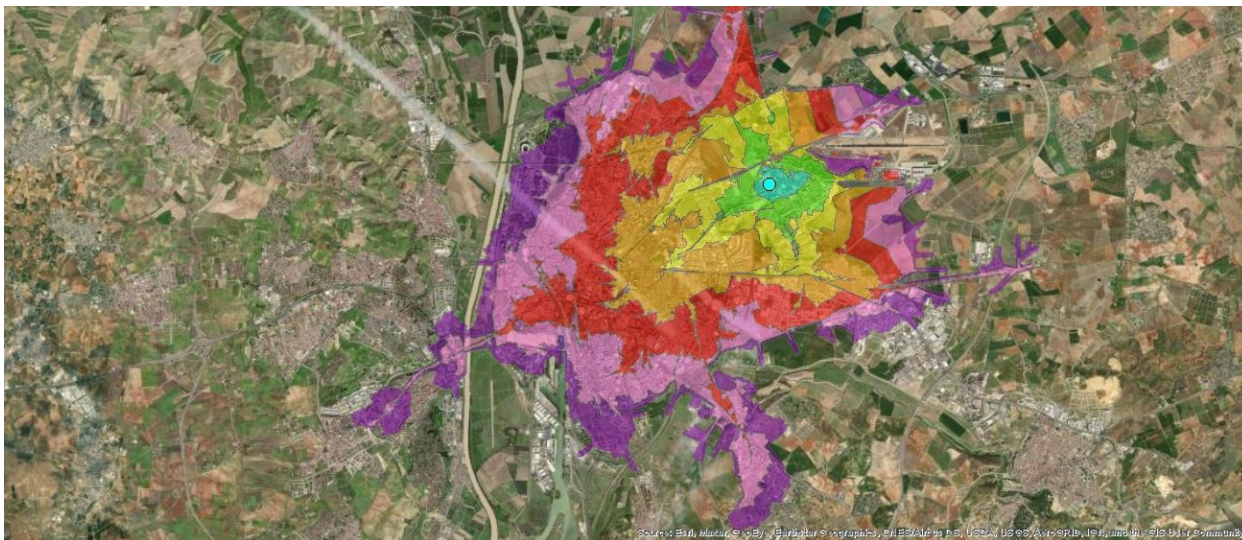


Figura 5-15. Area de Servicio PARQUE ALCOSA.

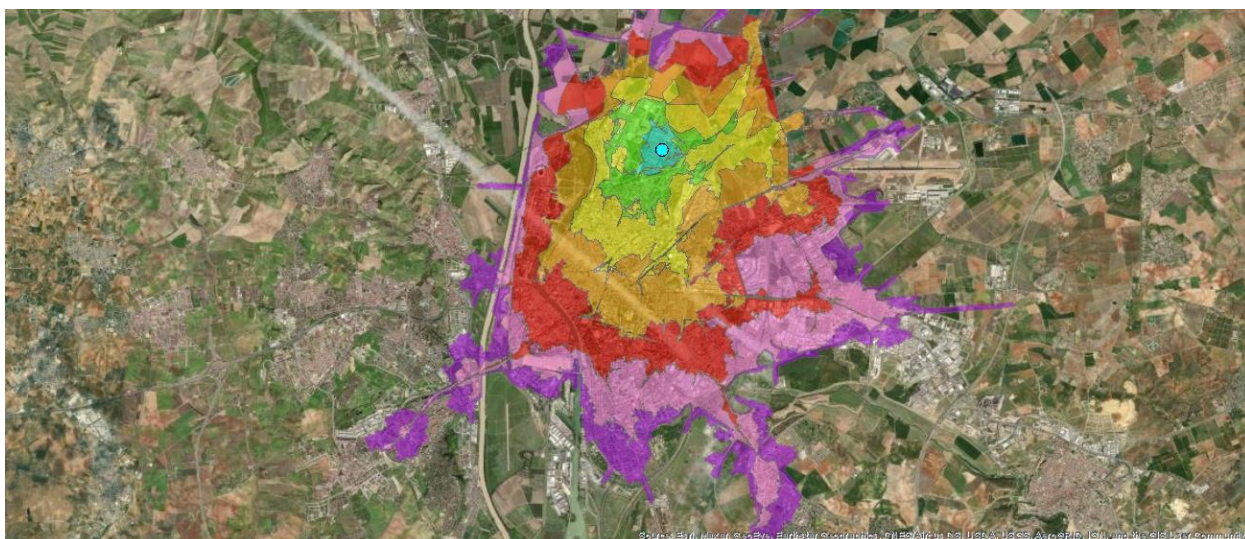


Figura 5-16. Area de Servicio PINO MONTANO.

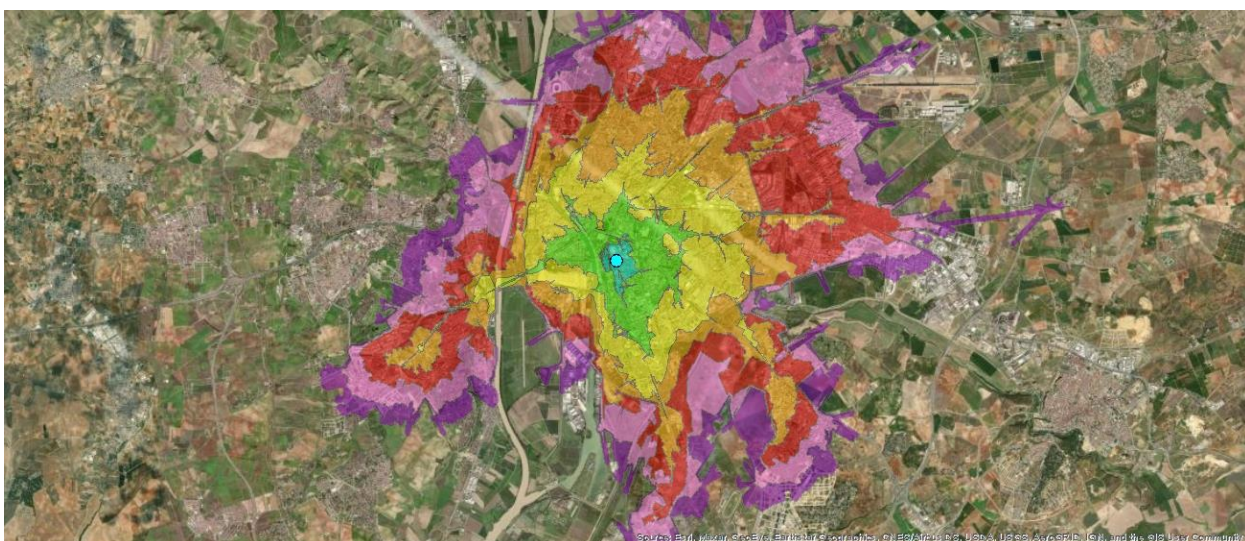


Figura 5-17. Area de Servicio PORVENIR.

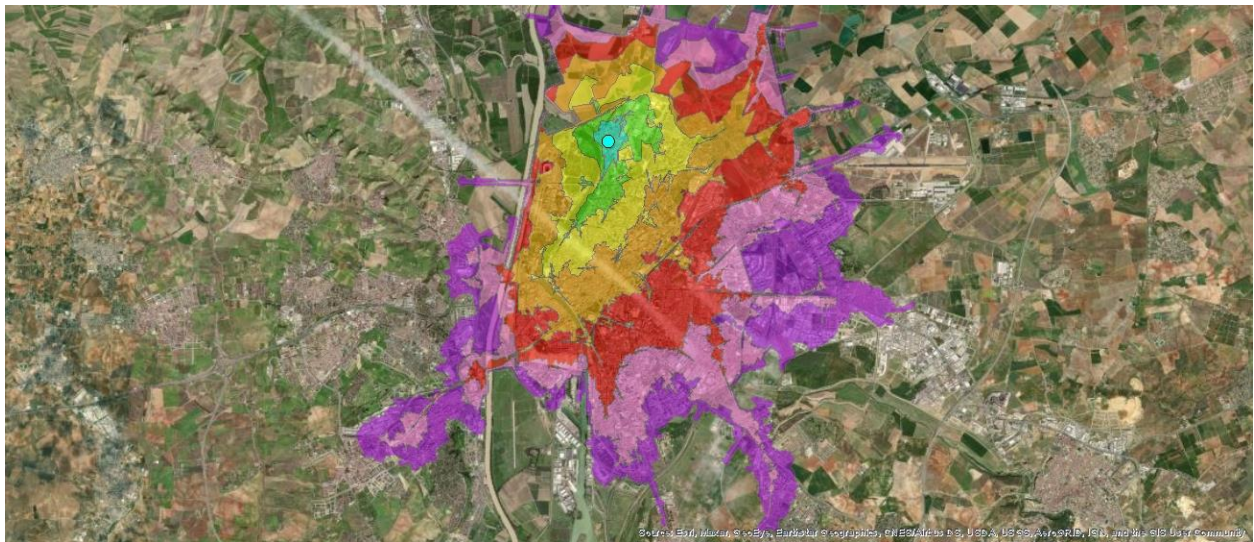


Figura 5-18. Area de Servicio SAN JERONIMO.

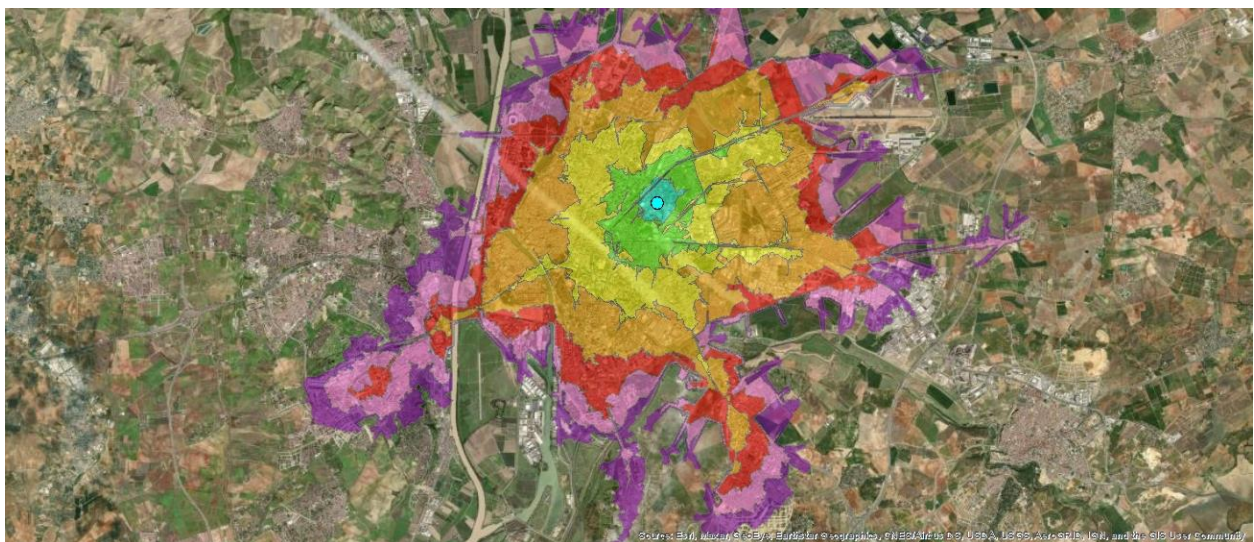


Figura 5-19. Area de Servicio SAN PABLO.

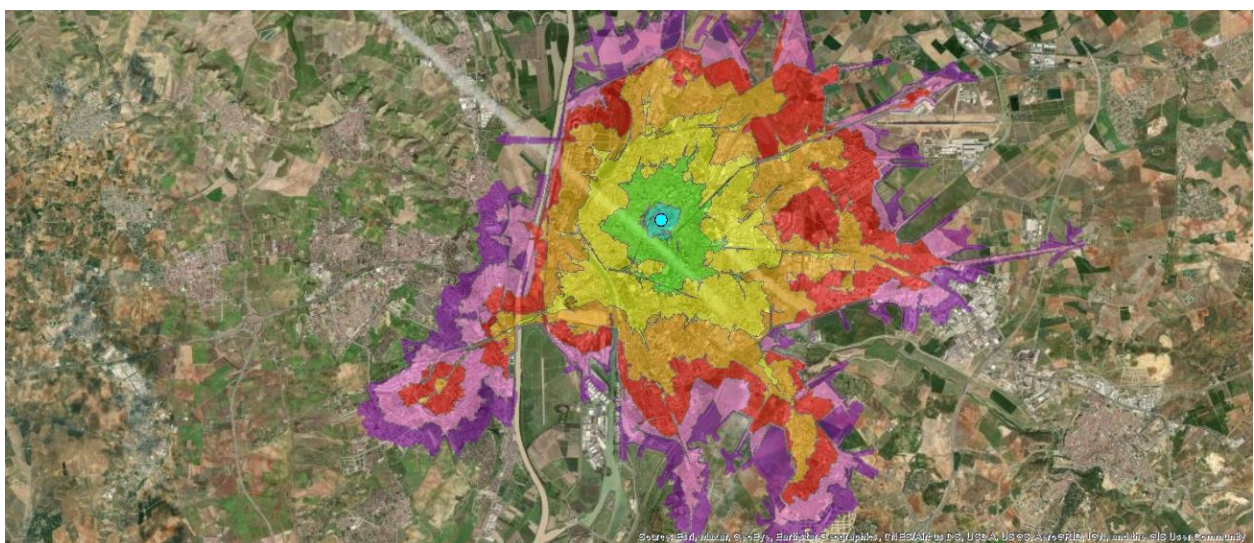


Figura 5-20. Area de Servicio SANTA JUSTA.

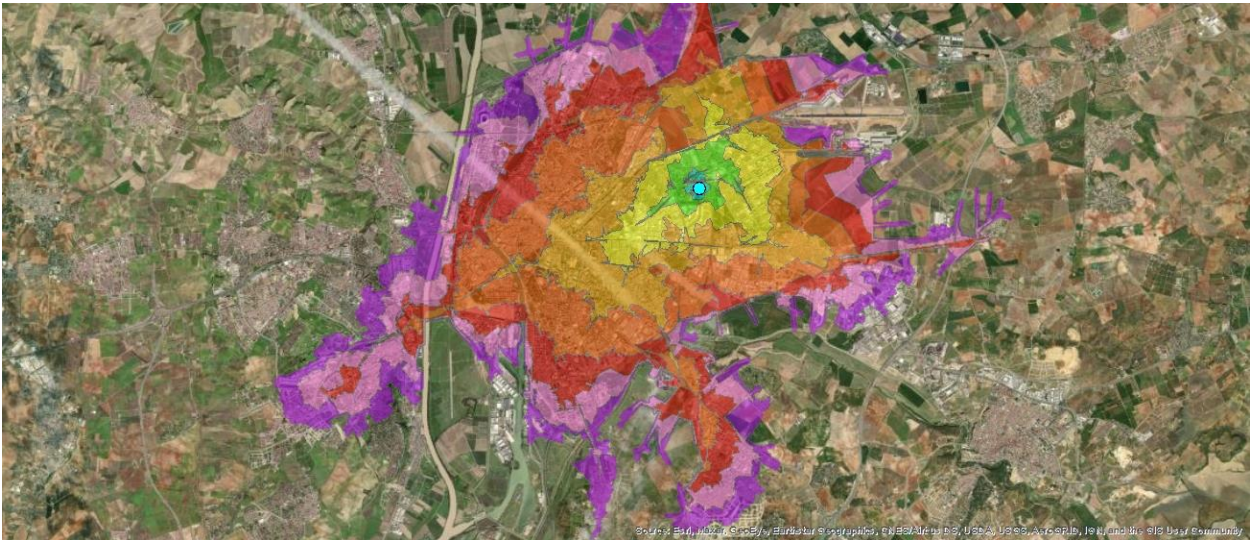


Figura 5-21. Area de Servicio SEVILLA ESTE.

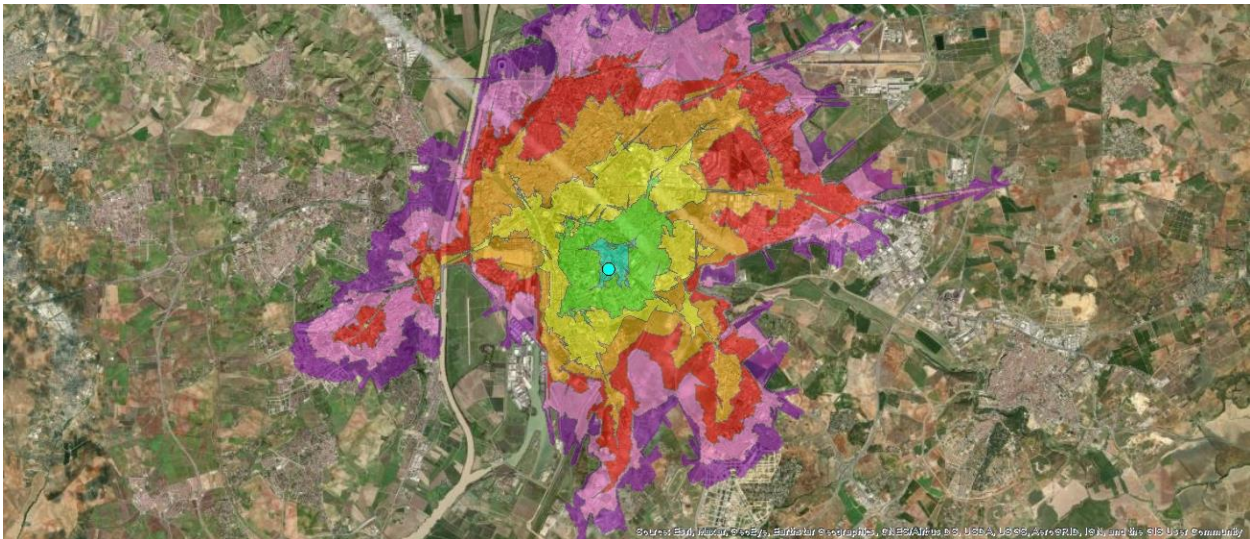


Figura 5-22. Area de Servicio TIRO DE LINEA.

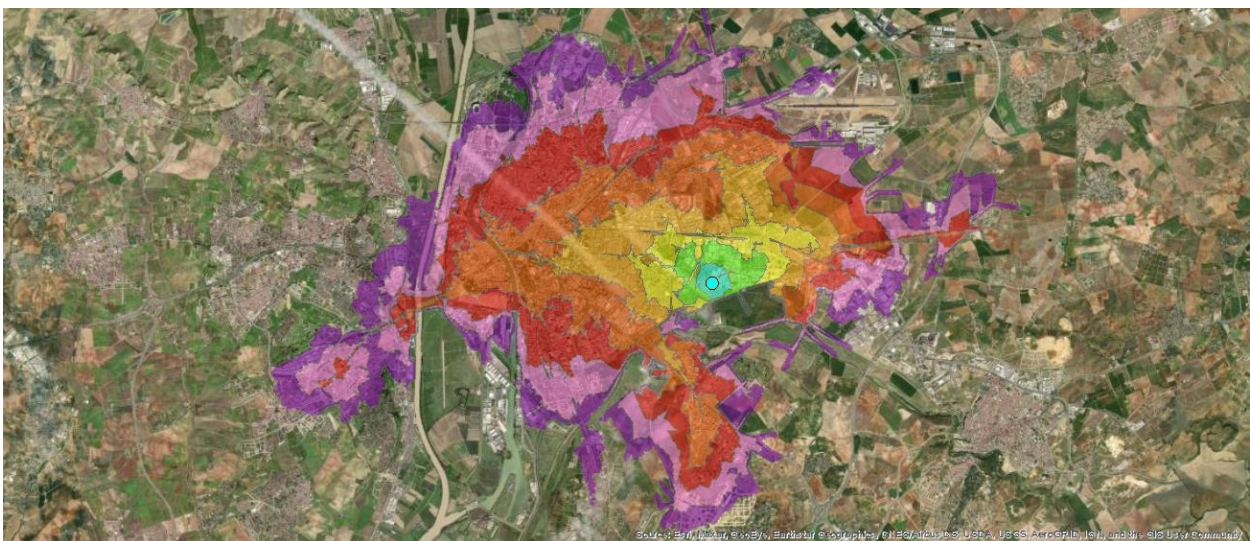


Figura 5-23. Area de Servicio TORREBLANCA-PALMETE.

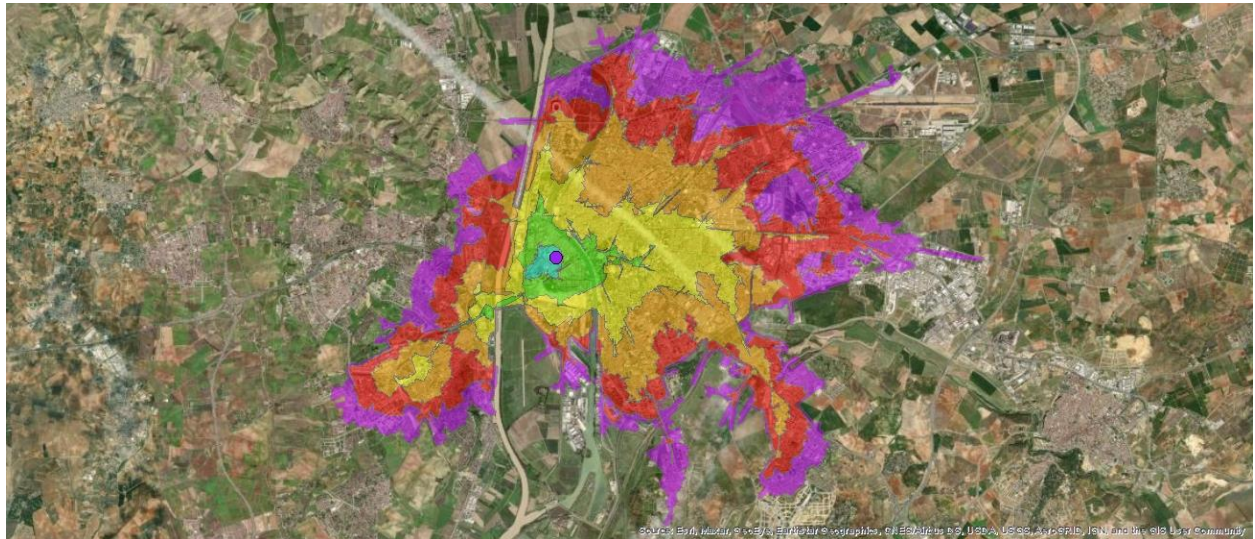


Figura 5-24. Area de Servicio TRIANA-LOS REMEDIOS.

### 5.3.1. Terminales y estaciones de cercanías.

Para concluir este quinto capítulo del TFG se llevó a cabo también el cálculo de las áreas de servicio en coche (vehículo privado) tanto de los intercambiadores que encontramos en la ciudad de Sevilla (Estacion de Autobuses Plaza de Armas, Estacion de Tren Santa Justa, Terminal San Bernando y Aeropuerto de Sevilla-San Pablo) como de las estaciones de cercanías.

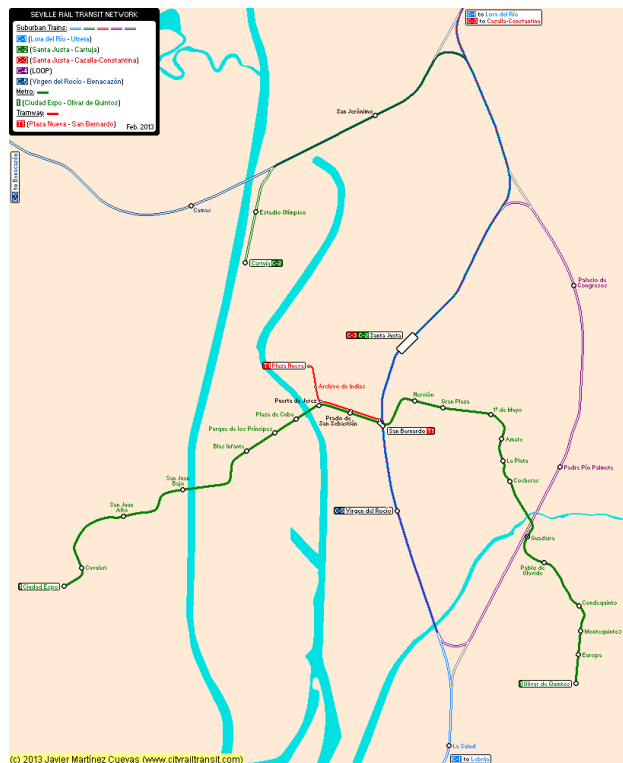


Figura 5-25. Mapa de la red ferroviaria y de metro de Sevilla

Fuente: [http://www.cityrailtransit.com/maps/seville\\_map.htm](http://www.cityrailtransit.com/maps/seville_map.htm)





Figura 5-26. Estaciones de cercanías en Sevilla.  
Fuente: Elaboracion propia en QGIS

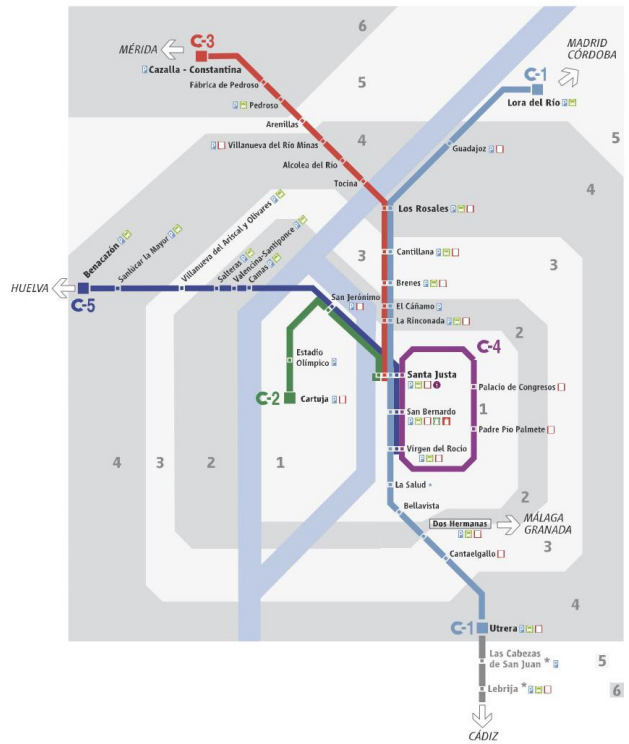


Figura 5-27. Red de cercanías de Sevilla  
Fuente: Junta de Andalucía.

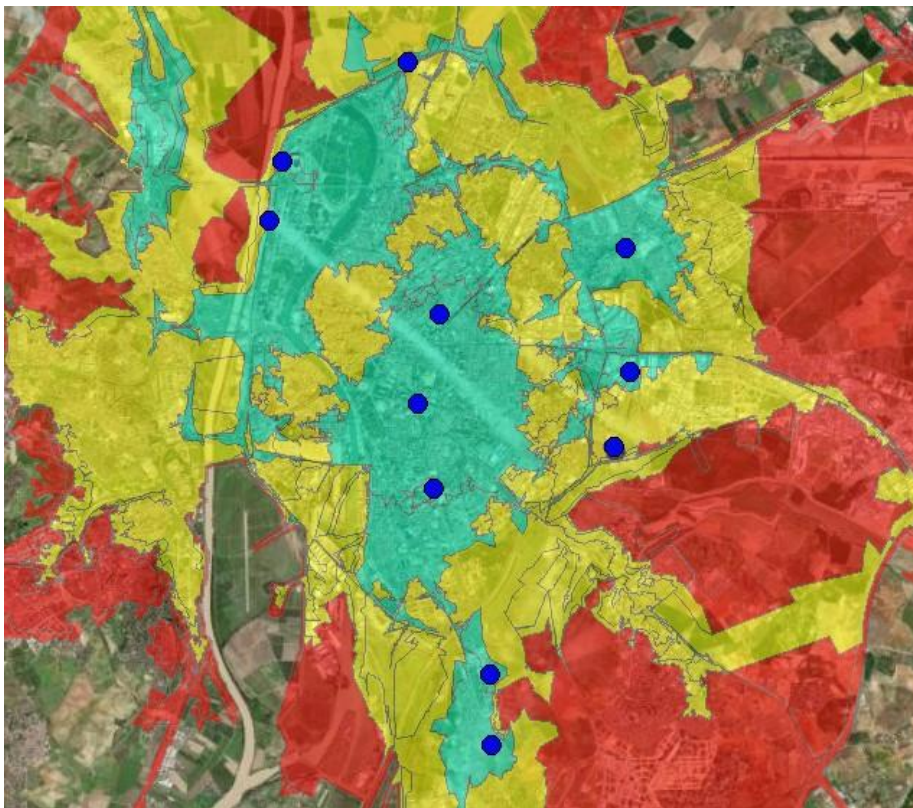


Figura 5-28. Areas de servicio de las estaciones de cercanías en coche.

Las áreas de servicio mostradas en la Figura 5-28 están en intervalos de 5, 10 y 15 minutos respectivamente. Estas áreas abarcan mucho mas espacio ya que el medio de transporte es el coche (vehículo propio). Llama la atención de esta figura la mala accesibilidad del casco antiguo a las estaciones de cercanías. Para el cálculo de las áreas de servicio de las terminales los intervalos usados fueron de 5, 10, 15, 20 y 30 minutos:

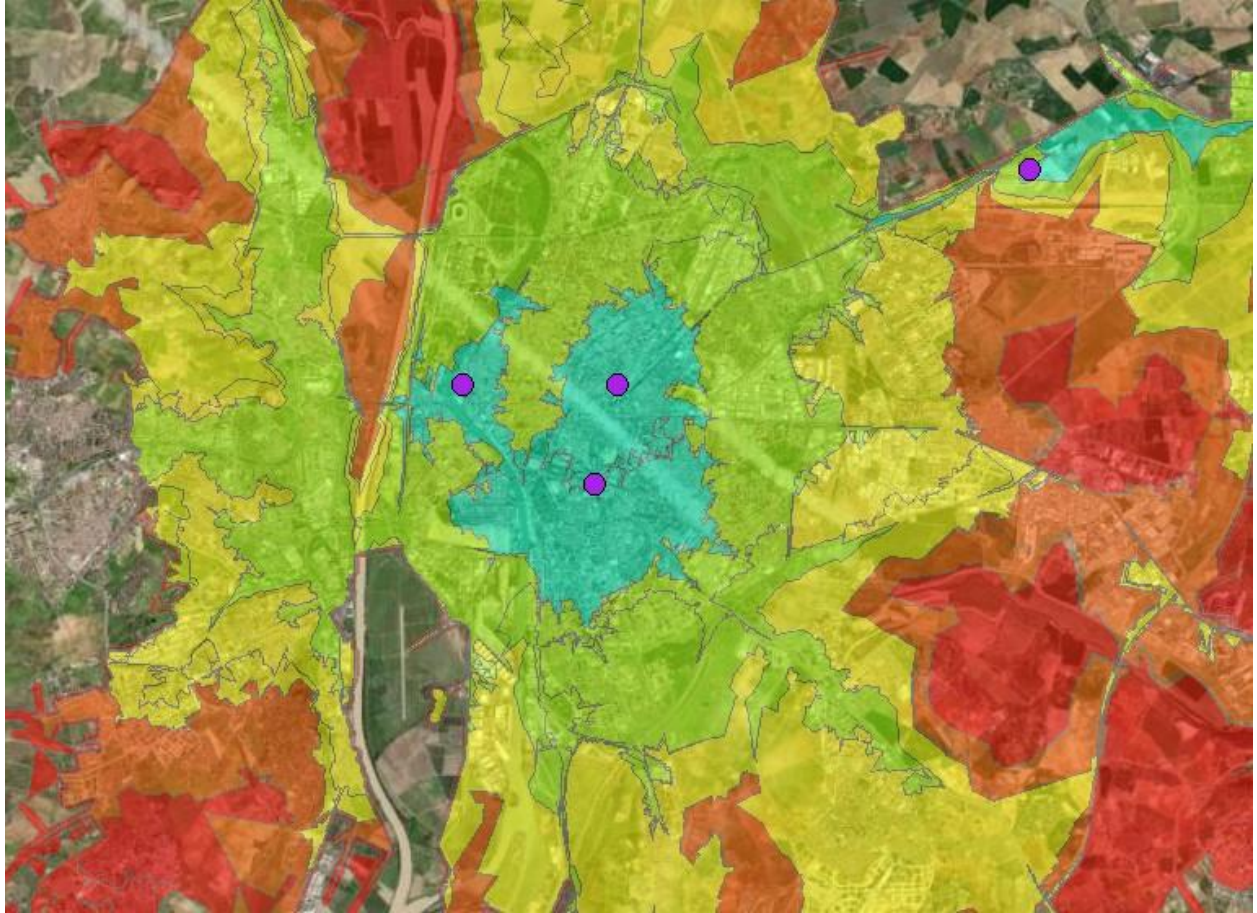


Figura 5-29. Áreas de servicio de las terminales e intercambiadores.

# 6 PLAN DE MOVILIDAD DE SEVILLA

El pasado 12 de Mayo de 2021 se aprobó en el Pleno Municipal de Sevilla el documento del **Plan de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS)**. El documento marcará la hoja de ruta en lo que a movilidad se refiere durante la próxima década en la ciudad hispalense y, junto con el PGOU, se congresa como el manuscrito de planificación mas importante que existe en la actualidad. [10]

## 6.1. Objetivos

El PMUS es un instrumento fundamental en el compromiso con los **Objetivos de Desarrollo Urbano Sostenible 2030 (ODS)** y la lucha contra el cambio climático, y estratégico para que la ciudad pueda acceder a fondos europeos que permitan acometer las grandes transformaciones que se requieren para los próximos años en la ciudad. Algunos de los objetivos a alcanzar con el PMUS son:

- Reducir las necesidades de desplazamiento apostando por la consolidación del corazón de los barrios como unidades organizativas.
- Reducir los tiempos de viaje entre las distintas zonas, garantizando desplazamientos en un medio de transporte con una media de **20 minutos**.
- Combatir el cambio climático; reducir las emisiones de CO2 un 55%.
- Que dos terceras partes de los desplazamientos se realicen de forma sostenible (peatón, bici y transporte público).
- Incrementar la cuota de vehículos privados de cero emisiones y que alcance el diez por ciento en 2030, y que el 75 por ciento del transporte público sea vehículos de cero emisiones.

Toda la documentación referente al PMUS está a libre disposición y se puede consultar en la web <https://www.sevilla.org/servicios/movilidad/pmus/documentacion>.



Figura 6-1. Documentos del PMUS.

Fuente: Ayuntamiento de Sevilla.

## 6.2. Diagnostico

El Ayuntamiento de Sevilla, a través de su Delegación de Seguridad, Movilidad y Fiestas Mayores, ha presentado a los miembros de la comisión ejecutiva del plan estratégico Sevilla 2030 el diagnóstico de la movilidad de Sevilla elaborado a través de **47.000 encuestas técnicas en domicilios**, principales vías de circulación y a pie del transporte público, así como con datos recopilados de distintos servicios y administraciones. Se trata del primer documento que analiza dónde están las principales zonas de generación y atracción de viajes, cómo se acometen los desplazamientos (tiempo, frecuencia, tipo de transporte, etcétera), cuáles los principales viarios de penetración a la ciudad y cómo discurre el movimiento interno de la capital.

El diagnóstico indica que existen en total 1.139.964 desplazamientos en Sevilla en día medio laborable, con 1,95 viajes por persona y 22 minutos de media de duración del trayecto (andando: 19,65 minutos, en coche, 21,32, en bici, 19,79, y en autobús, 27,63). De estos desplazamientos, la movilidad obligada (por trabajo, 31,2 por ciento, o por estudios, 8,7 por ciento) supone el 39,9 por ciento, y la no obligada representa el 60,1 por ciento (20,8 por ciento por ocio, 12,2 por ciento por compras, 9 por ciento por asuntos personales, 5,7 por ciento por médico, y el resto por otras circunstancias).

La movilidad peatonal representa el 28,62 por ciento de la totalidad de los desplazamientos, el coche privado, el 40,51 por ciento; el transporte público, el 24,09 por ciento, la bici y la moto, el 6,8 por ciento.

Las horas punta en transporte público y privado son de 8:00 a 9:00 y de 14:00 a 15:00. En bicicleta es prácticamente estable a lo largo del día, mientras que a pie es a las horas centrales del día y de la tarde. [11]

### 6.2.1. Vehículos privados

Por Sevilla circulan diariamente 399.284 vehículos. El 53,7 por ciento de estos procede del interior de la propia capital y el 46,3 por ciento, del área metropolitana (sobre todo por Zona Aljafare Central y Aljarafe Sur (A-49, A-8057 y A-8058, es decir de las carreteras de Coria-San Juan y Mairena), y de la zona de Montequinto y Alcalá de Guadaíra. La ciudad cuenta con 0,49 vehículos por habitante (ratio de motorización), con máximos en Los Remedios (0,66) y Casco Antiguo (0,60) y mínimos en Cerro-Amate (0,42) y San Pablo-Santa Justa y Triana (0,45).

De acuerdo con el modelo actual de movilidad extrapolado a los nuevos desarrollos urbanísticos (en las zonas Sur, Este y Norte), se produciría un incremento en el número de viajes de 237.934 viajes motorizados diarios, lo que equivaldría a 119.681 vehículos privados más y 1.402 vehículos de transporte público.

### 6.2.2. Cercanías

De las cinco líneas ferroviarias de Cercanías, sólo la C1 presenta un buen intervalo de paso en hora punta, trazado, infraestructura, tiempo de viaje y fiabilidad. El resto de líneas revela deficiencias, sobre todo en intervalos y velocidad comercial, con resultado relativamente pobre en cuanto a viajeros: solo 7,4 millones de viajeros al año.

### 6.2.3. Metro

El Metro, por su parte, muestra buenos intervalos de paso en hora punta y tiempos de viaje y fiabilidad pero presenta una **cobertura insuficiente** del área metropolitana al existir una sola línea (Línea 1) que, además, no tiene oferta para el corredor de mayor demanda, que es la A-49. Aun así, la cifra de viajeros alcanza los 15 millones al año.

#### 6.2.4. Autobuses metropolitanos

La red de los autobuses metropolitanos revela en la actualidad una cobertura aceptable pero insuficiente fiabilidad y una velocidad comercial baja. Los principales corredores son las procedentes de zona Aljarafe Central y Sur y Alcalá de Guadaíra. El resultado: 10 millones de viajeros al año, un volumen reducido teniendo en cuenta el tamaño del área metropolitana.

#### 6.2.5. TUSSAM

El diagnóstico por barrio muestra que la red de Tussam está creciendo por encima de los 80 millones de viajeros y cubre un 94 % de la ciudad con un radio de una parada cada 300 metros y un 70 por ciento con una parada a 150 metros. Mientras, en torno al 28 por ciento de los desplazamientos son a pie (28,6 por ciento del total) y se realizan, sobre todo, por ocio, compra diaria, y asuntos personales, y existen 67.866 desplazamientos diarios que se realizan en bicicleta.

#### 6.2.6. Distritos

El análisis segregado por distritos refleja las necesidades y la realidad de movilidad de los distintos barrios de la ciudad. Del diagnóstico se extraen varias conclusiones sobre la dimensión de sus flujos de desplazamientos.

- El distrito con un mayor volumen de desplazamientos es Este-Alcosa-Torreblanca, con 166.991. De estos, la mayoría, una tercera parte, se realizan en el interior del distrito, 23.000 tienen destino fuera de la ciudad y 20.000 van hacia la zona de Nervión, y por detrás está Casco Antiguo, con 19.000. El principal medio de transporte en este distrito por motivos de movilidad obligada es el coche, excepto con Nervión, donde el transporte público es el predominante (55 por ciento, frente a un 40 por ciento del vehículo privado).
- Asimismo, existen dos grandes zonas de atracción de vehículos en la ciudad de Sevilla. Por un lado, el Casco Antiguo, que recibe 215.000 desplazamientos diarios. Es el mayor punto de destino de 8 de los 11 distritos. Estos desplazamientos se producen principalmente en transporte público, mientras que la movilidad interna en Casco Antiguo es principalmente a pie. El segundo gran foco de atracción es Nervión, el punto principal de destino de Cerro-Amate y de Este-Alcosa-Torreblanca. Si ampliamos el ámbito de estudio a la zona de San Pablo-Santa Justa, ese núcleo Nervión-San Pablo-Santa Justa, tendría prácticamente la misma atracción de desplazamientos que el Centro siendo además esta conexión, San Pablo-Santa Justa-Nervión, una de las que registra más desplazamientos. En el caso de Nervión coincide además que la forma principal de llegar al distrito es el transporte público y la movilidad interna es, sobre todo, a pie. Ya en San Pablo se pasa a una movilidad más basada en vehículo privado.
- El segundo gran distrito en cuanto a número de desplazamientos es Cerro-Amate, que genera 130.000 diarios. El punto principal de su destino es Nervión con mucha diferencia, seguido de Casco Antiguo y el medio principal en los viajes por motivo de movilidad obligada es el coche, excepto en las relaciones con Nervión, Casco Antiguo y Los Remedios, donde es el transporte Público (existe cobertura de la Línea 1 de metro).
- En el Distrito Macarena se generan 118.351 desplazamientos diarios que tienen como principal destino el Centro, seguido de San Pablo-Santa Justa.
- En cuanto a la zona Norte genera 117.000 desplazamientos y atrae diariamente a 66.900 viajeros. El medio de desplazamiento es el coche y los destinos Casco Antiguo y la zona de San Pablo-Santa Justa. Esto supone que hay una relación de más de 71.000 viajeros diarios entre las zonas Norte-Macarena-San Pablo-Santa Justa-Nervión.

### 6.3. Medidas

Para poder cumplir los objetivos señalados en el apartado 6.1., el Ayuntamiento de Sevilla quiere acometer una serie de obras de gran envergadura en lo que a transporte y urbanismo se refiere. Destacan entre estas medidas la ampliación del tranvía (metrocentro) hasta la estación de tren Santa Justa, o la construcción de 3 nuevas líneas de metro que complementen a la ya existente. Se muestra en este apartado el estudio de accesibilidad mediante ArcGIS a las nuevas paradas de ambos medios de transporte.

#### 6.3.1. Ampliación del Tranvía (Metrocentro).

Una de las medidas que mas polémica ha suscitado ha sido la ampliación del Tranvía desde la terminal de San Bernardo hasta la estación de tren de Santa Justa, entre otros motivos, por el talado de los arboles que ello supondría en la Avenida San Francisco Javier y C/Luis de Morales, así como por la inutilidad del servicio (ya que, según manifiestan ciertos colectivos, Santa Justa y San Bernardo ya están conectadas por cercanías y, porque en los viarios anteriormente mencionados ya pasan líneas de bus cómo la C1 ó C2.

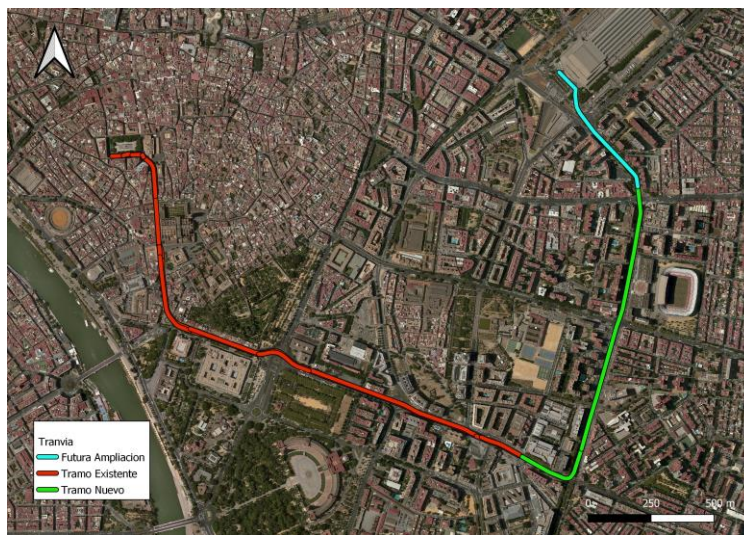


Figura 6-2. Actual y futuras líneas del Metrocentro.

Fuente: Elaboración propia en QGIS.

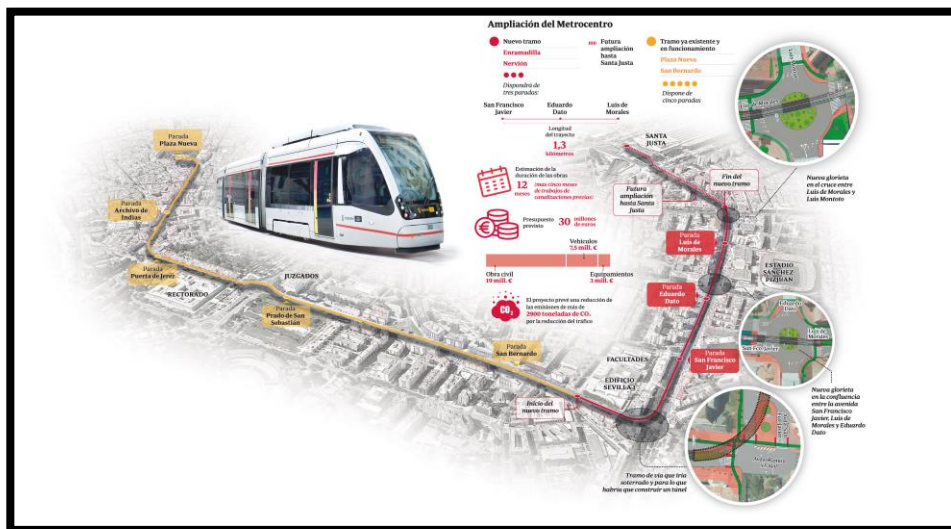


Figura 6-3. Infografía sobre la actuación en el Metrocentro.

Fuente: ABC de Sevilla.

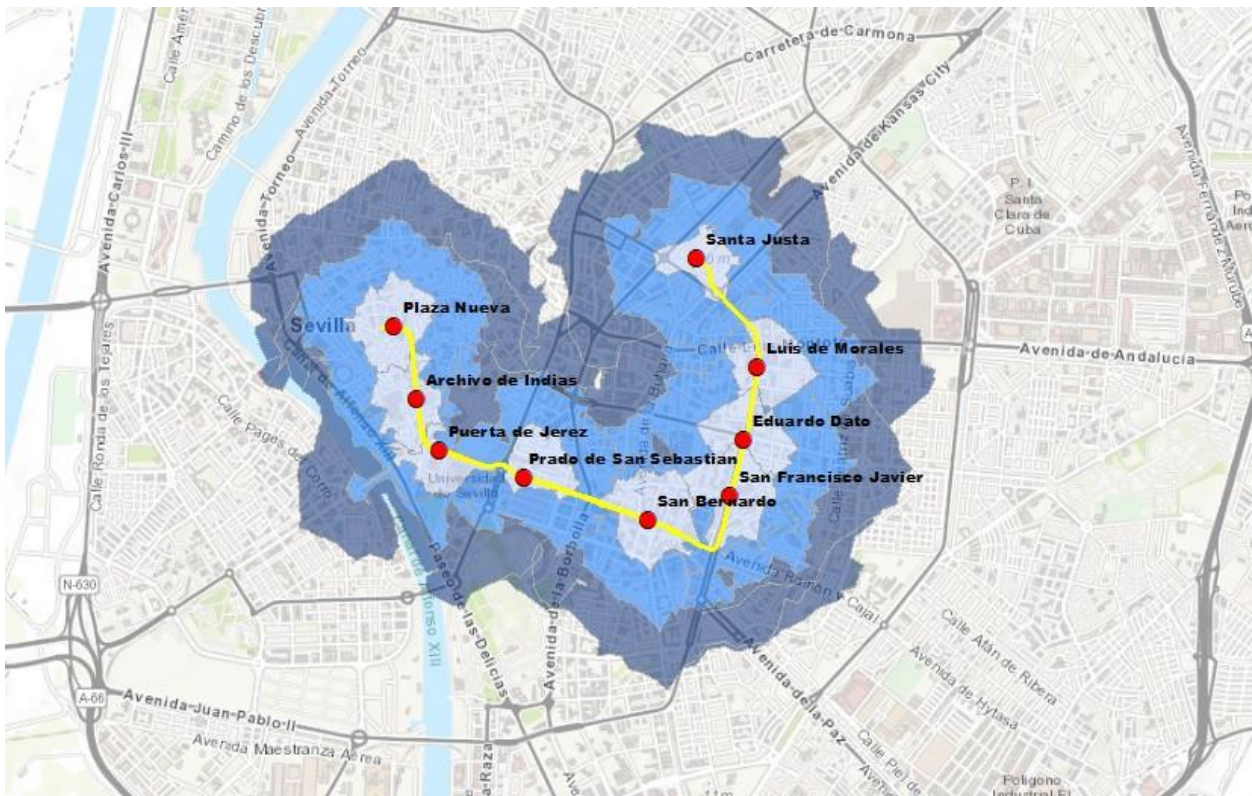


Figura 6-4. Accesibilidad a pie a las paradas de Tranvía.

Fuente: Elaboracion propia en ArcGIS.

En la figura superior se muestra la accesibilidad a pie a las paradas de tranvía en intervalos de 5, 10 y 15 minutos. Como era de esperar, las zonas que se ven más involucradas/beneficiadas por esta obra son los barrios de Santa Justa, Nervion, Casco Antiguo y el Porvenir.

Ligado a la ampliación del tranvía, el ayuntamiento de Sevilla aprobó el proyecto de **corredor verde para Nervion**. Se trata de un proyecto diseñado por Emasesa en coordinación con Transición Ecológica, Movilidad y Urbanismo con un presupuesto de 13,9 millones de euros que sale a licitación una vez aprobada su consideración de obra de interés estratégico para la ciudad. El proyecto del corredor verde transformará las avenidas de San Francisco Javier y Luis de Morales generando un amplio corredor verde con itinerarios peatonales accesibles a través de la supresión de los dos carriles de servicio. [12]

### 6.3.2. Construcción de 3 nuevas líneas de metro.

Sevilla actualmente es la cuarta ciudad de España con más habitantes (691395), este dato no se ve reflejado en las líneas de metro que dispone la ciudad (solo 1). En lo que a número de líneas se refiere, el metro de Sevilla se ve superado por ejemplo por el metro de Bilbao, Palma de Mallorca o Malaga y, por características, se asemeja mucho al metro de Granada (una ciudad con tres veces menos habitantes que Sevilla). Así pues, el PMUS planea la construcción de tres nuevas líneas de metro que amplíen la insuficiente cobertura de la línea actual (apenas del 24% de la población).

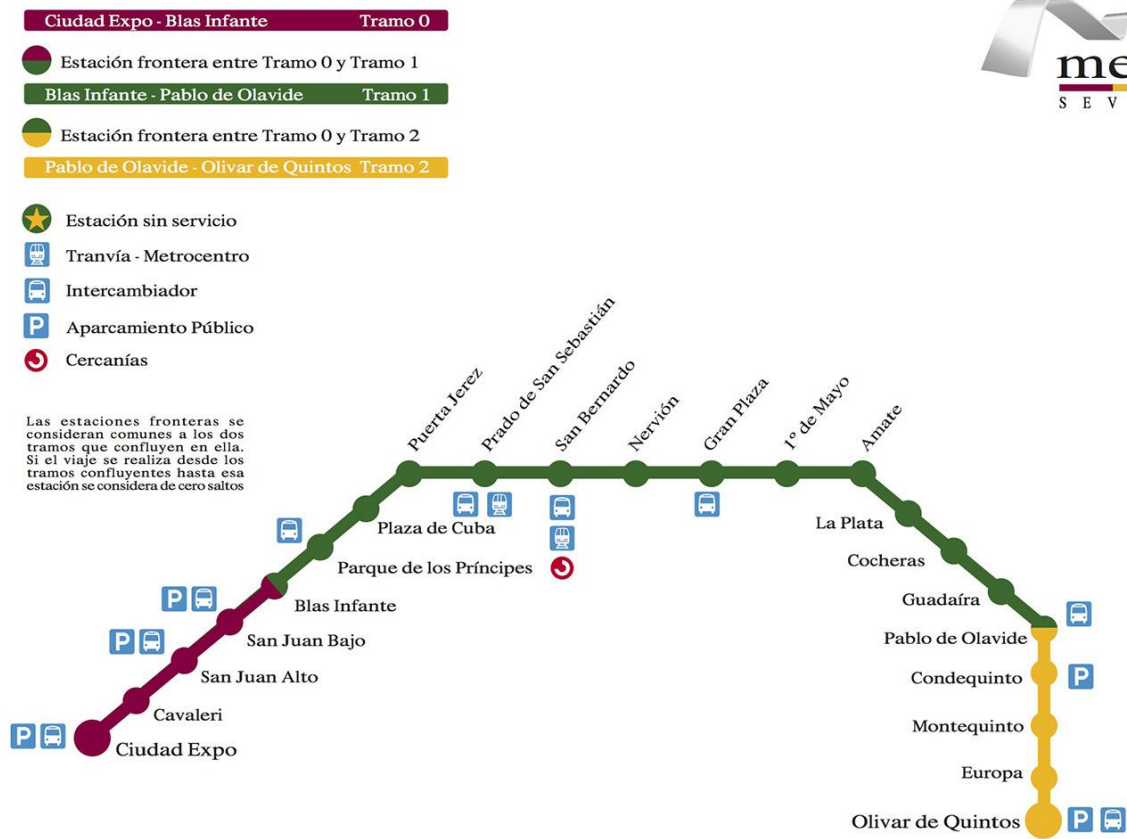


Figura 6-5. Línea 1 del Metro de Sevilla.

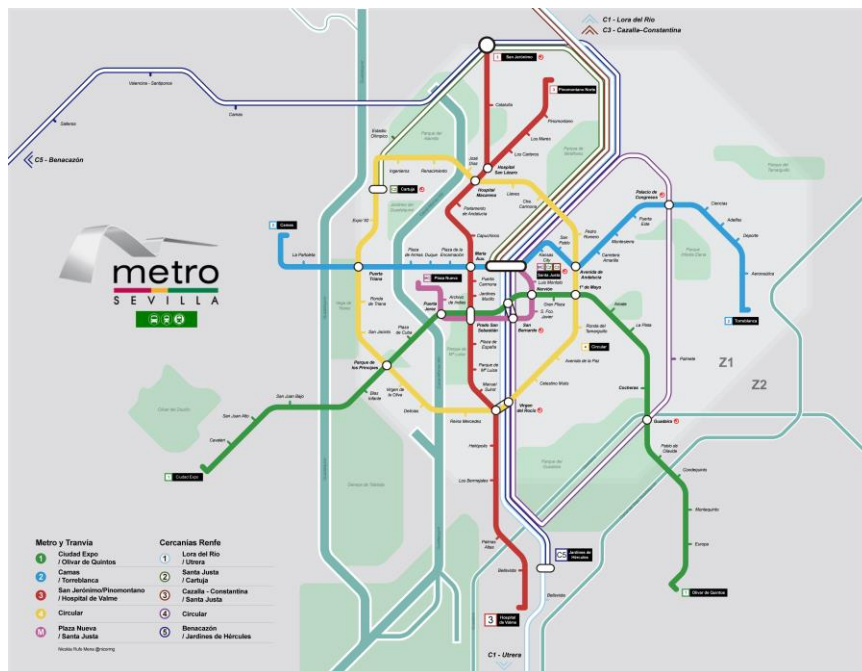


Figura 6-6. Mapa futuro del metro completo de Sevilla con cuatro líneas.

Fuente: Nicolas Rufo Mena (Twitter)





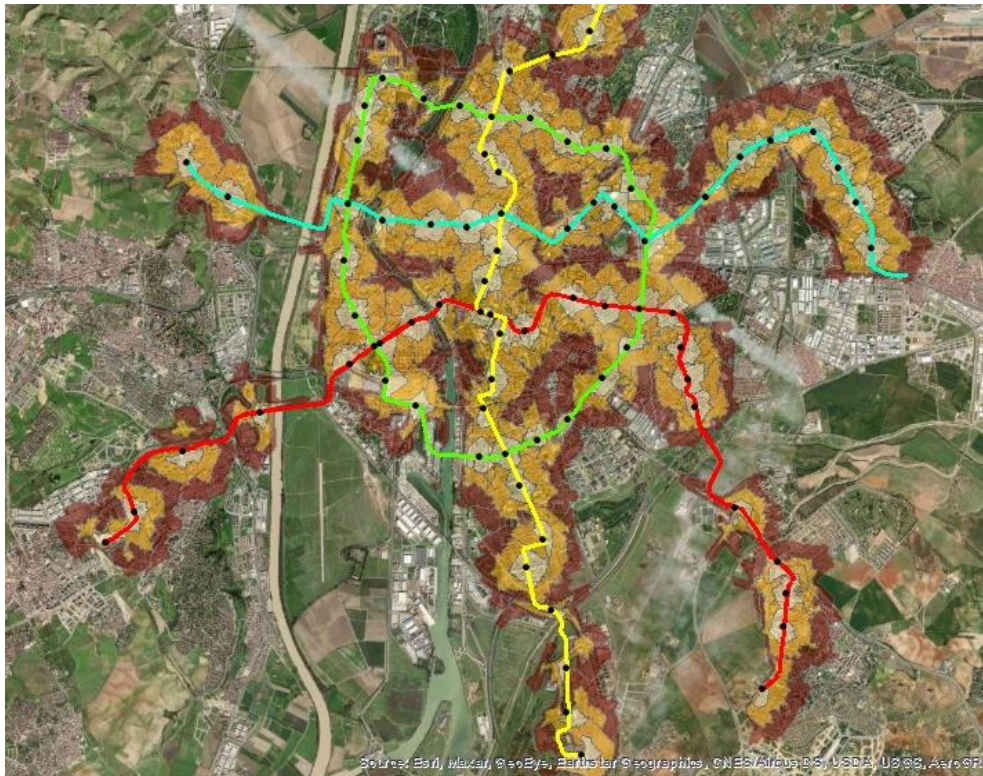


Figura 6-11. Accesibilidad a las futuras paradas de Metro en intervalos de 5, 10 y 15 minutos andando.

Fuente: Elaboración propia en ArcGIS.

De la Figura 6-11 observamos que barriadas como San Lorenzo, San Gil y Feria en Distrito Casco Antiguo, Carretera de Carmona y San José Obrero en Distrito Macarena Norte ó El Plantinar y Tiro de Línea en Distrito Sur son las zonas que peor accesibilidad tendrán a las paradas del Metro en un futuro.

### 6.3.3. BTR y cambio de líneas TUSSAM.

Otras de las múltiples medidas que baraja el Ayuntamiento de Sevilla dentro del PMUS es la de instalar un sistema BTR (autobús de tránsito rápido) que conecte Sevilla Este con Nervión. Los BTR se caracterizan por combinar la velocidad de un metro junto con la simplicidad, flexibilidad y menor coste de un bus urbano. También, por el hecho de que circulan por carriles exclusivos, hay mayor distancia entre las paradas, los pasajeros ya han pagado antes de entrar al bus y la prioridad en los semáforos.

La primera línea BTR de Sevilla conectará con el Metro, en la Gran Plaza y Nervión; con el Metrocentro, en Nervión cuando se produzca la ampliación hasta Santa Justa; con el Cercanías de Renfe, en el Palacio de Congresos, y con las principales líneas de Tussam, la 2, que es la más utilizada, y las circulares C1 y C2.

La velocidad comercial estimada es de 25 kilómetros a la hora, casi el doble que las líneas de Tussam, y la frecuencia de paso se fija en seis minutos. El número de paradas se sitúa entre 10 y 12, con una distancia aproximada entre ellas de 650 metros. [13]

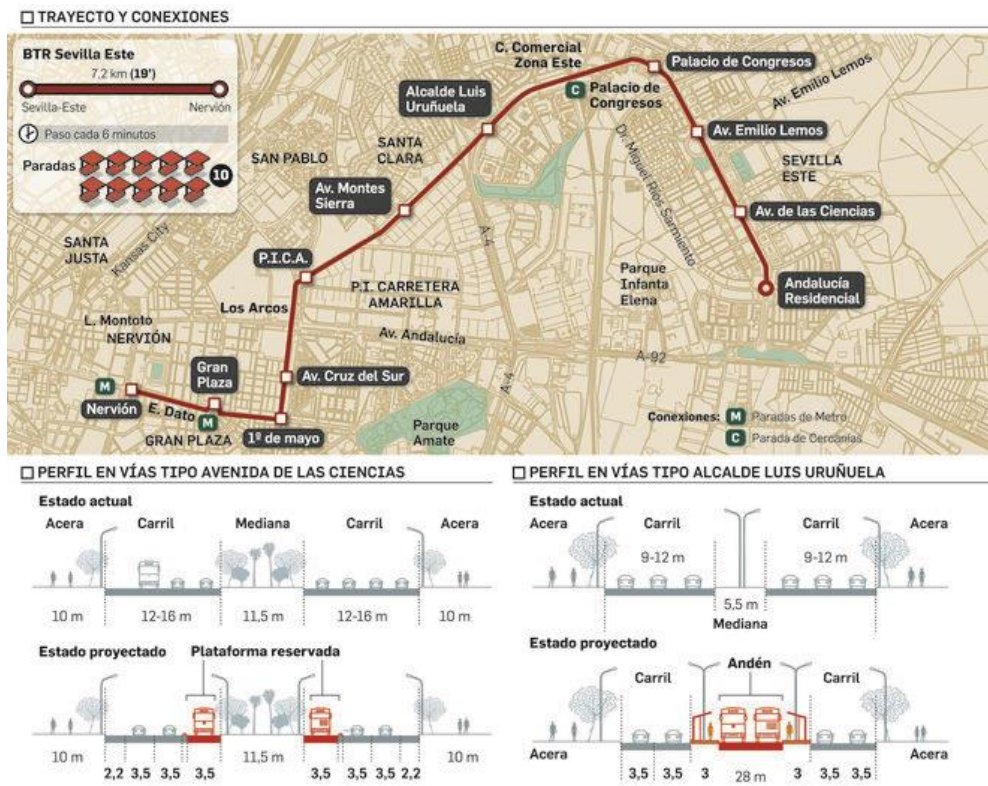


Figura 6-12. Infografía sobre la futura línea BTR Sevilla Este-Nervion.

Fuente: Diario de Sevilla.

Por último y para finalizar este TFG, se va a comentar el caso de la peatonalización de la Avda. de la Cruz Roja. Tal y como de expuso al comienzo de este sexto capítulo, el PMUS tiene un fuerte carácter tanto en movilidad como en urbanismo. Así pues, una de las medidas estrella que se contemplaron y que ya se ha puesto en marcha es la peatonalización de la Avda. de la Cruz Roja, la cual supondrá el cambio en los recorridos de hasta cuatro líneas de TUSSAM (1, 11, 12 y 16).

**NUEVOS RECORRIDOS DE LÍNEAS POR PEATONALIZACIÓN DE LA AVENIDA CRUZ ROJA**

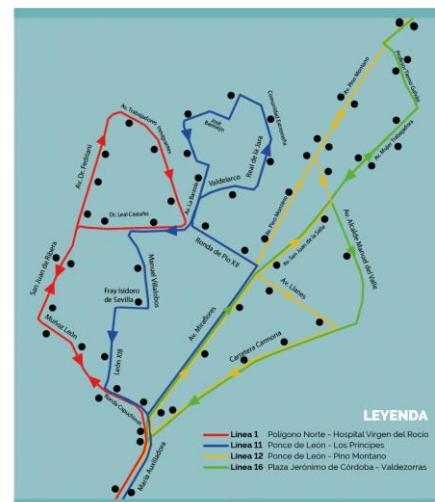


Figura 6-13. Cambios en los recorridos.

Fuente: Ayto. De Sevilla.

Este cambio en los recorridos de estas cuatro líneas de TUSAM ha generado bastante rechazo entre las asociaciones vecinales de las distintas barriadas de Macarena Norte (uno de los distritos más poblados de la ciudad) que ven como su tiempo de viaje aumenta y, por lo tanto, su accesibilidad al resto de zonas de Sevilla empeora. Este rechazo muestra una vez mas que “cuando un bien o un mal viene, a todos los afecta”. Dicho con otras palabras; «Cuando Dios amanece, para todos amanece».



Figura 6-14. Manifiestacion en el centro de Sevilla en contra del cambio de recorrido de la Linea 1.



Figura 6-15. Llamada a una manifiestacion en contra del cambio de la Linea 1.

# 7 CONCLUSIONES

---

Las conclusiones extraídas de este trabajo son:

Después de realizar este estudio sobre la accesibilidad en la ciudad de Sevilla mediante Sistemas de Información Geográfica (QGIS y ArcGIS) quedó demostrado lo que era intuitivo; las zonas con mejor accesibilidad son las más céntricas (Casco Antiguo, Porvenir y Nervion) y las peores las situadas más a la periferia (Bellevista y Torreblanca-Palmete).

Para que una ciudad prospere no puede permitirse el lujo de dar la espalda a los barrios más alejados del centro, y más cuando los barrios más periféricos son los más poblados. No se trata de un tema de movilidad exclusivamente, sino de un tema económico, social y de igualdad de oportunidades independientemente de donde una persona resida.

Con el fin de paliar los desequilibrios existentes entre los distintos barrios de Sevilla en lo que a movilidad se refiere, el Ayuntamiento aprobó este 2021 el Plan de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS), con el cual mediante la introducción de nuevas líneas de metro, ampliación de la línea del tranvía, inclusión de líneas BTR, cambios en los itinerarios de TUSAM y cambios en las secciones de grandes avenidas de la ciudad, se pretende mejorar la conectividad entre las zonas de Sevilla así como disponer de un itinerario peatonal accesible en las calles de mayor tránsito.

Como líneas futuras de este trabajo estaría el estudio de la afectación de las medidas que el PMUS plantea al actual estado de TUSAM, ¿hasta que punto se vería afectado el bus urbano en lo que a utilización se refiere por la ampliación del metro? También, sería interesante abordar como varía la accesibilidad entre zonas según la hora del día, para lo cual lo ideal sería disponer de datos a tiempo real, los cuales permitan obtener conclusiones más exhaustivas.

## REFERENCIAS

---

- [1] Walter G. Hansen (1959) How Accessibility Shapes Land Use, Journal of the American Institute of Planners, 25:2, 73-76, DOI: 10.1080/01944365908978307
- [2] Geurs, K.T. (2018), "Transport Planning With Accessibility Indices in the Netherlands", Discussion Paper, International Transport Forum, Paris.
- [3] <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6327/03.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- [4] Memoria Anual de Tussam 2019
- [5] <https://www.tussam.es/es/avisos-generales/linea-c5-supresion-temporal-del-servicio>
- [6] <https://www.eldiariodetriana.es/blog/tussam-suprime-la-linea-cartuja-expres/>
- [7] [https://sevilla.abc.es/sevilla/sevi-verde-para-ampliacion-metrocentro-sevilla-hasta-santa-justa-202102051220\\_noticia.html](https://sevilla.abc.es/sevilla/sevi-verde-para-ampliacion-metrocentro-sevilla-hasta-santa-justa-202102051220_noticia.html)
- [8] Extracto de los apuntes de la asignatura Ingeniería del Transporte (1er cuatrimestre, 4ºCurso, GIC). Profesor Jose Maria del Castillo Granados.
- [9] Francisco Jimenez Zamora, "Diseño de la Red Multimodal de Transporte de Sevilla mediante Network Analyst de ArcGIS", Trabajo Fin de Grado, 2020.
- [10] [https://www.diariodesevilla.es/sevilla/Aprobado-plan-movilidad-Sevilla-referente-sostenible\\_0\\_1573344746.html](https://www.diariodesevilla.es/sevilla/Aprobado-plan-movilidad-Sevilla-referente-sostenible_0_1573344746.html)
- [11] <https://www.sevilla.org/actualidad/blog/plan-de-movilidad-urbana-sostenible-de-sevilla>
- [12] [https://www.diariodesevilla.es/sevilla/corredor-verde-Nervion-ampliacion-tranvia-Ayuntamiento-Sevilla-aprueba-proyecto\\_0\\_1586543008.html](https://www.diariodesevilla.es/sevilla/corredor-verde-Nervion-ampliacion-tranvia-Ayuntamiento-Sevilla-aprueba-proyecto_0_1586543008.html)
- [13] [https://www.diariodesevilla.es/sevilla/transito-rapido-Sevilla-Nervion-minutos\\_0\\_1189081689.html](https://www.diariodesevilla.es/sevilla/transito-rapido-Sevilla-Nervion-minutos_0_1189081689.html)

