

# Trabajo Fin de Grado

## Grado en Ingeniería Civil

### Diseño de la Red Multimodal de Transporte de Sevilla mediante Network Analyst de ArcGIS

Autor: Francisco Jiménez Zamora

Tutora: Cristina Torrecillas Lozano

**Dpto. Ingeniería Gráfica**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**  
**Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2020





Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería Civil

# **Diseño de la Red Multimodal de Transporte de Sevilla mediante Network Analyst de ArcGIS**

Autor:

Francisco Jiménez Zamora

Tutora:

Cristina Torrecillas Lozano

Profesora titular

Dpto. Ingeniería Gráfica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2020





Trabajo Fin de Grado: Diseño de la Red Multimodal de Transporte de Sevilla mediante Network Analyst de ArcGIS

Autor: Francisco Jiménez Zamora

Tutora: Cristina Torrecillas Lozano

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal



*A mi familia, amigos,  
y en especial a Ramón.*



Hoy en día surge la necesidad conocer con exactitud la ruta mínima o camino más eficiente para llegar de un lugar a otro. Por ello, están surgiendo diversos programas y aplicaciones móviles para realizar estas tareas que ayudan de forma eficiente al desplazamiento de las personas.

El presente trabajo tiene como objetivo definir la metodología para la creación de una red multimodal partiendo de datos espaciales abiertos y un estudio breve de accesibilidad a servicios empleando la extensión del Network Analyst del software propietario ArcGIS 10.5. Posteriormente, esta se utiliza para la creación de la red multimodal de la ciudad de Sevilla, abarcando las diferentes infraestructuras presentes en dicha ciudad además de sus vías de comunicación urbana (carril bici y líneas de autobús urbano y metro) y sus vinculaciones entre estos diversos medios de transporte. La red es testada para comprobar la eficacia de su definición, limitada por esos datos abiertos empleados, usando como variables los tiempos, distancias y mejor ruta para un determinado viaje en la ciudad.

Las pruebas realizadas muestran ejemplos de rutas realizadas dentro de la ciudad de Sevilla, en los que se muestran distancias y tiempo de viaje estimados para dichos desplazamientos en diferentes modos de viaje, ya sea a pie, en vehículo propio, en bicicleta o transporte público, contemplando autobús urbano o metro. En dichas pruebas se ha puesto de manifiesto la intermodalidad entre los distintos distritos de la ciudad de Sevilla, estimando distancia y tiempos medios de llegada entre cada uno. La comparativa entre estas rutas y las facilitadas por Google Maps apoya fuertemente que la herramienta da unos resultados muy similares.

La red diseñada además ha sido testada para un breve estudio de las áreas de influencia de las principales dotaciones de Sevilla, mostrando las zonas con mejor acceso a dichas dotaciones y las zonas con necesidad de mejora del número de infraestructuras.

Como conclusiones del trabajo, se puede decir que es posible hacer un estudio preliminar de movilidad, en cualquier ciudad andaluza, a partir de datos libres y consiguiendo valores fiables, pues el coeficiente de correlación obtenido es prácticamente la unidad al compararse con una herramienta similar. También se ha concluido que hay ciertas zonas de la ciudad de Sevilla con posibilidad de mejora en los tiempos de acceso del ciudadano a ciertos servicios públicos, en especial en los distritos de Sevilla Este y Nervión.



<b>Resumen</b>	<b>ix</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xv</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>17</b>
1.1. <i>¿Qué es una Red?</i>	17
1.2. <i>Teoría de Grafos y Cálculo de Rutas</i>	18
1.3. <i>Extensión Network Analyst de ArcGIS</i>	20
1.4. <i>Objetivos del trabajo</i>	22
<b>2 Información de partida y análisis previo</b>	<b>23</b>
2.1 <i>Datos espaciales</i>	23
2.1.1 Elementos de Transporte	23
2.1.1.1 <i>Viarío Urbano</i>	23
2.1.1.2 <i>Carril Bici y SEVICI</i>	25
2.1.1.3 <i>Autobús urbano</i>	28
2.1.1.4 <i>Metro</i>	29
2.1.2 Infraestructuras	30
2.1.2.1 <i>Centros de Salud</i>	30
2.1.2.2 <i>Bibliotecas Públicas</i>	31
2.1.2.3 <i>Supermercados</i>	32
2.1.2.4 <i>Parques de Bomberos</i>	33
2.1.2.5 <i>Comisarías de Policía Local</i>	34
2.2 <i>Datos de Velocidades</i>	35
2.3 <i>Datos Propios</i>	37
<b>3 Metodología</b>	<b>38</b>
3.1 <i>Creación del Dataset de Red Multimodal</i>	39
3.1.1 Iniciación del asistente de nuevo dataset de red	39
3.1.2 Nombre de la red y selección de las clases de entidades de origen	39
3.1.3 Establecer elevaciones y conectividad	40
3.1.4 Tipos de atributos de red	42
3.1.5 Configuración de los atributos de red	43
3.1.5.1 <i>Atributos de Coste</i>	43
3.1.5.2 <i>Atributos de Restricción</i>	45
3.1.6 Configuración de los modos de viaje	48
3.2 <i>Creación de Áreas de Servicio</i>	51
3.2.1 Creación de la capa de análisis de área de servicio	51
3.2.2 Agregar instalaciones a la capa de análisis de áreas de servicio	52
3.2.3 Configuración de los parámetros para el análisis de áreas de servicio	53
<b>4 Resultados</b>	<b>55</b>
4.1 <i>Ruta Caminando</i>	55
4.2 <i>Ruta en Coche</i>	61
4.3 <i>Ruta en Bicicleta</i>	66
4.4 <i>Ruta en Transporte Público</i>	70

4.5	<i>Resumen Comparación Rutas</i>	75
4.6	<i>Rutas entre Distritos</i>	75
4.7	<i>Áreas de Servicio</i>	83
4.7.1	Acceso a servicios en función de la población	86
4.8	<i>Coefficientes de Correlación entre Network Analyst y Google Maps</i>	87
<b>5</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>89</b>
	<b>Referencias</b>	<b>91</b>
	<b>Anexo A</b>	<b>94</b>



# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 2–1. Velocidad de recorrido autobús urbano	36
Tabla 2–2. Velocidad de recorrido caminando, bicicleta, metro y coche	37
Tabla 4–1. Resumen comparación de rutas con diferentes herramientas	75
Tabla 4–2. Resumen comparación de rutas con diferentes herramientas	75
Tabla 4–3. Rutas Coeficiente de Correlación	87
Tabla 4–4. Coeficientes de Correlación	87



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1-1. Red de servicios (fuente: <a href="http://www.esri.es">www.esri.es</a> › Arcgis)	18
Figura 1-2. Red de transporte (fuente: <a href="http://www.esri.es">www.esri.es</a> › Arcgis)	18
Figura 1-3. Representación grafo	19
Figura 1-4. Ej. Punto A-B ( <a href="http://www.esri.es">www.esri.es</a> › arcgis)	20
Figura 1-5. Ej. Área cubierta ( <a href="http://www.esri.es">www.esri.es</a> › arcgis)	20
Figura 1-6. Ej. Servicio más cercano ( <a href="http://www.esri.es">www.esri.es</a> › arcgis)	21
Figura 1-7. Ej. Distribución de tráfico ( <a href="http://www.esri.es">www.esri.es</a> › arcgis)	21
Figura 2-1. Niveles de jerarquía viario urbano de Sevilla	24
Figura 2-2. Sentido del viario urbano de Sevilla	25
Figura 2-3. Evolución carril bici Sevilla (Programa de la bicicleta Sevilla 2020)	26
Figura 2-4. Estación SEVICI (GoogleMaps)	26
Figura 2-5. Carril bici y estaciones SEVICI	27
Figura 2-6. Líneas de TUSSAM	28
Figura 2-7. Recorrido L1 Metro Sevilla ( <a href="http://www.metro-sevilla.es">www.metro-sevilla.es</a> )	29
Figura 2-8. Red de metro de Sevilla	30
Figura 2-9. Centros de Salud	31
Figura 2-10. Bibliotecas Públicas	32
Figura 2-11. Supermercados	33
Figura 2-12. Parques de Bomberos	34
Figura 2-13. Comisarías de Policía Local	35
Figura 3-1. Esquema creación Dataset de Red Multimodal	38
Figura 3-2. Inicio nuevo dataset de red	39
Figura 3-3. Selección de nombre dataset de red	39
Figura 3-4. Selección entidades del dataset de red	40
Figura 3-5. Modelado de giros del dataset de red	40
Figura 3-6. Grupos de conectividad del dataset de red	41
Figura 3-7. Modelado de elevaciones del dataset de red	42
Figura 3-8. Atributos del dataset de red	43
Figura 3-9. Atributo de coste DriveTime	44

Figura 3-10. Atributo de coste PedestrianTime	44
Figura 3-11. Atributo de coste Meters	45
Figura 3-12. Atributo de restricción Car	45
Figura 3-13. Atributo de restricción Oneway_Driving	46
Figura 3-14. Atributo de restricción Bici	46
Figura 3-15. Atributo de restricción Bus_Metro	47
Figura 3-16. Atributo de restricción Oneway_Bus	47
Figura 3-17. Modo de viaje Caminando	48
Figura 3-18. Modo de viaje Coche	49
Figura 3-19. Modo de viaje Bici	49
Figura 3-20. Modo de Transporte Público	50
Figura 3-21. Área de servicio nueva	51
Figura 3-22. Tabla de contenidos de Área de servicio	51
Figura 3-23. Cargar ubicaciones en Área de servicio	52
Figura 3-24. Selección de los datos espaciales de ubicaciones	52
Figura 3-25. Instalaciones	53
Figura 3-26. Propiedades de Área de servicio	53
Figura 3-27. Ventana Propiedades de capa de Área de servicio	54
Figura 3-28. Solucionador Áreas de servicio	54
Figura 4-1. Área de servicio centros de salud	83
Figura 4-2. Área de servicio bibliotecas públicas	83
Figura 4-3. Área de servicio supermercados	84
Figura 4-4. Área de servicio bomberos	84
Figura 4-5. Área de servicio policía local	85
Figura 4-6. Área de servicio estaciones de metro	85
Figura 4-7. Servicios frente a población	86

# 1 INTRODUCCIÓN

---

Actualmente, la ciudad de Sevilla cuenta con una amplia red de transporte pública. Esta está compuesta por 44 líneas de autobús urbano explotadas por la compañía TUSSAM, el servicio de bicicleta pública SEVICI con una flota de 2.600 bicicletas repartidas en 260 puntos de anclaje, Metrocentro que conecta el centro de la ciudad con San Bernardo y la línea de metro número 1 que cuenta con 22 estaciones atravesando cuatro municipios del área metropolitana de Sevilla.

Uno de los principales enfoques que se debe tener a la hora de gestionar una zona o distrito de la ciudad es la capacidad de abastecer de forma eficaz las necesidades de la población con cualquier dotación o servicio público esencial. Esto se ha conseguido de una forma eficiente en el barrio Nazaret de Valencia, en el que cualquier servicio se puede encontrar a menos de 15 minutos caminando (Periódico Las Provincias, 28 julio 2020).

## 1.1. ¿Qué es una Red?

Una red puede definirse como un sistema de elementos conectados entre sí, modelándose los bordes de un elemento como líneas o polilíneas y los cruces que conectan cada uno de los elementos como puntos. De este modo pueden representarse infinidad de rutas desde una ubicación a otra.

Las personas y bienes están en continuo movimiento debido a la gran necesidad de transportar un elemento de un lugar a otro. Debido a esto, el ser humano siempre ha tendido a crear recorridos o caminos que optimicen la circulación de los recursos y personas. Gracias a esto se han conseguido crear grandes redes de transporte tanto de personas como recursos en todo el planeta, como ejemplos se pueden ver coches y vehículos motorizados circulando por carreteras, aviones desplazándose en rutas de vuelo predeterminadas, recursos como petróleo o gas circulando por conducciones creadas para dicho fin. Todo esto ha llevado a pensar en cierta medida la creación de nuevas redes de transporte que optimicen de la mejor manera los recursos y a la modelización de las rutas de viaje óptimas transporte, realizando un análisis exhaustivo de las infraestructuras de transporte ya existentes en la actualidad. El análisis de red más simple y utilizado con mayor frecuencia consiste en buscar la ruta más corta entre dos puntos, ya sea en distancia o en tiempo.

Las redes pueden desglosarse en dos tipologías en función de si se puede circular en uno o ambos sentidos de las mismas (Antón Burgos, F. J., 2013):

- **Redes de Servicios**

Las redes de servicios tales como electricidad, gas, desagües y conducciones de cualquier otro tipo permiten el desplazamiento de dicho recurso en una única dirección. El elemento que se transporta por la red, por ejemplo, las aguas residuales que circulan por la red de saneamiento no pueden elegir la dirección en la que circular, existen fuerzas exteriores que determinan el recorrido de los elementos de la red, en este caso sería la gravedad, pero podría ser cualquier otra dependiendo del recurso que se transporte por la conducción o red. Por tanto, es necesaria la correcta creación de este tipo de redes o conducciones para su correcto funcionamiento, ya que una vez creadas es difícil la alteración del sentido de su desplazamiento.

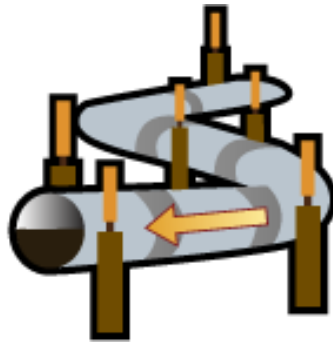


Figura 1-1. Red de servicios (fuente: [www.esri.es](http://www.esri.es) > Arcgis)

### • Redes de Transporte

Las redes de transporte, como pueden ser redes de carreteras, ferrocarril, calles o carriles bici permiten viajar a los elementos de la red en ambas direcciones. El individuo que se desplaza por la red, por ejemplo, un taxista que lleva a sus clientes de un punto a otro de la ciudad suele tener cierta libertad para decidir la ruta, así como decidir si un camino es mejor o no en función de la hora o el día de la semana. En este tipo de redes no es necesario prever el sentido en el que circularan los elementos, ya que generalmente el sentido de circulación se puede cambiar con cierta facilidad o en la mayoría de los casos están prediseñadas para la posibilidad de circulación en ambos sentidos de la red.



Figura 1-2. Red de transporte (fuente: [www.esri.es](http://www.esri.es) > Arcgis)

## 1.2. Teoría de Grafos y Cálculo de Rutas

Actualmente, una de las mejores alternativas para realizar un el cálculo de rutas es mediante la Teoría de Grafos, que permite esquematizar y resolver problemas en diferentes campos, en particular, se utiliza dicha teoría para modelar y resolver problemas de optimización del transporte.

La Teoría de Grafos comienza en 1736 con el matemático y físico Euler, pero el problema de los cuatro colores puede establecerse como el más importante en la Teoría de Grafos, que hizo que un gran número de matemáticos se decidieran a estudiar y desarrollar la teoría.

Un grafo está compuesto por dos elementos:

- **Nodos:** Son la representación de cada uno de los puntos por los que puede o debe pasar la red. Generalmente, hay un nodo origen y otro destino, aunque esto dependerá de la problemática a resolver.
- **Ramas o Arcos:** elementos que conectan cada uno de los nodos, son los que imponen las restricciones a la red.

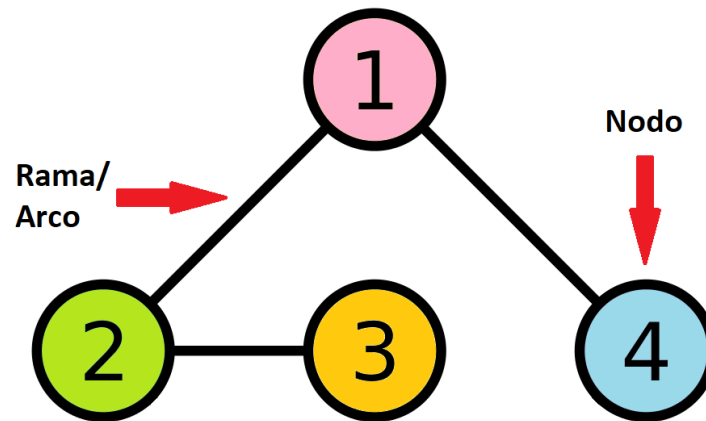


Figura 1-3. Representación grafo

A continuación, se van a revisar varios tipos de problemas planteados con el fin de conocer mejor la problemática de la resolución del cálculo de rutas. Se pueden distinguir dos tipologías distintas según el artículo Aplicación de la Teoría de Grafos para mejorar la planificación de rutas de trabajo de una empresa (V Puchades Cortés, J Mula Bru, A Rodríguez Villalobos, 2008).

Problemas de flujo de red (Taha,2004):

- **Problema de transporte:** se muestra una situación en la que se envía un bien o servicio desde uno o varios puntos de origen a uno o varios puntos de destino. El principal objetivo de este problema es determinar la cantidad de bienes enviados, satisfaciendo con ello las restricciones de oferta y demanda del problema y minimizando los costes del envío. Uno de los principales impedimentos de este tipo de problemas es la suposición de que el coste del envío es directamente proporcional al número de elementos enviados.
- **Problema de asignación:** mantiene una forma similar al problema del transporte, pero trata de asignar el mejor recurso para cada tarea. La principal ventaja es la sencillez en su resolución.
- **Problema de transbordo:** determina el número de unidades que debe pasar por cada arco de la red, de manera que todos los nodos satisfagan el coste mínimo para el transporte de todas las unidades.
- **Problema del viajante:** este tipo de problema es un caso particular del problema del transporte, en el que se busca determinar el recorrido, que empezando en un punto pase por todos los demás y finalice en el punto de partida. Este problema se podría asimilar al de la creación de las líneas de autobús urbano que pase por un número de paradas determinado.

Problemas de optimización de redes (Hillier y Lieberman, 2006):

- **Problema del árbol de expansión mínima:** trata de unir los nodos de una red de forma directa o indirecta, con el fin de encontrar la mínima distancia entre las conexiones de los nodos. Las principales aplicaciones de esta tipología de problemas es el diseño de redes telefónicas o del campo de la telecomunicación, aunque también pueden aplicarse a otros diseños de red.
- **Problema de la ruta más corta:** persigue encontrar el mínimo camino entre los puntos de origen y destino de la red de transporte. Con este tipo de problemas pueden buscarse la ruta optima en función de una variable elegida, en el caso del transporte estas variables son normalmente el tiempo o la distancia.
- **Problema de flujo máximo:** tiene como principal objeto transportar la mayor cantidad de elementos desde el punto de origen hasta el punto destino. Lo más importante de este problema es conocer la capacidad de cada uno de los componentes de la red, para determinar y optimizar la mejor alternativa.

- **Problema de flujo restringido de coste mínimo:** trata de determinar el flujo de cada una de las ramas, intentado minimizar el coste total del problema a la vez que satisface la oferta y demanda de cada uno de los nodos del problema, sin superar nunca la capacidad de las ramas.

### 1.3. Extensión Network Analyst de ArcGIS

La extensión ArcGIS Network Analyst es una herramienta integrada dentro del mismo programa ArcMap de ArcGIS con la que es posible la creación redes de transporte de uno o varios modos de transporte. Gracias a esta herramienta podemos resolver los problemas del cálculo de rutas. Entre ellos se pueden resolver preguntas del tipo (ESRI ArcGIS Network Analyst, s.f.):

- ¿De qué forma llegaría con mayor rapidez desde un punto A a un punto B

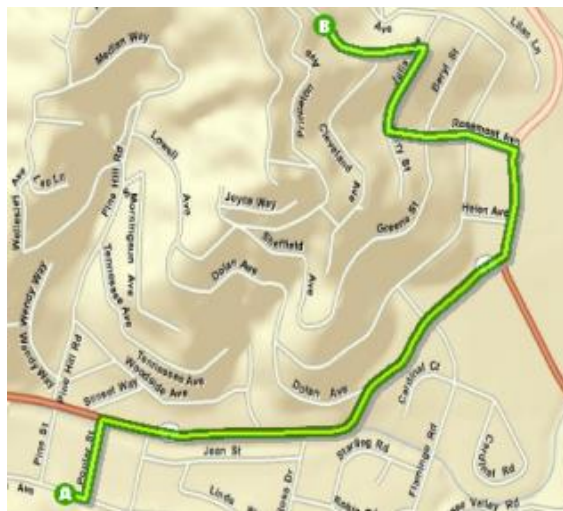


Figura 1-4. Ej. Punto A-B (www.esri.es > arcgis)

- ¿Qué zonas de la ciudad están a menos de 5 minutos de los hospitales o centros de salud?
- ¿Qué área de la ciudad cubre un determinado negocio?

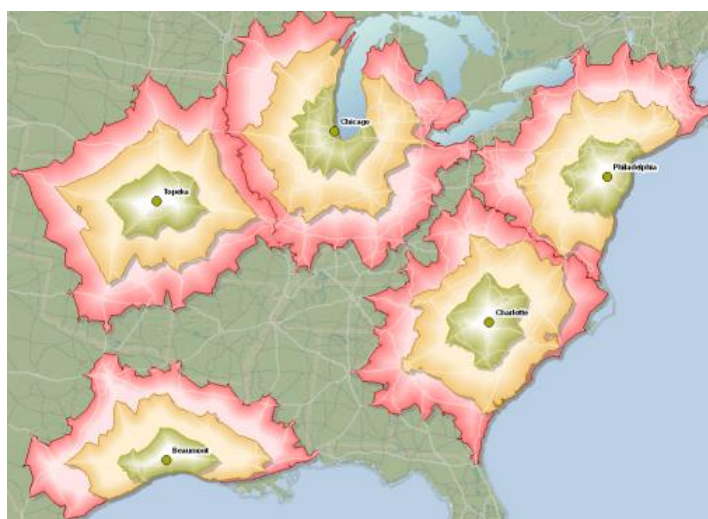


Figura 1-5. Ej. Área cubierta (www.esri.es > arcgis)



- ¿Qué coche de policía o ambulancia puede atender de forma más rápida un accidente?

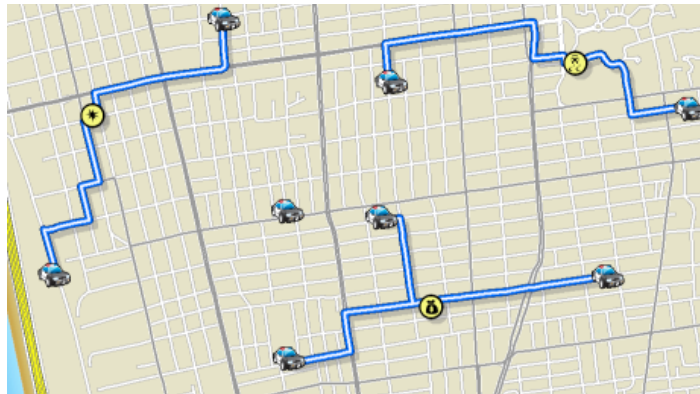


Figura 1-6. Ej. Servicio más cercano (www.esri.es > arcgis)

- ¿Cuál sería la ruta óptima para un camión de reparto?
- Si una cadena quiere cerrar uno de sus establecimientos, ¿cuál de ellos puede cerrar abarcando aun así la mayor área posible de la ciudad?
- ¿Cómo está distribuido el tráfico histórico de una ciudad, y como afecta a la misma?



Figura 1-7. Ej. Distribución de tráfico (www.esri.es > arcgis)

La extensión Network Analyst puede ayudar a gran cantidad de empresas y entidades a beneficiarse debido a la ayuda que proporciona para organizar y gestionar eficazmente sus rutas y planes de forma estratégica. Con la herramienta se pueden entender mejor los mercados, tanto los que hay en la actualidad como los potenciales, ya que ayuda a conocer las áreas con más potencial en el aspecto que se desee conocer.

Network Analyst facilita la resolución y comprensión de los problemas de resolución de organización de rutas de reparto, obtención de rutas mínimas y gestión de áreas que abarca un determinado servicio. Todas estas tareas se pueden realizar gracias al conocimiento del área de estudio y la calidad y precisión de los datos espaciales de ella, esto juega un papel muy importante en el desarrollo de una buena metodología a seguir para la optimización de la red.

## 1.4. Objetivos del trabajo

El objetivo del presente TFG es realizar desde datos libres la red multimodal de transportes de Sevilla, obtenido así una herramienta útil para el análisis de la movilidad y rutas mínimas de la ciudad, que pueda ser utilizada de análisis previo para una futura puesta a disposición de la población como herramienta que ayude a la optimización del tiempo de viaje en función de cada uno de los medios de transporte que ofrece la ciudad y aporte información útil para la mejora de los sistemas de transporte. Para ello, se tomará como referencia el problema de optimización de red visto en el apartado anterior, más concretamente en el modelo de la ruta más corta. Ya que se intenta buscar la ruta óptima para que un individuo se desplace de un punto a otro, siendo la principal variable a optimizar el tiempo, aunque habría casos en los que también se pueda buscar optimizar la distancia a recorrer. En particular, las pautas marcadas en la redacción del trabajo han sido:

1. Desarrollar una metodología que permita la creación de una red multimodal que recoja cada uno de los medios de transporte de la ciudad a analizar.
  - a) Identificar la información disponible de cada uno de los medios de transporte públicos que sea relevante para el estudio de la zona seleccionada.
  - b) Construir un modelo de la red de transporte de la zona de estudio incluyendo los datos espaciales y estadísticos a disposición pública, utilizando las posibilidades que ofrece la herramienta Network Analyst de ArcGIS.
  - c) Testear el mismo con la obtención de rutas mínimas con cada una de las formas de desplazarse analizadas.
  - d) Testear el mismo con la obtención de áreas de servicio para los equipamientos de la ciudad en estudio.
  
2. Aplicar la metodología desarrollada a la ciudad de Sevilla.

# 2 INFORMACIÓN DE PARTIDA Y ANÁLISIS PREVIO

---

En este apartado del presente trabajo se indican los datos empleados para su ejecución, así como la fuente de estos. Los datos varían en tipología, encontrándose tanto datos puntos referentes a estaciones, como datos de polilíneas que se emplean como el viario y las líneas de cada uno de los métodos de transporte. También se encuentran en este apartado, datos tanto de tráfico como velocidades medias de cada uno de los medios de transporte que se usarán posteriormente para asignarlos a los mismos.

## 2.1 Datos espaciales

### 2.1.1 Elementos de Transporte

Los principales métodos de transporte existentes en la ciudad son las líneas de autobús urbano de la compañía TUSSAM, el servicio de bicicleta pública SEVICI, el metro y el metrocentro.

Los datos espaciales obtenidos a continuación 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.

Todos los mapas mostrados a posteriormente han sido representados en coordenadas proyectadas UTM ETRS89 Huso 30N (en código ESPG:25830).

#### 2.1.1.1 Viario Urbano

El viario urbano de Sevilla ha sido obtenido de la página web alemana de datos espaciales abiertos Geofabrik (<http://www.geofabrik.de/>). Se seleccionó este lugar para la obtención de dichos datos espaciales debido al contener campo ‘‘oneway’’ en el que figura el correcto sentido de cada una de las vías.

Los campos a destacar de los datos espaciales del viario urbano son:

- **fclass.** Campo en el que se asigna una clase a cada una de las vías en función de sus propiedades. Siendo algunas de estas: motorway, primary, secondary, residential, living\_street, etc. Este campo se utilizará para la creación de un nuevo campo en el que se dividan estas clases en una jerarquía por niveles del 1 al 3, siendo el nivel 1, las vías de alta capacidad, el 2, las vías principales y el nivel 3 las calles locales. Esto se hará programando con la herramienta VB Script y quedará dividido el viario por niveles de jerarquía como se muestra en la siguiente imagen. (Código en Anexo A)



Figura 2-1. Niveles de jerarquía viario urbano de Sevilla

- **name.** Campo en el que se recoge el nombre de cada una de las vías. Éste servirá posteriormente para indicar las pautas que habrá que seguir una vez calculada la ruta mínima.
- **ref.** Campo que recoge los nombres de referencias de viarios y rutas de gran envergadura tales como SE-30, N-4, A-92, etc.
- **maxspeed.** Se recoge la velocidad máxima para cada una de las vías
- **bridge.** Campo que muestra si la vía en cuestión es un puente (valor ‘T’) o si no lo es (valor ‘F’)
- **tunnel.** Campo que especifica si la vía es un túnel (valor ‘T’) o si no lo es (valor ‘F’)
- **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. Se puede ver en la siguiente imagen como se están distribuido este campo en la ciudad.

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



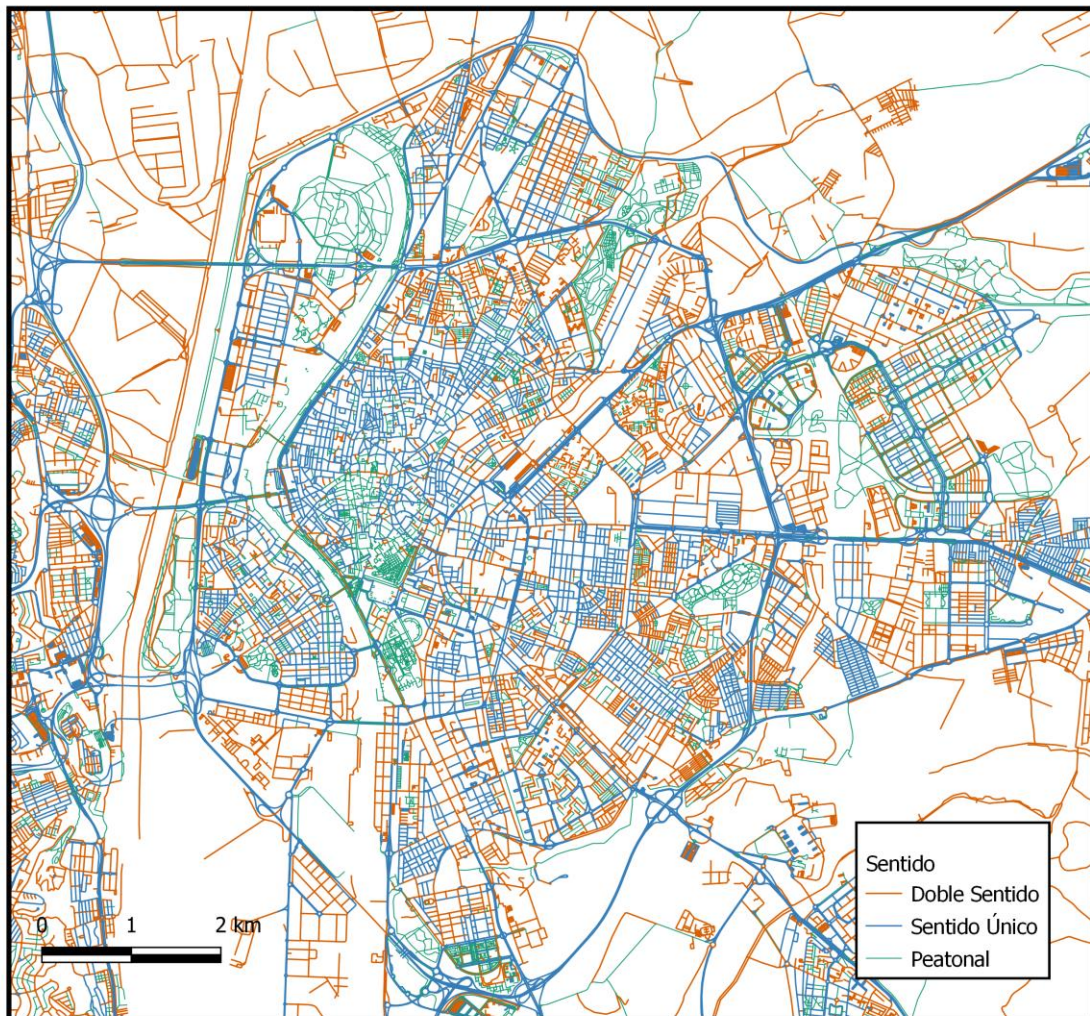
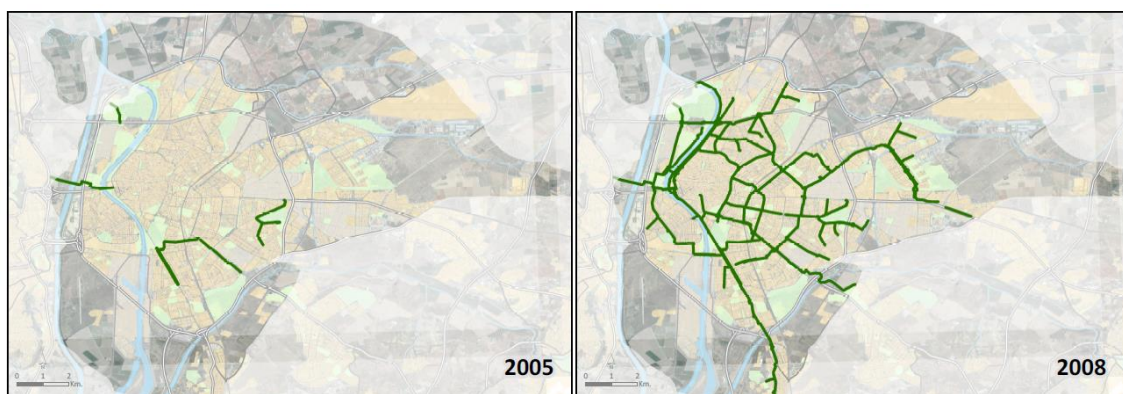


Figura 2-2. Sentido del viario urbano de Sevilla

### 2.1.1.2 Carril Bici y SEVICI

Sevilla cuenta con una de las mejores redes de carril bici, que empezó a construirse en el año 2004 para fomentar la bicicleta como medio de transporte. Actualmente la gran parte de las calles principales de la ciudad cuenta con carril bici y este sigue creciendo como se puede ver en el *Programa de la bicicleta Sevilla 2020*. Programa en el que se recogen las medidas de actuación tanto para la mejora de la red como para su ampliación.

En la siguiente imagen podemos ver la evolución de la red de carril bici desde su comienzo en 2005 hasta el año 2017.





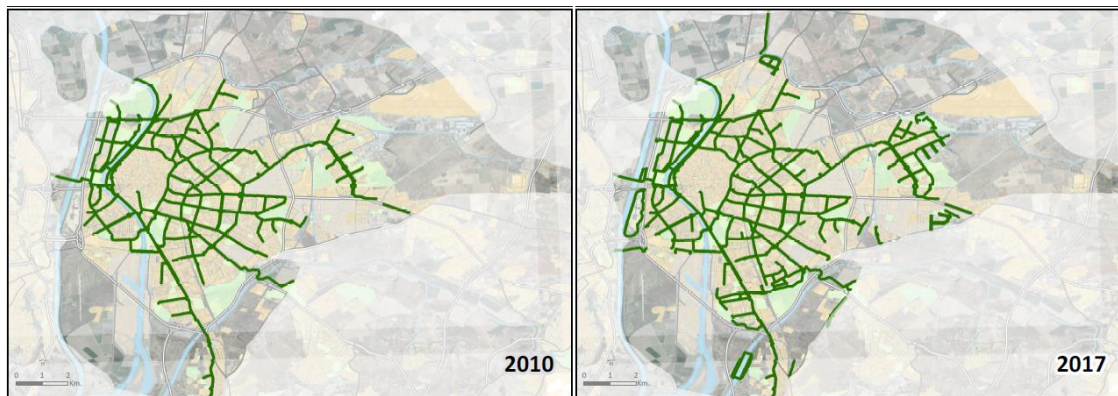


Figura 2-3. Evolución carril bici Sevilla (Programa de la bicicleta Sevilla 2020)

Actualmente, la ciudad cuenta con un servicio de alquiler de bicicletas públicas del Ayuntamiento de Sevilla, SEVICI, fue instalado en julio de 2007 y explotado por la empresa JCDecaux. Este servicio cuenta con 5.142 puntos de anclaje repartidos en 260 áreas de aparcamiento y una flota de 2.600 bicicletas aproximadamente repartidos por toda la ciudad. Cualquier persona con más de 14 años puede usar el SEVICI una vez haya adquirido un abono, ya sea anual o semanal. Una vez obtenido este abono, se podrá utilizar la bicicleta durante media hora sin coste. El sistema funciona a cualquier hora durante todos los días del año.



Figura 2-4. Estación SEVICI (GoogleMaps)

Para mostrar la red de carril bici se han obtenido datos espaciales de ide.Sevilla (<https://idesevilla.maps.com>) en la que destacan los campos:

- **FechaAlta.** Campo en el que se recoge la fecha en la que se creó cada una de las entidades que componen el archivo.
- **Actualizad.** Campo en el que se muestra la fecha de la última actualización de cada una de las entidades del archivo.
- **LONGITUD.** Campo en el que aparece la longitud en metros de cada entidad.

Hay que destacar que no se ha encontrado ningún dato espacial de la red de carril bici en la que aparezca un campo de texto en el que aparezca el nombre de la vía por la que transcurre dicho carril. Esto repercutirá a la hora de crear la red, ya que no indicará con precisión el nombre de las calles por las que habrá que transcurrir cuando se haga en bicicleta.

También se han obtenido los datos espaciales de la ubicación de cada una de las estaciones de SEVICI, en la que se muestran los siguientes campos:

- **id\_estacio.** Campo en el que se muestra el número la estación, esto nos hace saber que hay 260 estaciones SEVICI.
- **Direccion.** En este campo se muestra la dirección exacta donde se encuentra cada una de las estaciones.
- **Aproximaci.** Sirve para conocer otra dirección aproximada de la estación.
- **Lat\_Y.** Especifica la latitud geográfica de la entidad.
- **Lon\_X.** Especifica la longitud geográfica de la entidad.
- **CreationDa.** Campo que recoge la fecha de la creación de cada entidad del archivo.
- **Creator.** Muestra el creador de la entidad en cuestión, en este cado el Ayuntamiento de Sevilla.

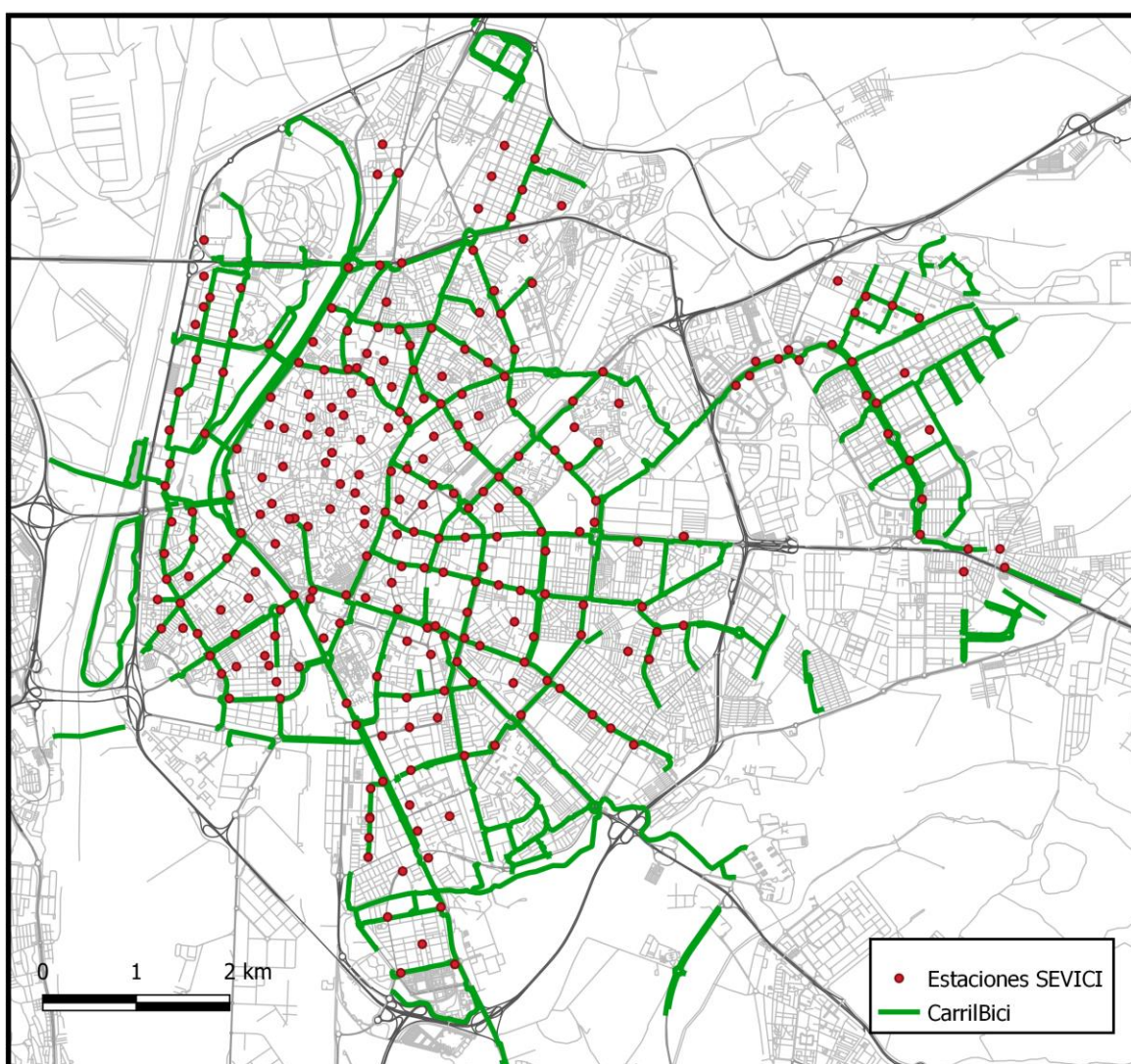


Figura 2-5. Carril bici y estaciones SEVICI



### 2.1.1.3 Autobús urbano

La ciudad de Sevilla cuenta con una red de autobús urbano explotada por la empresa pública perteneciente al ayuntamiento, TUSSAM. En la actualidad cuenta con 1.040 paradas de autobús distribuidas en 689km de red a través de 44 líneas diurnas.

Para mostrar la red de líneas y paradas de autobús urbano de TUSSAM, se han obtenido los datos espaciales de cada una de las líneas de ide.Sevilla en la que destacan los campos:

- **Color.** Campo en el que se muestra el color del letrero de la línea en notación HTML
- **DestinoRut.** Campo de texto en el que aparece el destino que tiene dicha línea de autobús.
- **LabelLinea.** Campo de texto que muestra el número asignado que tiene la línea.
- **Linea.** Campo de numérico que muestra el número asignado que tiene la línea.
- **NombreLine.** Campo de texto que contiene el nombre de cada línea.
- **NombreRuta.** Campo de texto que contiene el inicio y fin de la línea.

Campos de los datos espaciales de las paradas de autobús:

- **LabelLinea.** Campo de texto que muestra a la línea que está asignada esa parada de autobús.
- **Linea.** Campo de numérico que muestra a la línea que está asignada esa parada de autobús.
- **Nodo.** Campo de numérico en el que aparece el número de la parada.
- **Nombre.** Campo de texto que contiene el nombre de la parada.

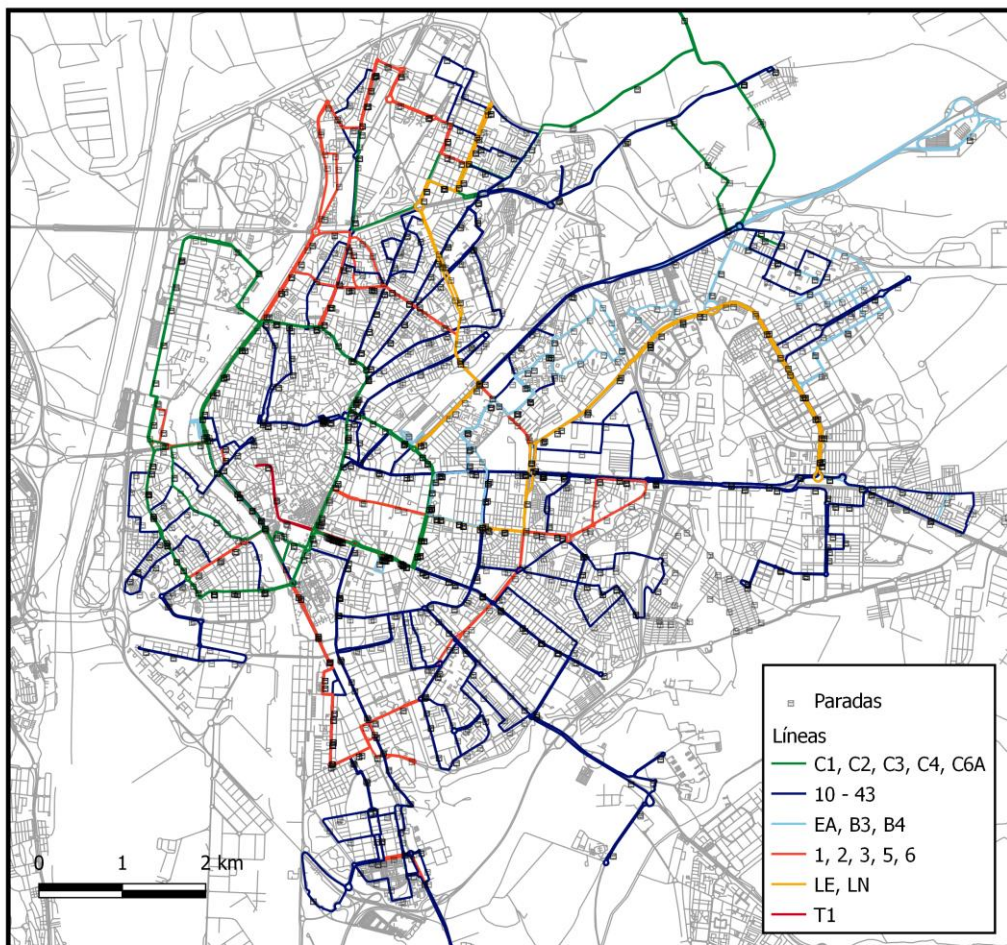


Figura 2-6. Líneas de TUSSAM



#### 2.1.1.4 Metro

La ciudad de Sevilla cuenta con una única línea de metro, la línea 1, esta discurre por la ciudad y cuatro municipios más de su área metropolitana de este a oeste. Dicha línea tiene una longitud de 18km en la que transcurre por 22 estaciones y está dividida en 3 zonas diferentes. (Junta de Andalucía, *Metro Sevilla*, s.f.).



Figura 2-7. Recorrido L1 Metro Sevilla (www.metro-sevilla.es)

Para mostrar la línea 1 de metro se han obtenido los datos espaciales tanto de la línea como de sus estaciones de ida. Sevilla en la que destacan los campos:

- **ID\_TRAMO\_M.** Campo en el que se muestra el número de la estación de inicio y la de fin del tramo.
- **ID\_EST\_INI.** Campo numérico que muestra la estación de inicio de dicho tramo.
- **ID\_EST\_FIN.** Campo numérico que muestra la estación de fin de dicho tramo.
- **VME.** Campo numérico en el que consta la velocidad media de cada uno de los tramos de la línea (40km/h).
- **LINEA\_METR.** Campo numérico en el que aparece el número de la línea a la que pertenece dicho tramo.

Campos de los datos espaciales de las paradas de autobús:

- **NOMBRE.** Campo de texto que da nombre a la estación de metro,
- **ID\_EST\_MET.** Campo numérico que muestra la referencia numérica de la estación.

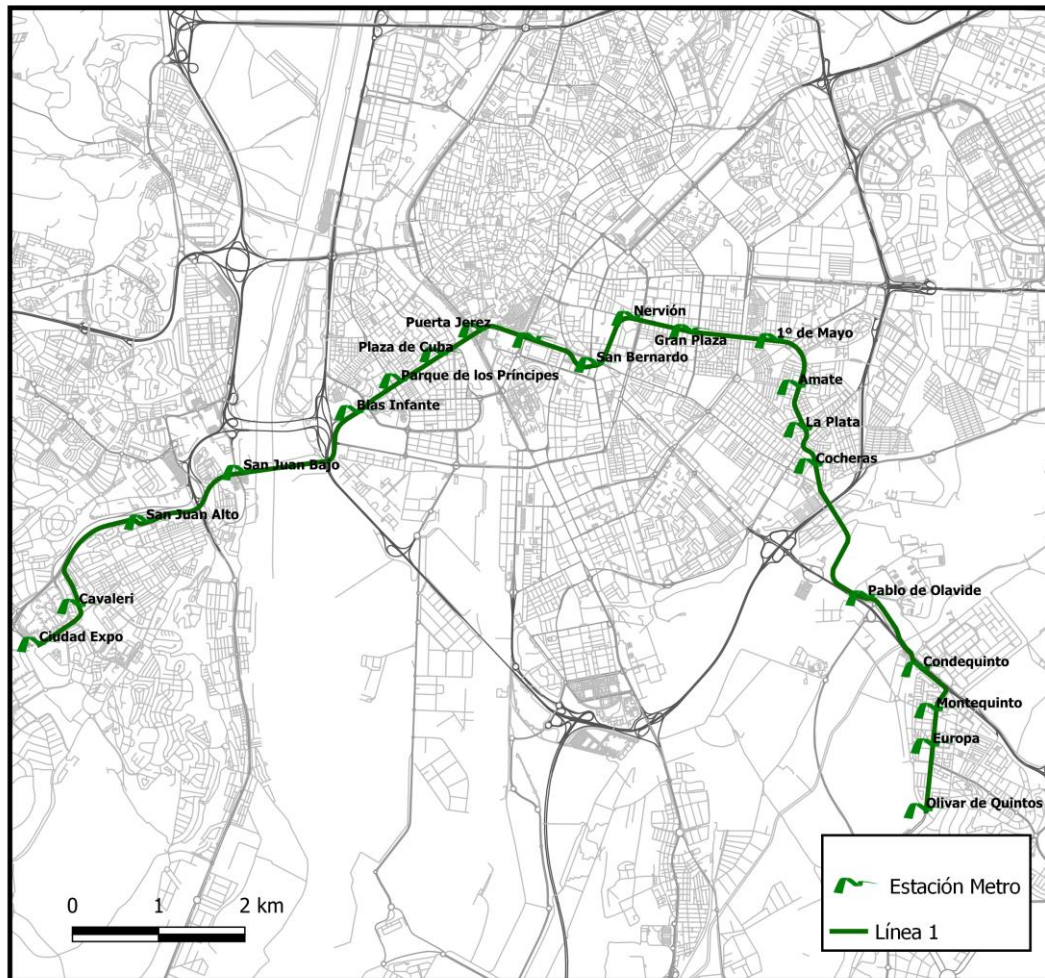


Figura 2-8. Red de metro de Sevilla

## 2.1.2 Infraestructuras

Se ha realizado una recopilación de los datos espaciales de las principales infraestructuras de servicios de Sevilla, en la que se muestran los centros de salud, bibliotecas, supermercados, parques de bomberos y centros de policía que contiene la ciudad. Los datos espaciales de los servicios mostrados a continuación pertenecen a la página de Infraestructura de Datos Espaciales de Sevilla ([ide.Sevilla](http://ide.Sevilla)).

### 2.1.2.1 Centros de Salud

Para mostrar los centros de salud se han obtenido datos espaciales de [ide.Sevilla](https://idesevilla.maps.com/) (<https://idesevilla.maps.com/>) en la que destacan los campos:

- **Código.** Campo numérico en el que se muestra el número de identificación de la infraestructura sanitaria.
- **Nombre.** Campo de texto que recoge el nombre de la infraestructura sanitaria.
- **Tipo.** Campo de texto que identifica la tipología, ya sea hospital, centro de salud o consultorio.
- **Dirección.** Campo de texto en el que aparece la dirección exacta de la infraestructura.
- **Teléfono.** Campo numérico que recoge el teléfono de contacto del servicio sanitario.
- **Web.** Campo de texto en el que aparece la página web del servicio sanitario.



Figura 2-9. Centros de Salud

### 2.1.2.2 Bibliotecas Públicas

Para mostrar los bibliotecas se han obtenido datos espaciales de ide.Sevilla (<https://idesevilla.maps.com/>) en la que destacan los campos:

- **FID\_1.** Campo numérico en el que se muestra el número de identificación de la biblioteca.
- **DISTRITO.** Campo de texto que recoge el distrito en el que se encuentra la infraestructura.
- **NOMBRE.** Campo de texto que recoge el nombre de la biblioteca.
- **DIRECCION.** Campo de texto en el que aparece la dirección exacta de la infraestructura.
- **TELEFONO.** Campo numérico que recoge el teléfono de contacto de la biblioteca.
- **WEB.** Campo de texto en el que aparece la página web de la biblioteca pública.





Figura 2-10. Bibliotecas Públicas

### 2.1.2.3 Supermercados

Para mostrar los supermercados se han obtenido datos espaciales de ide.Sevilla (<https://idesevilla.maps.com>) en la que destacan los campos:

- **NOMBRE.** Campo de texto que recoge el nombre del supermercado.
- **TELEFONO.** Campo numérico que recoge el teléfono de contacto del supermercado.
- **DIRECCION.** Campo de texto en el que aparece la dirección exacta del supermercado.
- **WEB.** Campo de texto en el que aparece la página web del supermercado.
- **HORARIO.** Campo de texto que recoge el horario de apertura del supermercado.

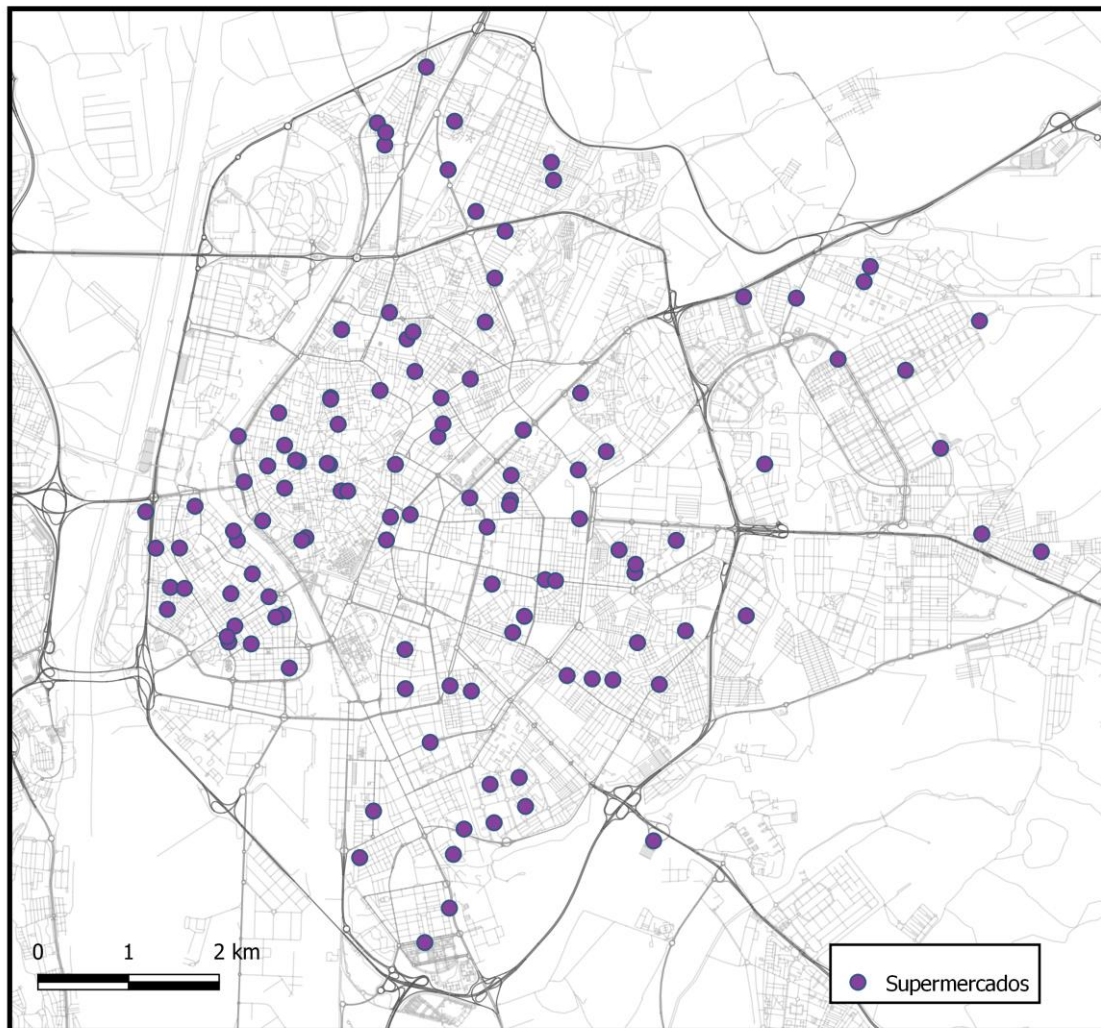


Figura 2-11. Supermercados

#### 2.1.2.4 Parques de Bomberos

Los datos espaciales de los parques de bomberos que contiene la ciudad se han obtenido de ide.Sevilla (<https://idesevilla.maps.com>) en la que destacan los campos:

- **NOMBRE.** Campo de texto que recoge el nombre del parque de bomberos.
- **TELEFONO.** Campo numérico que recoge el teléfono de contacto de emergencias (112).

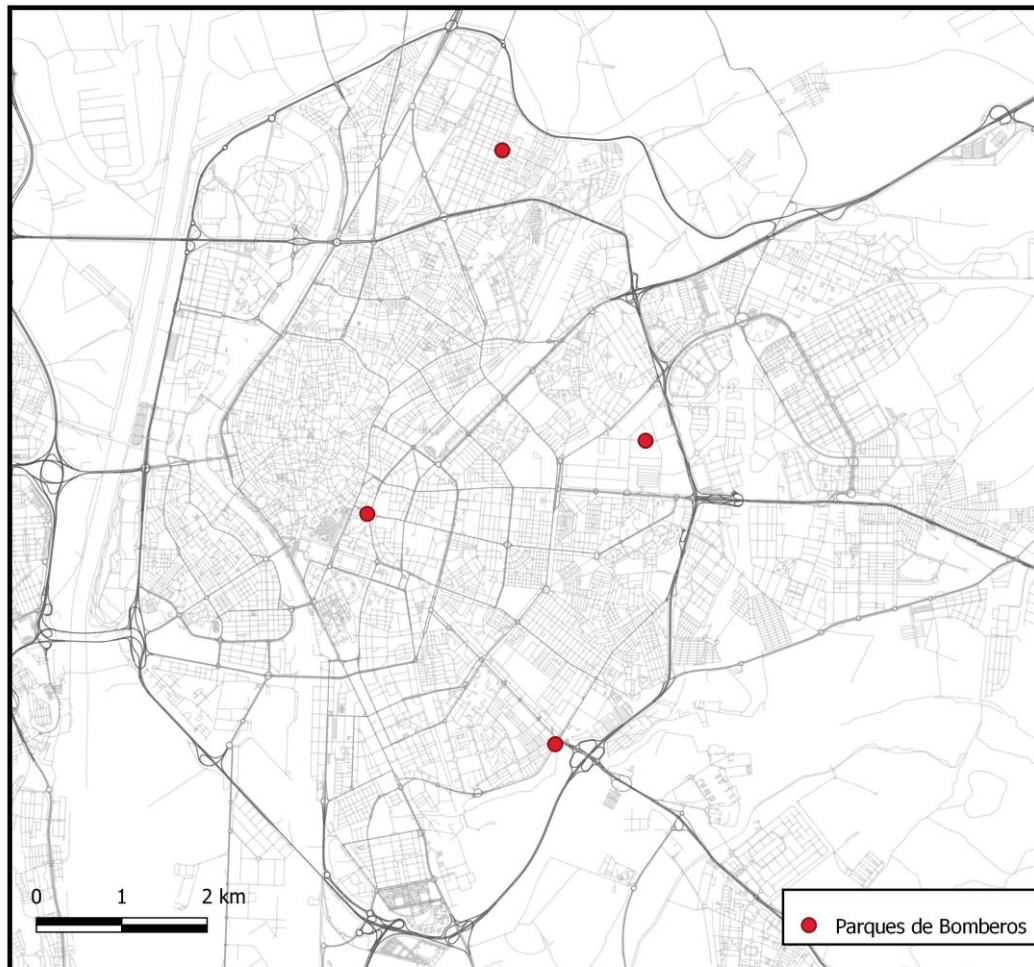


Figura 2-12. Parques de Bomberos

### 2.1.2.5 Comisarías de Policía Local

Los datos espaciales de las comisarías de policía local repartidas por Sevilla se han obtenido de la página web [ide.Sevilla \(https://idesevilla.maps.com\)](https://idesevilla.maps.com) en la que destacan los campos:

- **FID\_1.** Campo numérico en el que se muestra el número de identificación de la comisaría.
- **Nombre.** Campo de texto que recoge el nombre de la infraestructura.
- **Dirección.** Campo de texto en el que aparece la dirección exacta de la comisaría de policía.
- **Teléfono.** Campo numérico que recoge el teléfono de contacto de la comisaría.



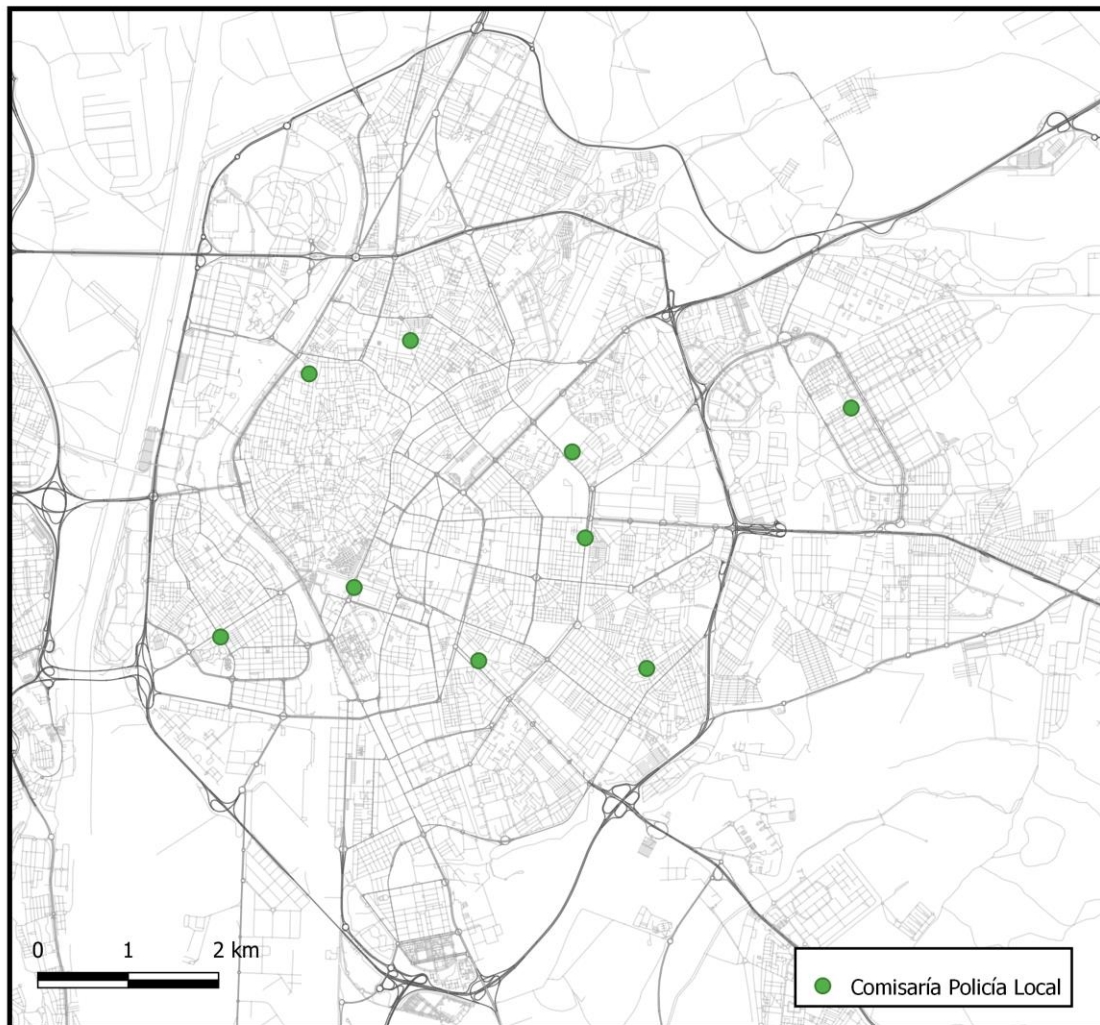


Figura 2-13. Comisaría de Policía Local

## 2.2 Datos de Velocidades

Los datos de velocidades tienen como fin estimar el tiempo de viaje que conlleva desplazarse de un punto a otro de la ciudad en función de cada uno de los medios de transporte que ofrece la ciudad de Sevilla, ya sea andando, utilizando vehículo propio, autobús urbano, metro o bicicleta.

Por ello, se han estimado las velocidades medias o comerciales de cada uno de los medios de transporte o formas de desplazarse por la ciudad. La velocidad comercial se obtiene de dividir la distancia desde el origen hasta destino entre el tiempo que se tarda en recorrerla, incluyendo en este tiempo las paradas realizadas en las estaciones o paradas.

La velocidad media de un individuo caminando según la propia herramienta Network Analyst de ArcGIS es de 6 km/hora. Por otro lado, la velocidad media para desplazarse en bicicleta en Sevilla es de 15 km/hora según el Programa de la bicicleta Sevilla 2020. La velocidad comercial de la línea 1 de metro viene ya dada en los datos espaciales de este medio de transporte, siendo la misma de 40 km/h en todos sus tramos. En cambio, los datos de velocidad comercial de cada una de las líneas de autobús urbano vienen recogidos en la memoria anual 2018 de la propia empresa TUSSAM, en la que se muestran los datos de cada una de las líneas.

A continuación, se muestra una tabla resumen en la que se adjunta cada una de las velocidades en función del medio en el que se desee desplazarse.

Tabla 2-1. Velocidad de recorrido autobús urbano

Forma de Desplazarse		Velocidad de recorrido (Km/h)
<b>Autobús urbano</b>		
Línea	Denominación	
1	Polígono Norte - Hospital V. Rocío	11,37
2	Barqueta - Heliópolis	12,01
3	Bellavista - San Jerónimo - Pino Montano	14,29
5	Puerta Triana - Santa Aurelia	12,43
6	Gta. San Lázaro - Hospital V. Rocío	12,20
10	Ponce de León - San Jerónimo	11,69
11	Ponce de León - Los Príncipes	10,40
12	Ponce de León - Pino Montano	11,10
13	Plaza del Duque - Pino Montano	12,25
14	Plaza del Duque - Polígono Norte - Las Golondrinas	10,70
15	Ponce de León - San Diego	10,97
16	Plaza Padre Jerónimo de Córdoba - Valdezorras	16,42
20	Ponce de León - Polígono San Pablo	11,82
21	Plaza de Armas - Polígono San Pablo	11,55
22	Prado de San Sebastián - Sevilla Este	15,69
24	Ponce de León - Juan XXIII - Palmete	11,47
25	Prado de San Sebastián - Rochelambert	12,35
26	Prado de San Sebastián - Cerro del Águila	11,58
27	Plaza del Duque - Sevilla Este	13,13
28	Prado de San Sebastián - Alcosa	15,97
29	Prado San Sebastián - Torreblanca	18,20
30	Prado de San Sebastián - La Paz	12,31
31	Prado de San Sebastián - Polígono Sur	12,31
32	Plaza del Duque - Polígono Sur	11,11
34	Prado de San Sebastián - Los Bermejales	13,16
37	Puerta Jerez - Pedro Salvador - Bellavista	13,84
38	Prado de San Sebastián - Univ. Pablo Olavide	15,09
40	Plaza Magdalena - El Tardón - Triana	11,07
41	Plaza Magdalena - Los Remedios - Tablada	13,54
43	Plaza Magdalena - Turruñuelo - El Tardón - Triana	11,05
52	San Bernardo - Gran Plaza - Palmete	12,36
53	Los Arcos - Centro Penitenciario Sevilla I	23,45
B3	Gran Plaza - Polígono San Pablo - Santa Clara	13,44
B4	San Bernardo - Alcosa - Sevilla Este - Torreblanca	14,54
C1	Circular Exterior 1	12,55
C2	Circular Exterior 2	12,07
C3	Circular Interior 1	11,92
C4	Circular Interior 2	10,91
C5	Circular Centro	10,39
C6	Circular Macarena Norte	16,42
EA	Plaza de Armas - Aeropuerto	18,95
LC	Blas Infante - Isla de la Cartuja	17,44
LE	Prado de San Sebastián - Sevilla Este	15,95
LN	Prado de San Sebastián - Pino Montano	13,42
T1	Metrocentro (Plaza Nueva - San Bernardo)	8,65



Tabla 2–2. Velocidad de recorrido caminando, bicicleta, metro y coche

Forma de Desplazarse	Velocidad de recorrido (Km/h)
<b>Caminando</b>	6
<b>Bicicleta</b>	15
<b>Metro (Línea 1)</b>	40
<b>Coche</b>	
Nivel de Jerarquía 1	90
Nivel de Jerarquía 2	50
Nivel de Jerarquía 3	30

## 2.3 Datos Propios

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.

Estos dataset de entidades se le asignará el nombre de “Transfer” seguido del medio de las entidades que interconecte. Se han creado los siguientes transfers:

- Transfer\_Calles\_Bus
- Transfer\_Calles\_Metro
- Transfer\_Calles\_SEVICI
- Transfer\_CarrilBici\_SEVICI

Las entidades creadas únicamente tienen dos campos:

- **FID.** Número que se le asigna directamente a la entidad cuando se crea.
- **Metros.** Campo numérico en el que aparece la longitud del elemento creado.

# 3 METODOLOGÍA

Una vez se haya realizado previamente el análisis de la ciudad y su movilidad urbana, así como obtenidos los datos de velocidades de recorrido de cada uno de los medios de transporte, se comenzará a crear la red multimodal con la extensión de Network Analyst de ArcGIS descrita anteriormente. En el siguiente esquema se muestran los pasos a seguir para la creación de la red.

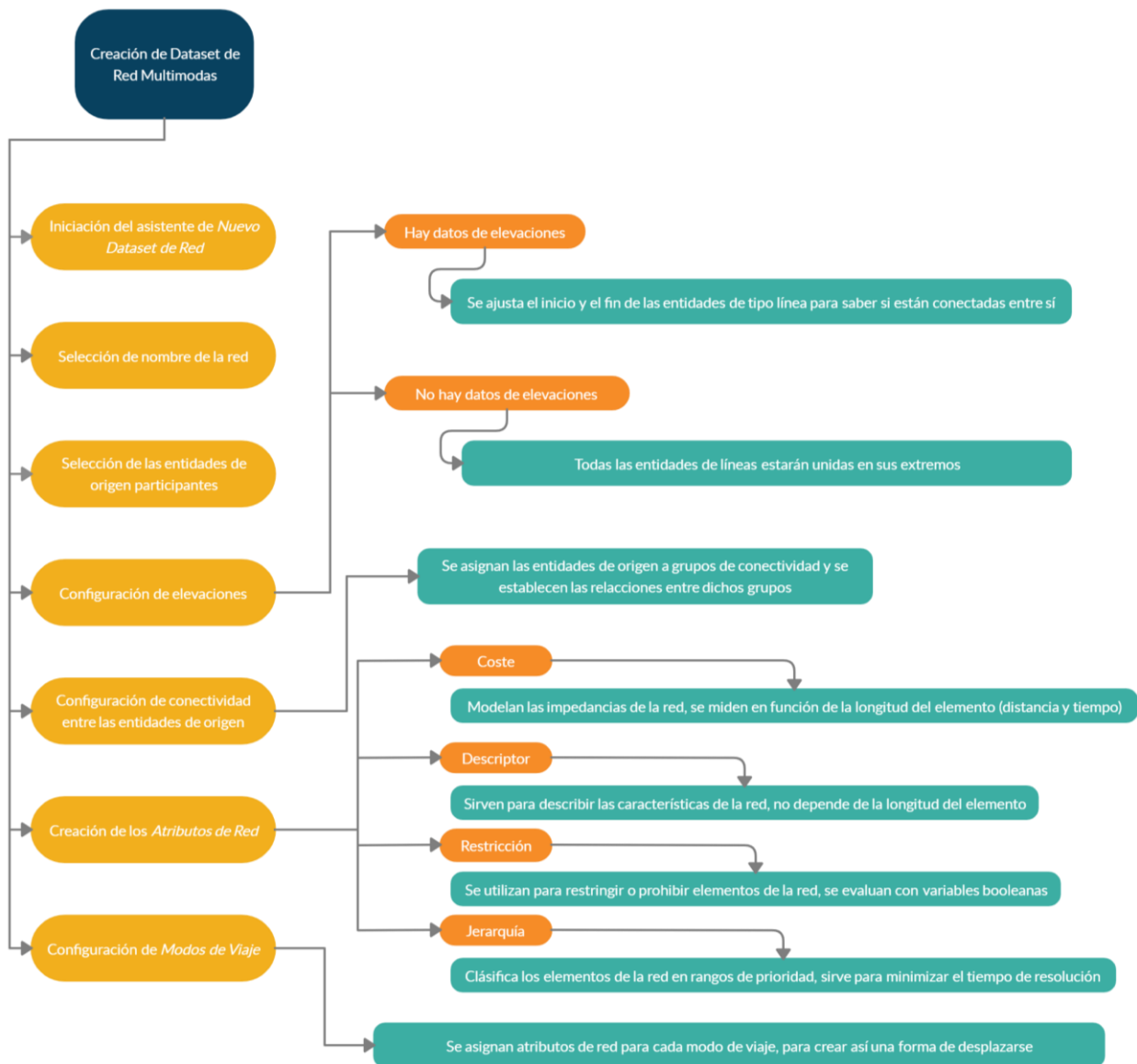


Figura 3-1. Esquema creación Dataset de Red Multimodal

### 3.1 Creación del Dataset de Red Multimodal

En este apartado se creará un dataset de red de varios modelos a partir de una base de datos previamente creada que contiene varias clases de entidad dentro de un dataset de entidades. Un dataset de red es una recopilación de elementos de red (ejes y cruces) que modelan el flujo. La herramienta Network Analyst crea los dataset de red porque las líneas y puntos por sí solos no están conectados entre sí, con el dataset de red se crean esas relaciones entre ellos para garantizar una resolución rápida del cálculo de rutas.

#### 3.1.1 Iniciación del asistente de nuevo dataset de red

Para crear el dataset de red multimodal primeramente se tendrá que activar la extensión Network Analyst en ArcGIS, ya que no viene por defecto, y se deberán tener todas las clases de entidades participantes en un dataset de entidades (Transportation) y este a su vez en una base de datos (Sevilla).

Se hará clic derecho en el dataset de entidades “Transportation” y se seleccionará “Nuevo” y “Dataset de red” para empezar la creación del dataset de red.

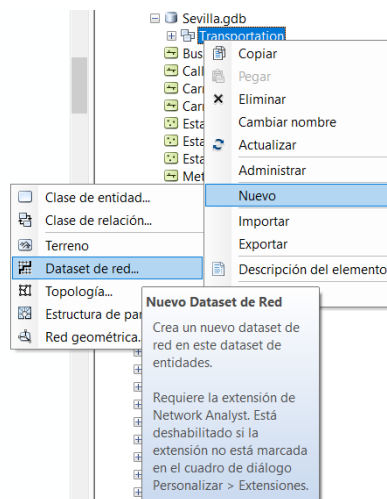


Figura 3-2. Inicio nuevo dataset de red

#### 3.1.2 Nombre de la red y selección de las clases de entidades de origen

Aparecerá la siguiente ventana en la que se introducirá el nombre del dataset de red y se seleccionará la versión.

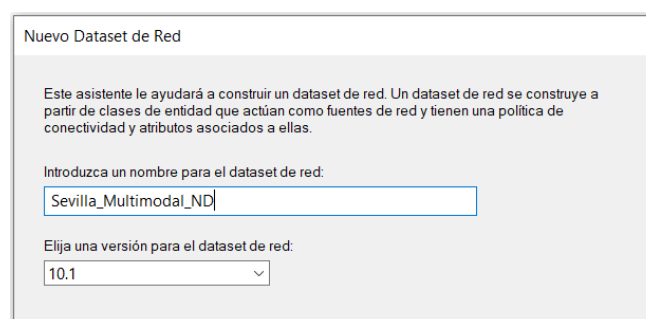


Figura 3-3. Selección de nombre dataset de red

La opción de elección de versión solo será útil si se necesita compartir el dataset de red con versiones anteriores de ArcGIS. Esto se traduce en la eliminación de funcionalidades introducidas en versiones posteriores a las elegidas.

En la pantalla de elección de las clases de entidad participantes en el dataset de red se seleccionarán todas, ya que éstas fueron recopiladas anteriormente en un dataset de entidades.



Figura 3-4. Selección entidades del dataset de red

A continuación, en la siguiente ventana se seleccionará “sí” para modelar los giros de la red. Aunque no haya clases de entidad de giro para la red, al seleccionar “sí” como opción permitirá que el dataset admita giros globales. También estará disponible la opción de introducir entidades de giro más tarde una vez creado el dataset de red.

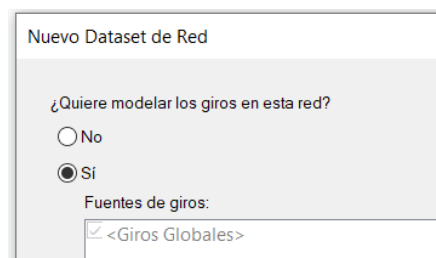


Figura 3-5. Modelado de giros del dataset de red

### 3.1.3 Establecer elevaciones y conectividad

En la siguiente pestaña se asignarán los grupos de conectividad. Los grupos de conectividad se usan para modelar redes de transporte multimodales y estos, permiten que las distintas redes continúen siendo independientes, pero estén conectadas entre sí en los cruces (entidades de puntos).

En función de la clase de entidad que sea, punto o polilínea, la conectividad se asignará de distinta forma. Las entidades de tipo punto son cruces en los que se pueden conectar una o varias redes, por lo que habrá que seleccionar la política de conectividad “honor” y asignar los grupos de conectividad que interconectan. Por lo contrario, si se selecciona la política de conectividad “invalido” no se conectarán varios grupos de conectividad entre sí, únicamente serán puntos de paso. Las entidades de tipo polilínea son las redes en sí mismas, si se asignan varias a un mismo grupo de conectividad estarán conectadas entre sí. La política de conectividad “extremo” o “cualquier vértice” hace referencia al lugar donde se podrán conectar con el resto de redes.

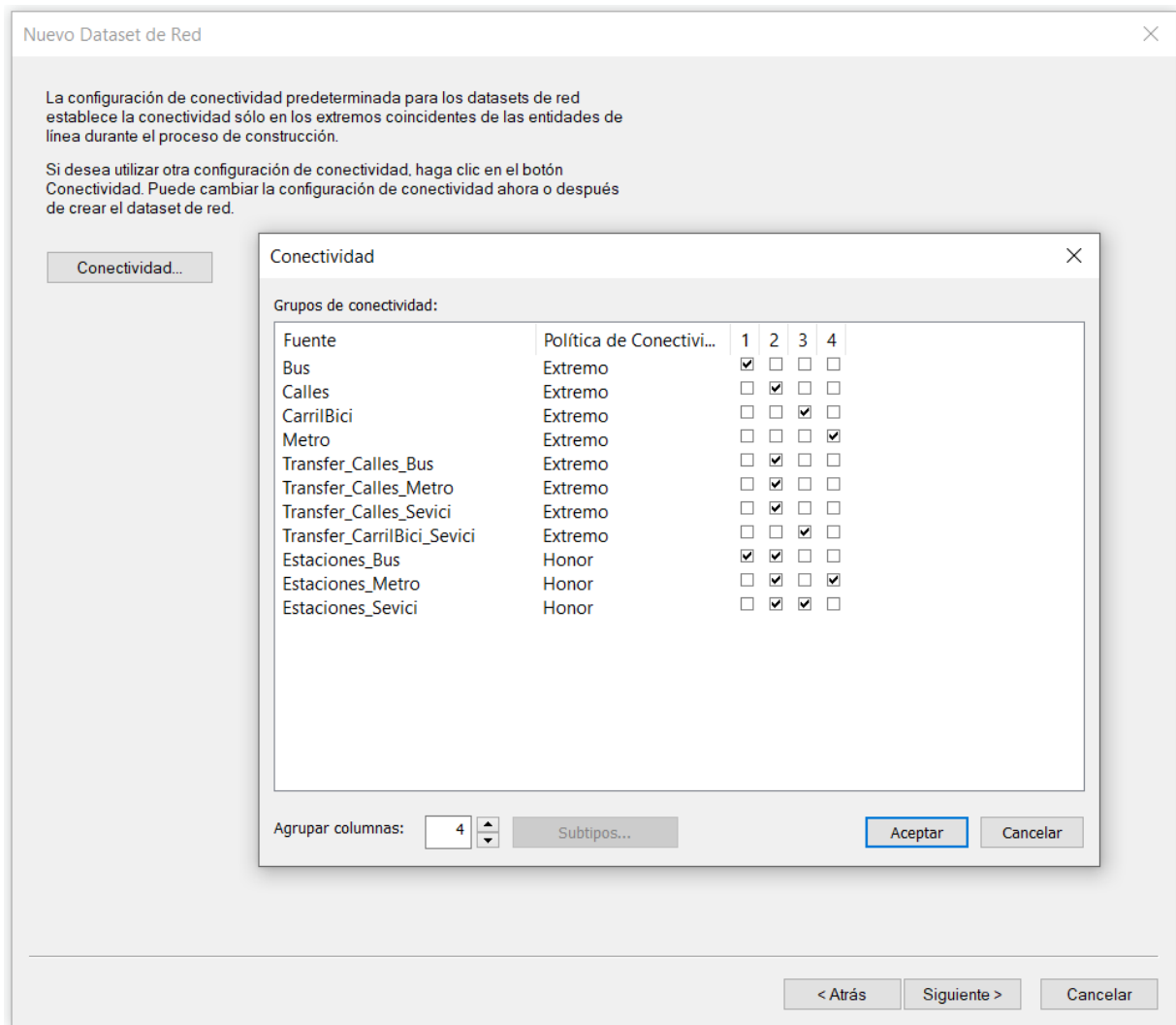


Figura 3-6. Grupos de conectividad del dataset de red

El modelado de la elevación en un dataset de red también forma parte de la conectividad. Es posible que dos líneas se unan en un extremo en longitud y latitud, pero su elevación sea diferente, por lo que, aunque en un espacio 2D parezcan unidas en el espacio 3D no lo están realmente. Si se ignora la elevación, las líneas se conectarán en los extremos. Sin embargo, si se considera la elevación, no se conectarán si tienen distinta cota.

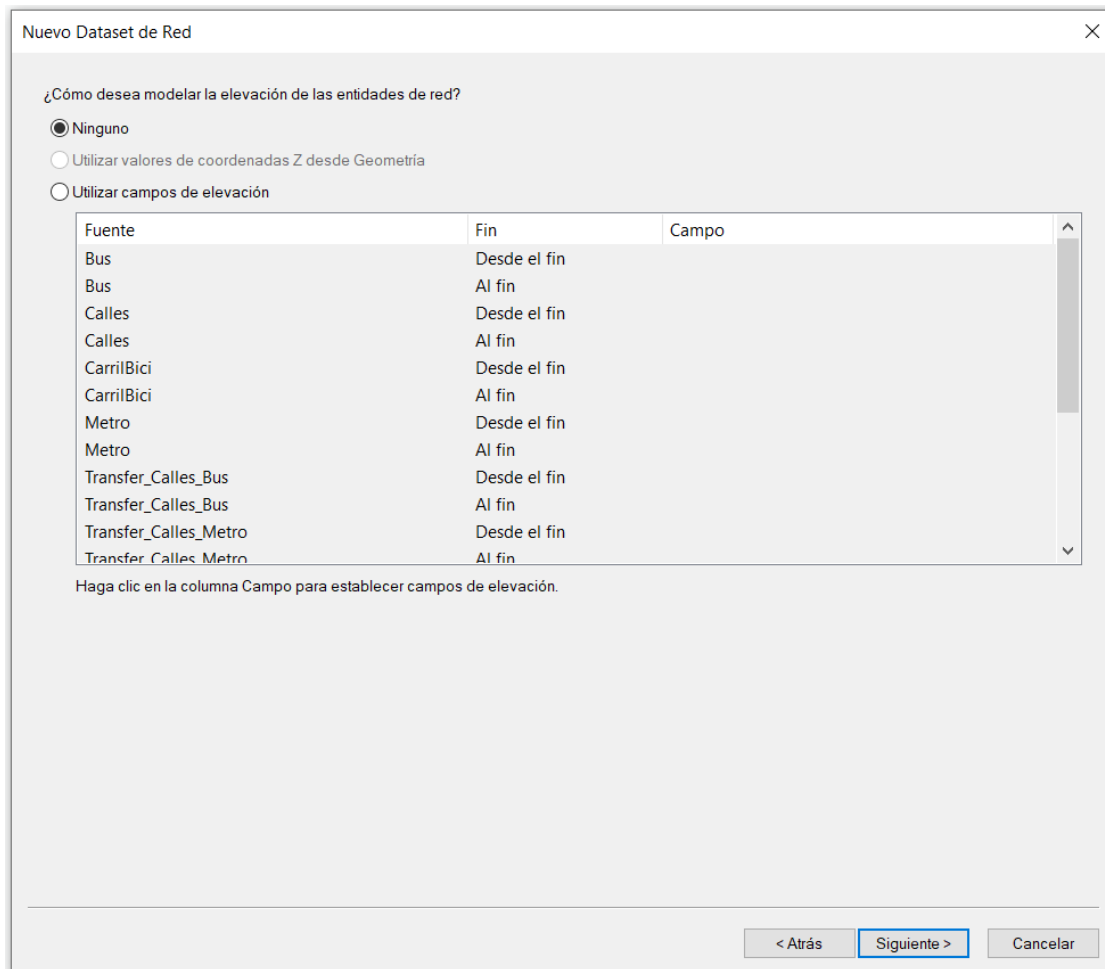


Figura 3-7. Modelado de elevaciones del dataset de red

### 3.1.4 Tipos de 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.

### 3.1.5 Configuración de los atributos de red

Se han creado los siguientes atributos de red con el objetivo de definir las propiedades de la red multimodal de la ciudad de Sevilla. En ella aparecen únicamente dos tipos de usos, coste y restricción.

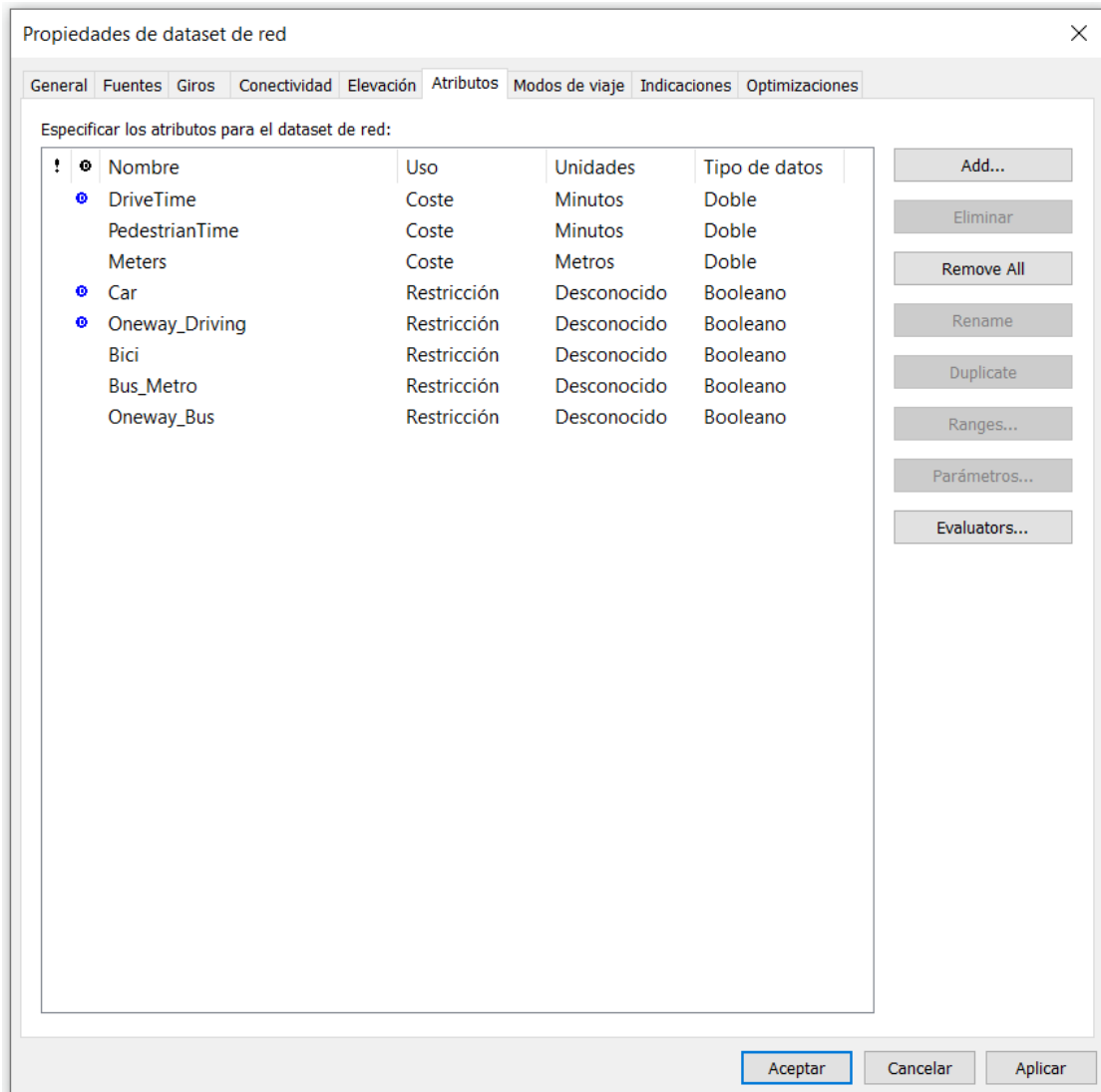


Figura 3-8. Atributos del dataset de red

#### 3.1.5.1 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. El valor -1 en el resto de campos se usará para describir la imposibilidad de pasar por esos elementos de red si se asigna el atributo DriveTime.

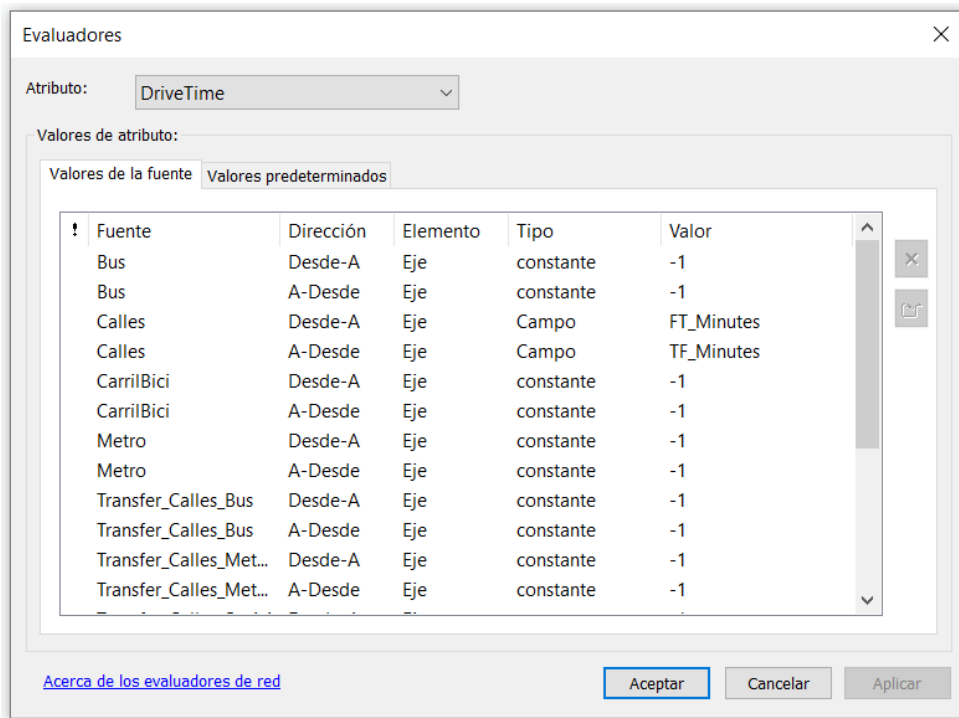


Figura 3-9. Atributo de coste DriveTime

- 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. El valor que aparece como <expresión> es el tiempo caminando, 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.

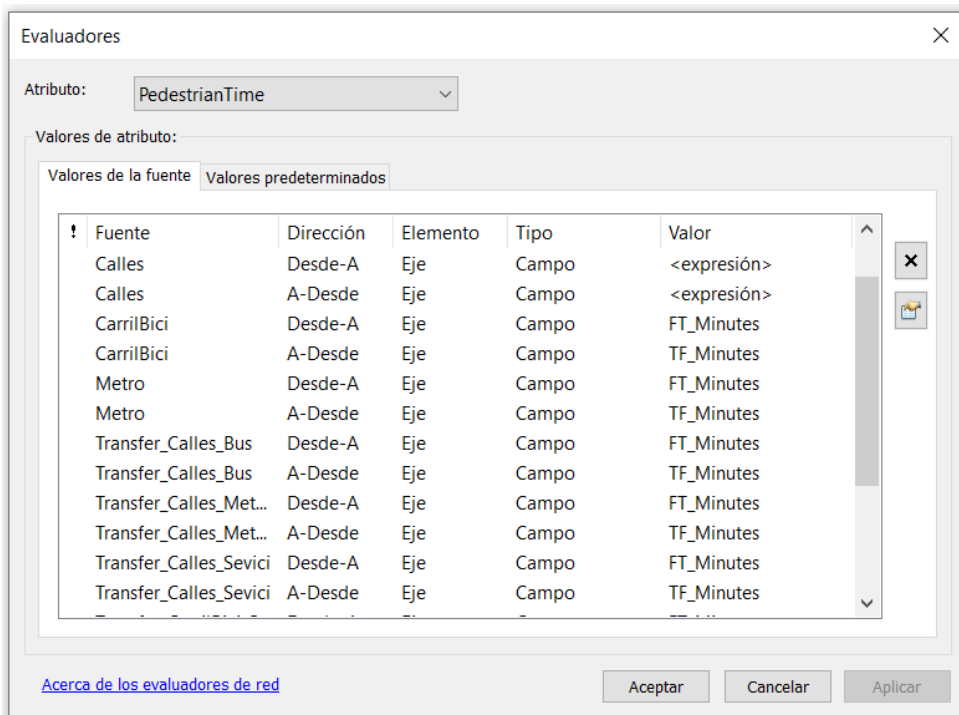


Figura 3-10. Atributo de coste PedestrianTime



- Meters:** 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.

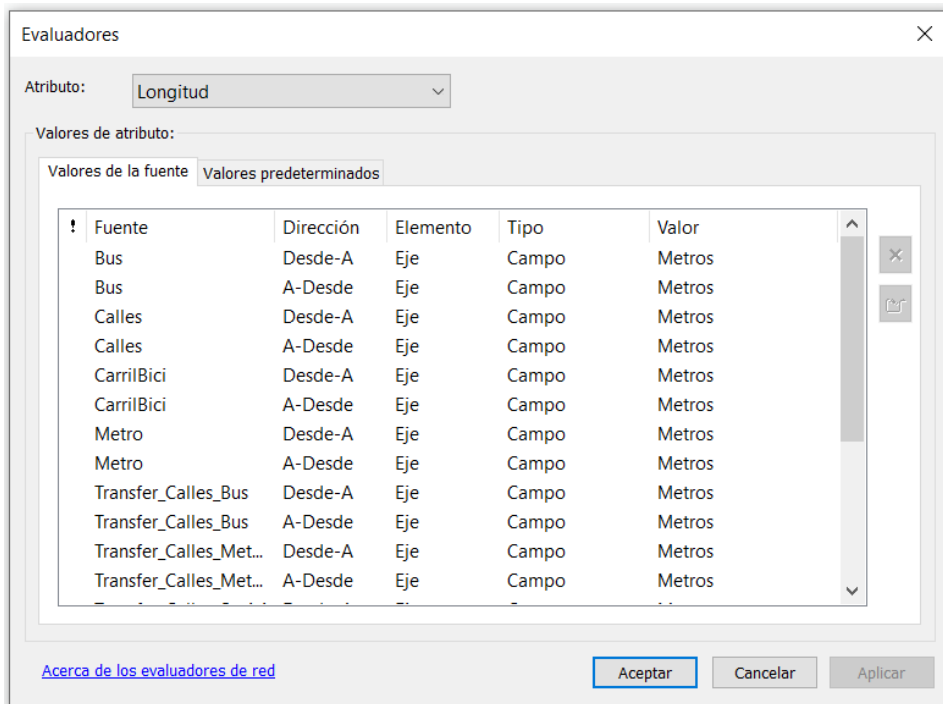


Figura 3-11. Atributo de coste Meters

### 3.1.5.2 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”

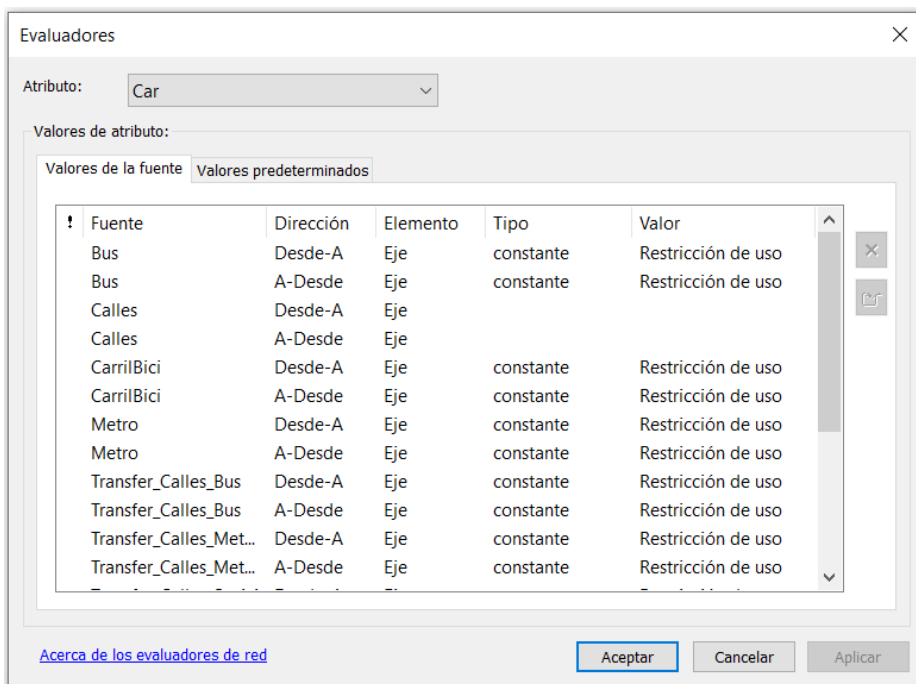


Figura 3-12. Atributo de restricción Car

- 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.

Desde-A, se podrá circular por el elemento cuando el valor del campo “oneway” sea N, TF o T. En el caso A-Desde, se podrá circular cuando el valor sea N, TF o F.

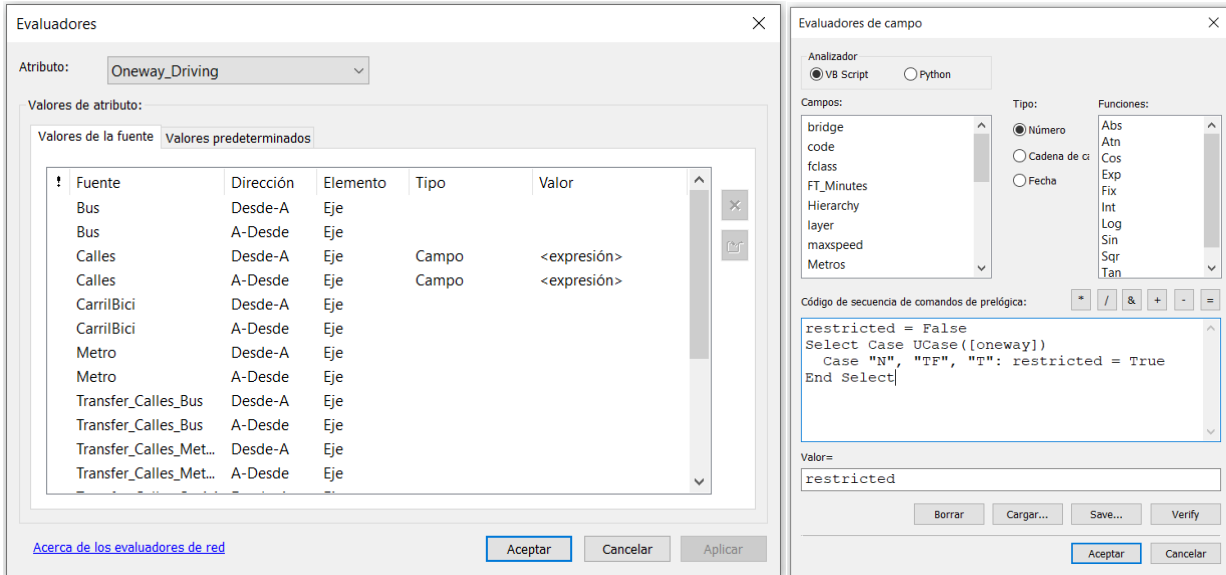


Figura 3-13. Atributo de restricción Oneway\_Driving

- 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.

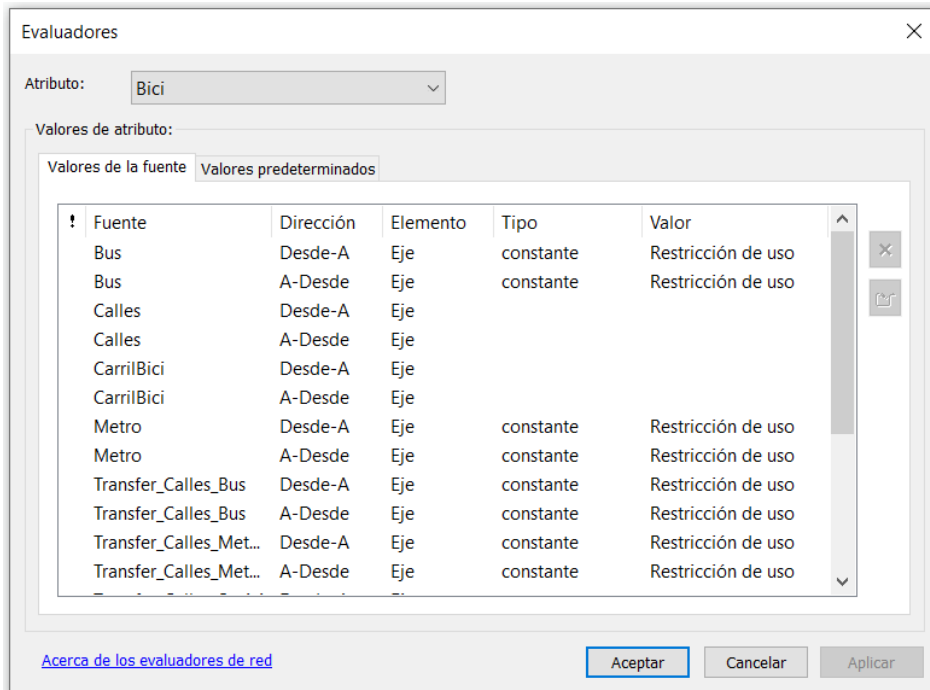


Figura 3-14. Atributo de restricción Bici

- 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.

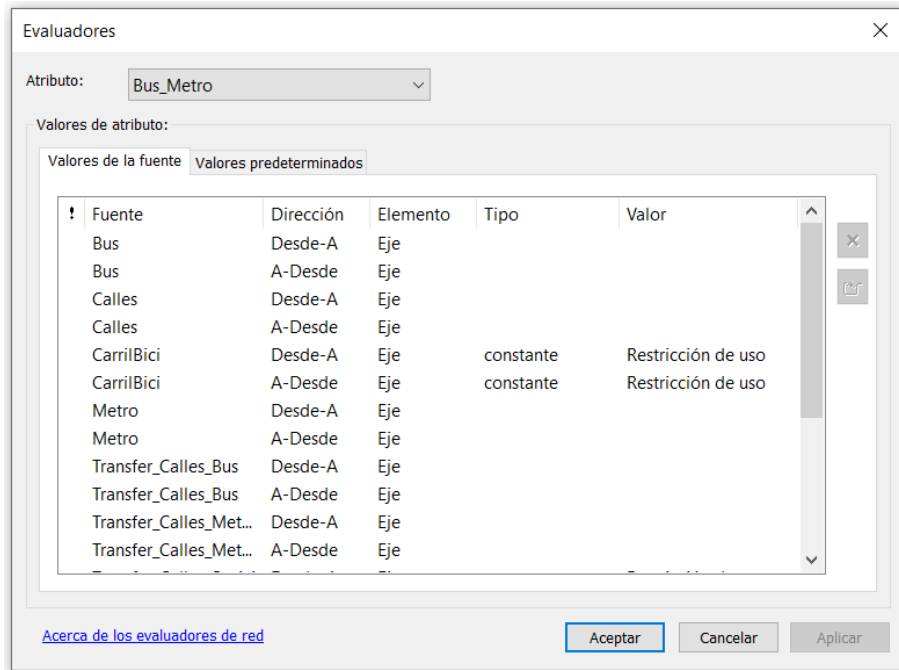


Figura 3-15. Atributo de restricción Bus\_Metro

- 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”.

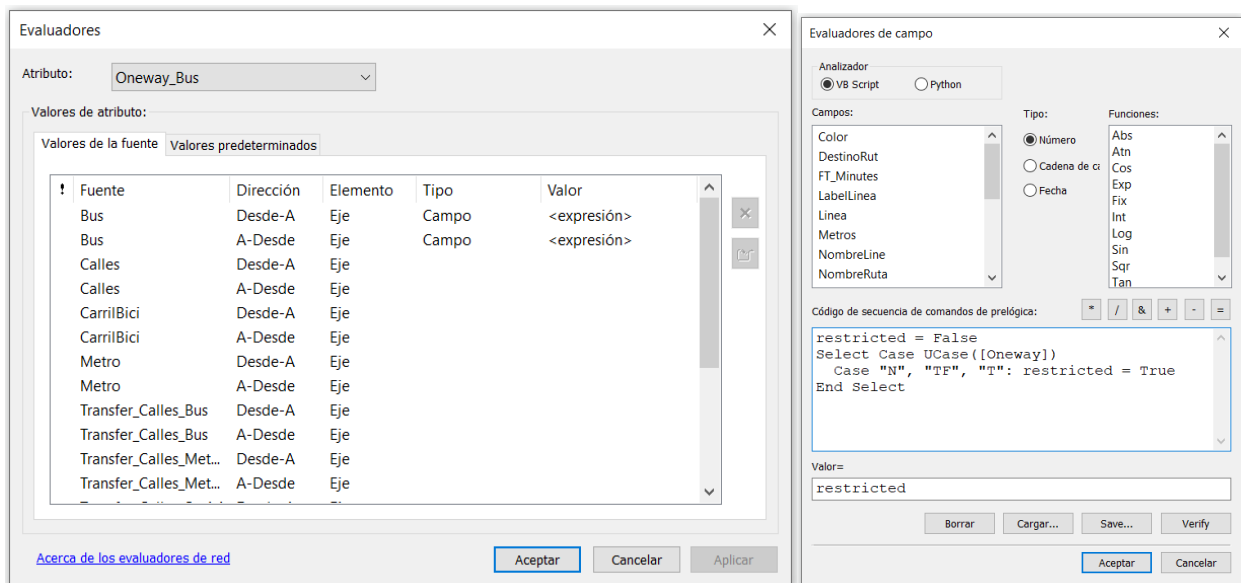


Figura 3-16. Atributo de restricción Oneway\_Bus

### 3.1.6 Configuración de los 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.

Para realizar el análisis de rutas con modos de viajes, será necesario el programa ArcGIS Pro, ya no está implementada en la versión básica de ArcGIS. Esto no quiere decir que no se pueda realizar los análisis con la versión estándar, pero habrá que seleccionar las restricciones de forma manual para cada ruta, conllevando con ello un mayor trabajo a la hora de realizar un análisis.

Modos de viaje creados:

- **Caminando**

Propiedades de dataset de red

General Fuentes Giros Conectividad Elevación Atributos Modos de viaje Indicaciones Optimizaciones

Modo de viaje: Caminando + ×  Usar de forma predeterminada  
Modo de viaje predeterminado: Caminando

Configuración

Description: El usuario solo puede ir andando

Tipo: Caminar

Impedancia: PedestrianTime (Minutos)

Atributo de tiempo: PedestrianTime (Minutos)

Atributo de distancia: Longitud (Metros)

Cambios de sentido en: Permitido

Tolerancia de:  0

Utilizar jerarquía

Valores de parámetro...

Restricciones

- Bici
- Bus\_Metro
- Car
- Oneway\_Bus
- Oneway\_Driving

Aceptar Cancelar Aplicar

Figura 3-17. Modo de viaje Caminando

- **Coche**

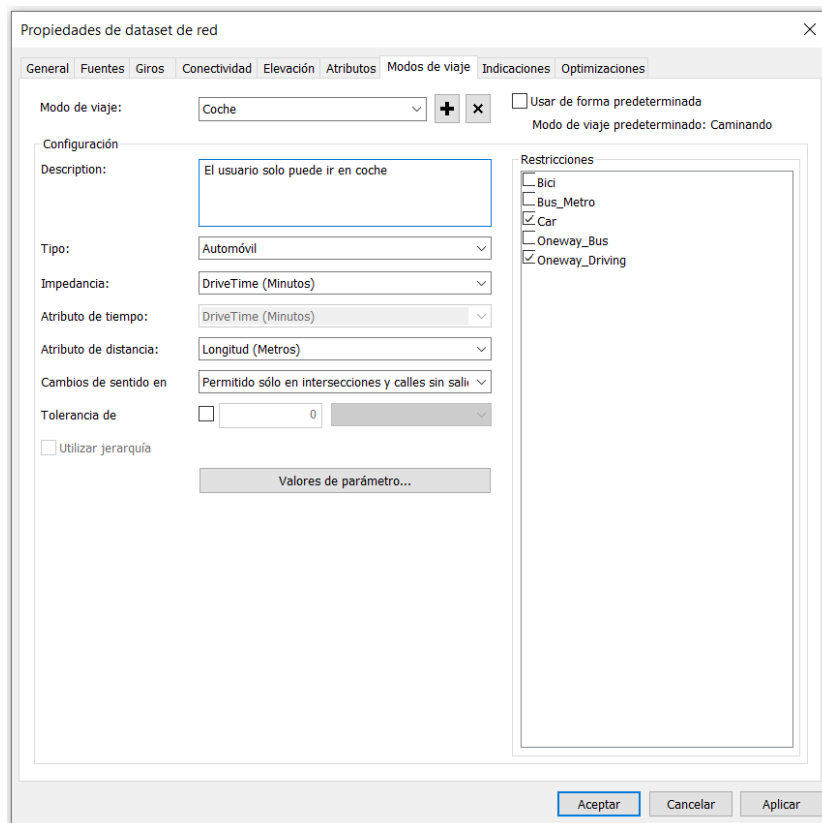


Figura 3-18. Modo de viaje Coche

- **Bicicleta**

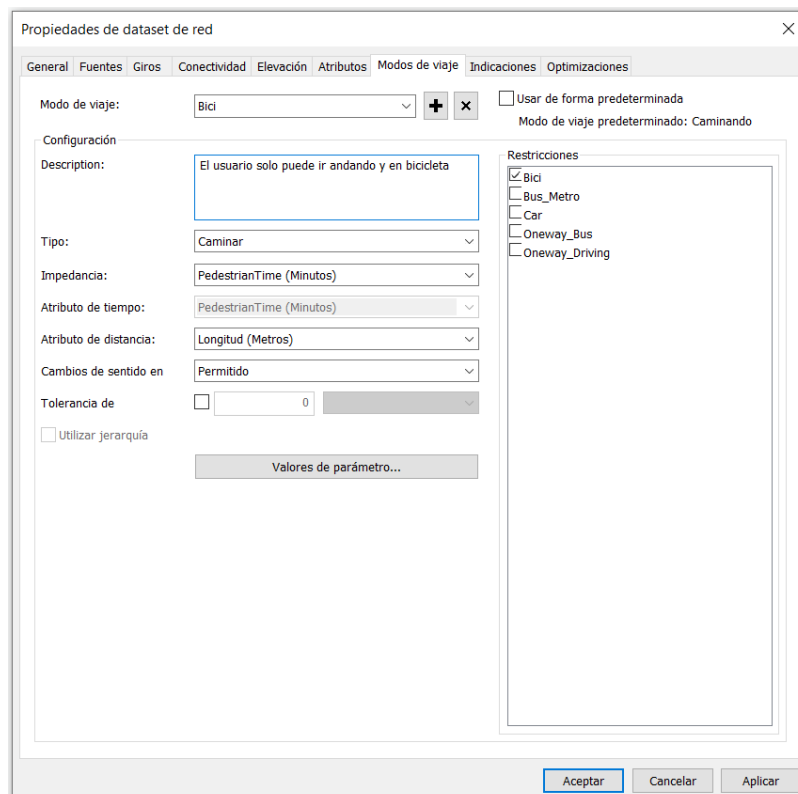


Figura 3-19. Modo de viaje Bici

- **Transporte Público**

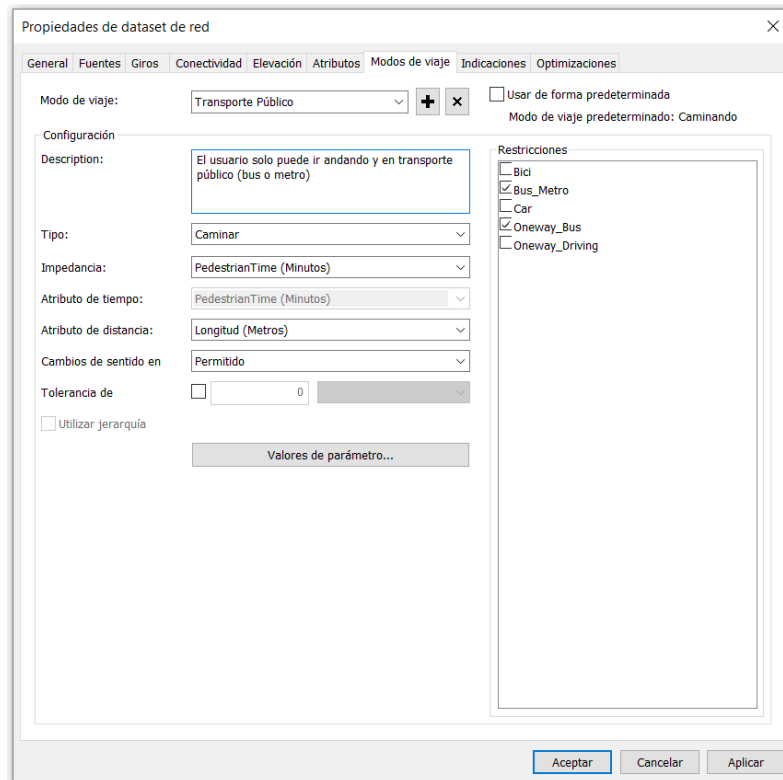


Figura 3-20. Modo de Transporte Público

## 3.2 Creación de Áreas de Servicio

Para creación de áreas de servicio será necesario tener previamente un dataset de red y se tendrá que haber activado la extensión Network Analyst en ArcGIS (ya activada durante la creación del dataset de red multimodal). También serán necesarios los datos espaciales de las dotaciones de las que se quiera hacer el estudio del área de influencia o zonas a las que da cobertura.

### 3.2.1 Creación de la capa de análisis de área de servicio

En la caja de herramientas de Network Analyst se deberá seleccionar “Network Analyst” y posteriormente “Área de servicio nueva” para crear una capa de análisis de un área de servicio.

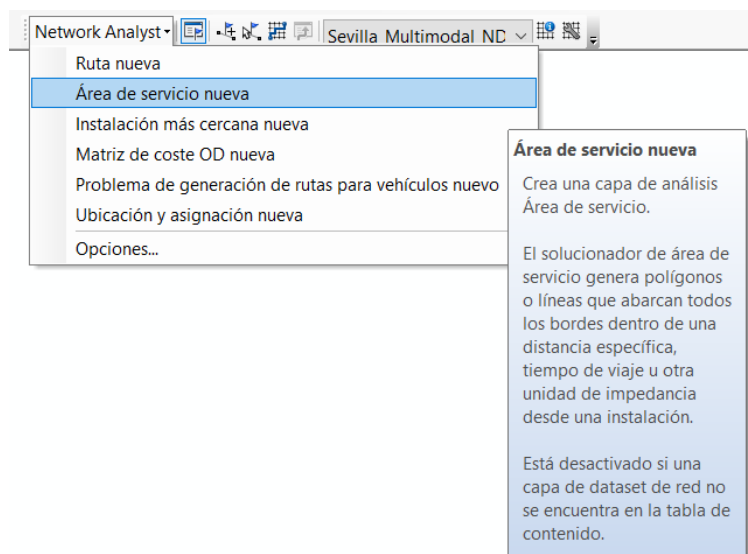


Figura 3-21. Área de servicio nueva

La capa creada aparecerá inmediatamente en la Tabla de Contenidos y en la ventana de Network Analyst. Las entidades de análisis (Instalaciones, Polígonos, Líneas, Barreras de punto, Barreras de línea y Barreras de polígono) aparecerán con un valor (0). Esto quiere decir que aún no hay ningún dato dentro de la capa, por lo que habrá que agregarlos a continuación.



Figura 3-22. Tabla de contenidos de Área de servicio



### 3.2.2 Agregar instalaciones a la capa de análisis de áreas de servicio

A continuación, se introducirán los datos espaciales de la dotación a analizar. Para ello se deberá hacer click derecho en Instalaciones (0) y posteriormente en “Cargar ubicaciones”

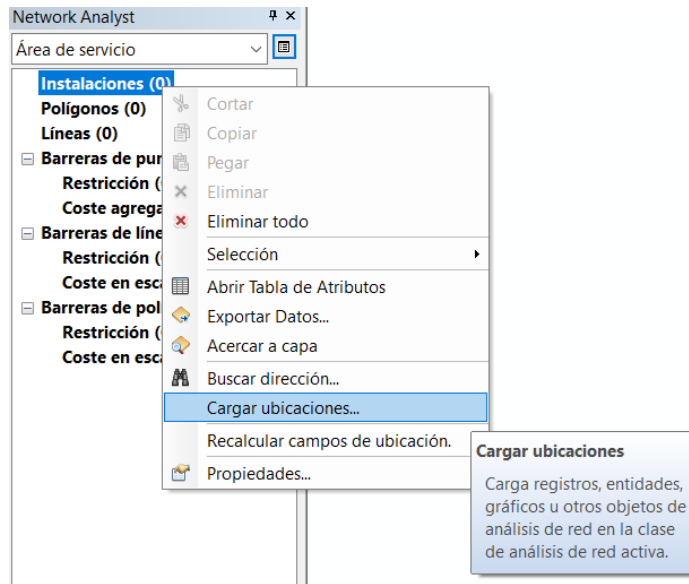


Figura 3-23. Cargar ubicaciones en Área de servicio

A continuación, aparecerá la ventana de selección de los datos espaciales de las dotaciones a analizar, será necesario desmarcar la opción “mostrar sólo capas de puntos” si el fichero contiene las instalaciones de tipo poligonal.

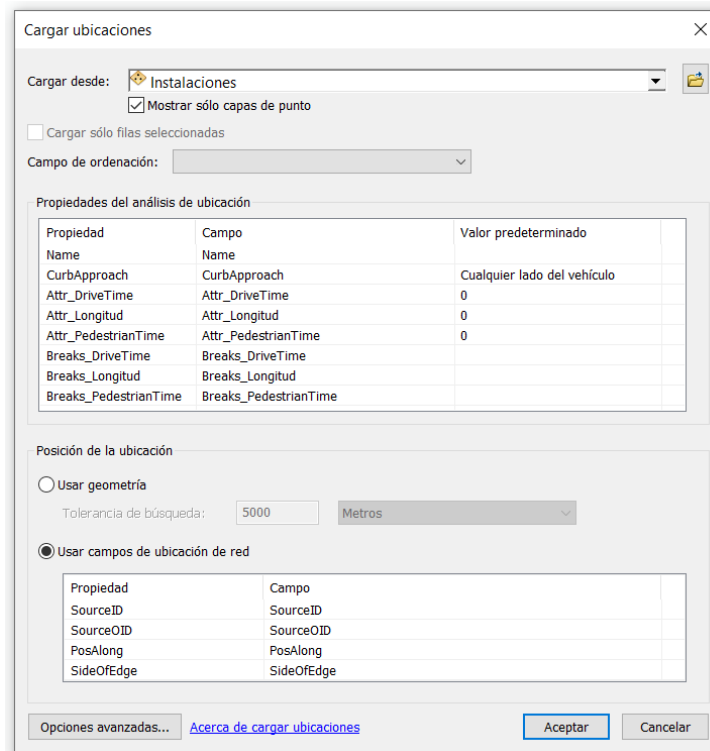


Figura 3-24. Selección de los datos espaciales de ubicaciones

Una vez se acepte las instalaciones aparecerán en la ventana de Network Analyst como aparece en la siguiente imagen:

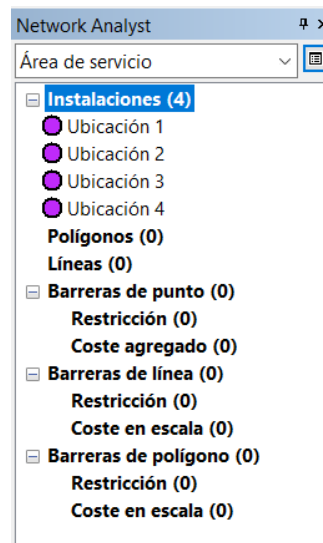


Figura 3-25. Instalaciones

### 3.2.3 Configuración de los parámetros para el análisis de áreas de servicio

En este apartado se especificarán las propiedades necesarias para obtener un área de servicio en función de los parámetros de la red que se quieran utilizar. Generalmente el área de servicio se calcula sobre a partir del tiempo de llegada, pero también puede ser calculada en función de la distancia si fuese necesario. Para abrir la ventana de propiedades de capa de análisis se hará click en el siguiente botón “Propiedades de Área de servicio”.

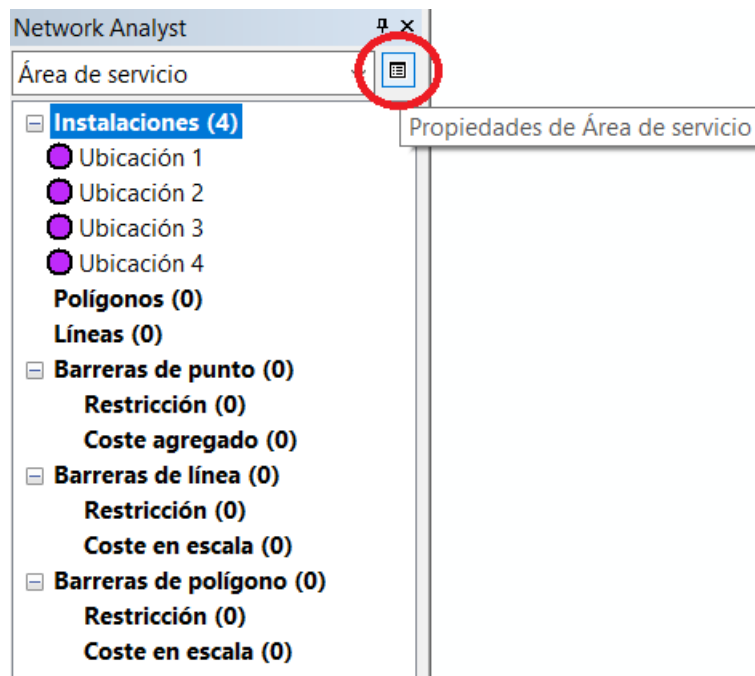


Figura 3-26. Propiedades de Área de servicio

Se abrirá la ventana de propiedades de la capa y en configuración de análisis se deberán ajustar los parámetros:

- **Impedancia:** se puede establecer una impedancia tanto de tiempo (en minutos) como de distancia (metros)

- **Cortes predeterminados:** se dará el valor a la impedancia a la que se hará el corte, es decir, si se desea un corte a cinco minutos se asignará el valor numérico 5, se pueden hacer varios cortes para una misma impedancia separando estos por punto y coma.
- **Dirección:** se podrá seleccionar alejándose o acercándose hacia la instalación, en esto dependerá si se busca el recorrido saliendo de la instalación o desde un punto hasta llegar a ella, pero gráficamente se mostrará de forma similar.
- **Restricciones:** se seleccionarán las restricciones necesarias para el análisis del área de servicio con los atributos de red creados durante el dataset de red.

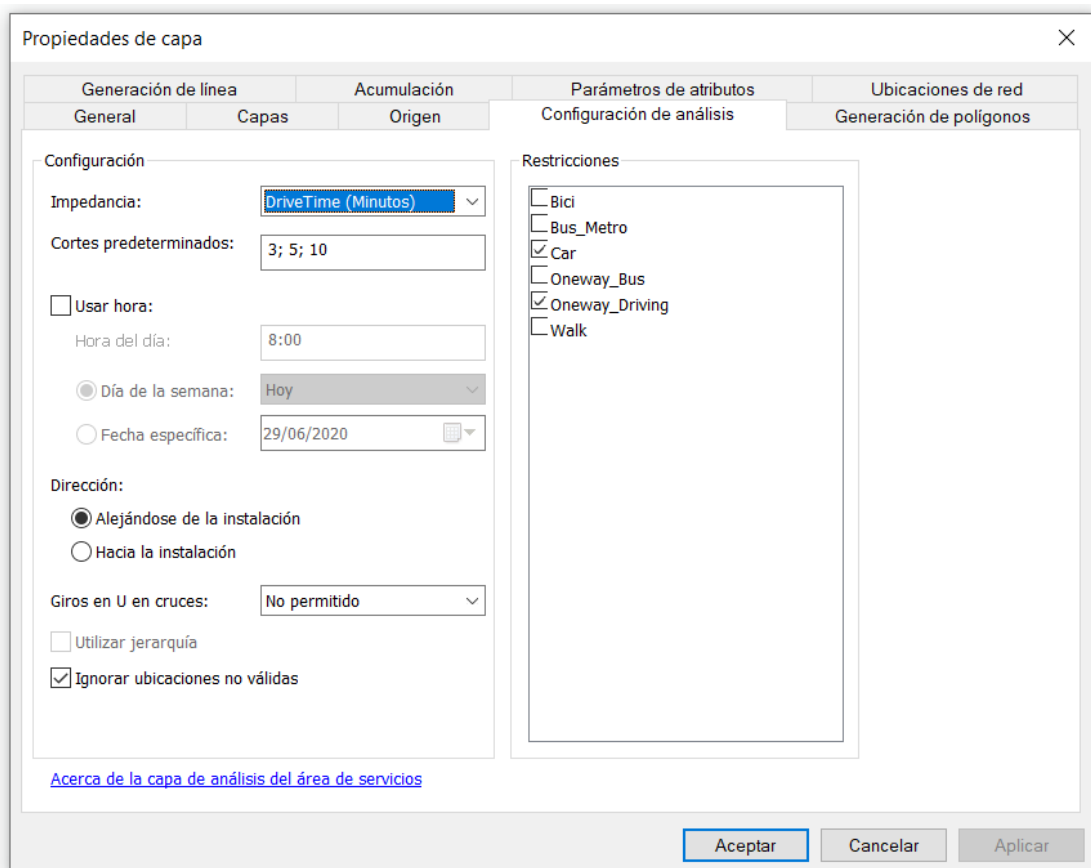


Figura 3-27. Ventana Propiedades de capa de Área de servicio

Finalmente habrá que darle al botón de “Solucionar” en la caja de herramientas de Network Analyst para que busque la solución al problema planteado.

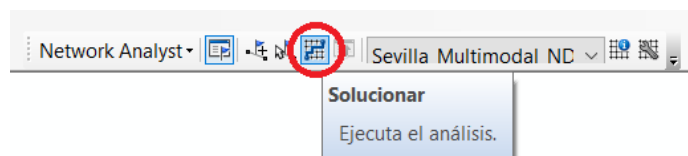


Figura 3-28. Solucionador Áreas de servicio

# 4 RESULTADOS

En este apartado se muestran resultados obtenidos del estudio de la red multimodal de la ciudad de Sevilla con la herramienta de Network Analyst de ArcGIS. Este estudio se puede dividir en varios apartados:

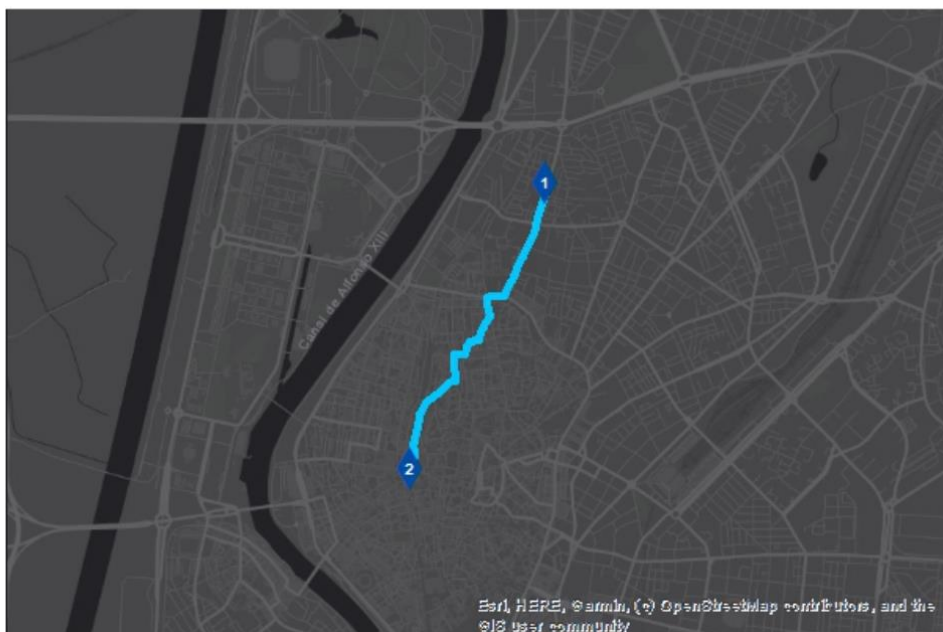
- Representación tanto gráfica como escrita que aporta la herramienta Network Analyst a la hora de mostrar las indicaciones de la ruta mínima obtenida por el programa. Esto se hará con una ruta aleatoria para cada uno de los medios de transporte estudiados de la ciudad.
- Comparación de los datos obtenidos con la herramienta de Network Analyst en el apartado anterior con los datos que se obtendrían de GoogleMaps y obtención del coeficiente de correlación entre ambas herramientas para saber su similitud.
- Estudio de movilidad entre los once distritos de la ciudad de Sevilla, empleando cada uno de los medios de transporte y la multimodalidad entre ellos, obteniendo el mejor método de transporte para cada ruta.
- Estudio del área de influencia de diversos equipamientos de Sevilla, incluyendo los rangos de tiempos según la zona y posteriormente se hará un estudio para saber las zonas con mejores servicios en función de la población.

## 4.1 Ruta Caminando

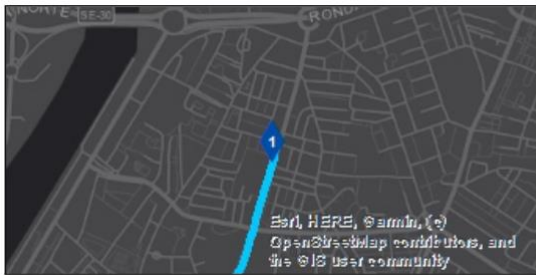
Ruta: Calle Diamante - Campana

2981,5 m

36 min



1: Comience en Calle Diamante



2: Avance este en Calle Diamante hacia Avenida Doctor Fedriani

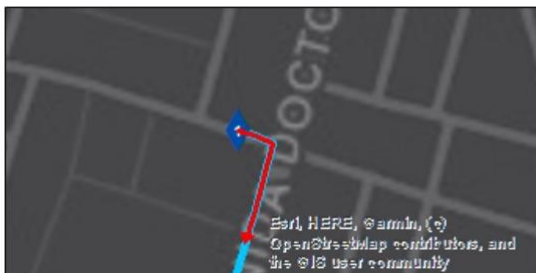
22,3 m

< 1 min

3: Gire a la derecha en Avenida Doctor Fedriani

789,4 m

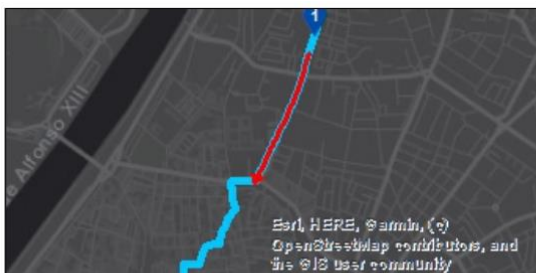
9 min



4: Continúe en Calle San Juan de Ribera

229,8 m

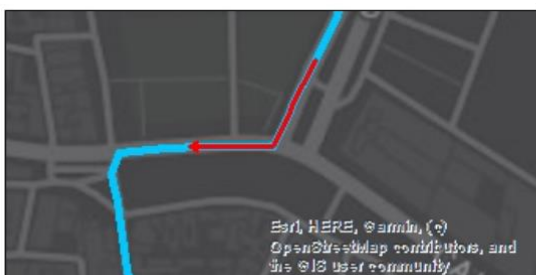
3 min



5: Gire a la derecha en Calle Parlamento de Andalucía

137,7 m

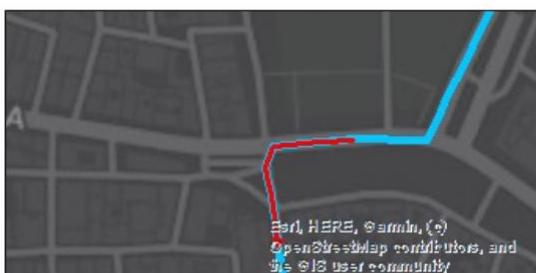
2 min



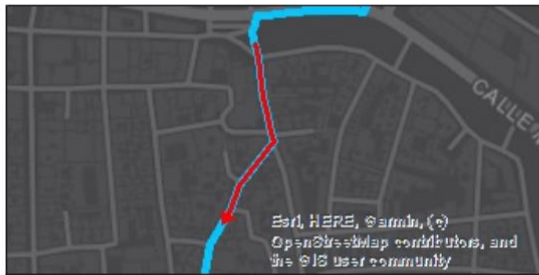
6: Gire a la izquierda en Calle San Luis

166,9 m

2 min



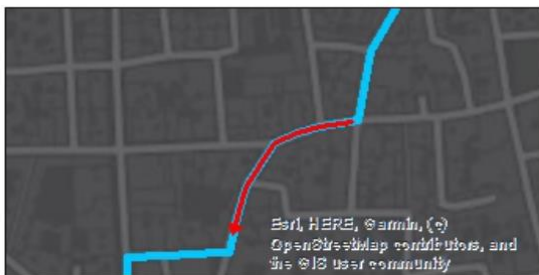
7: Gire a la derecha en Calle Pozo 222,9 m 3 min



8: Gire a la derecha en Calle Relator 79,5 m < 1 min



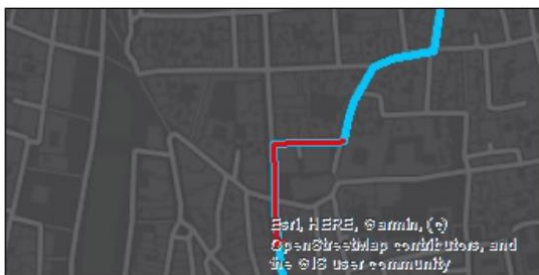
9: Tome la izquierda en Calle Amargura 105,9 m 1 min



10: Gire a la derecha en Calle Calderón de la Barca 91,4 m 1 min



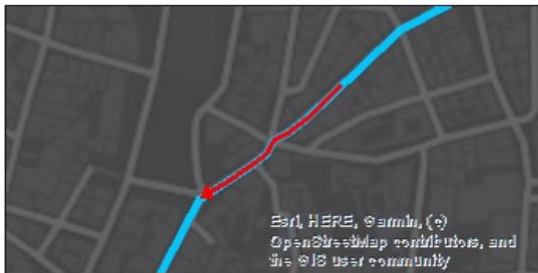
11: Gire a la izquierda en Calle Feria 220,4 m 3 min



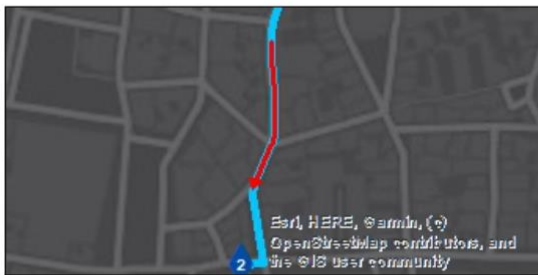
12: Gire a la derecha en Calle Correduría 228,0 m 3 min



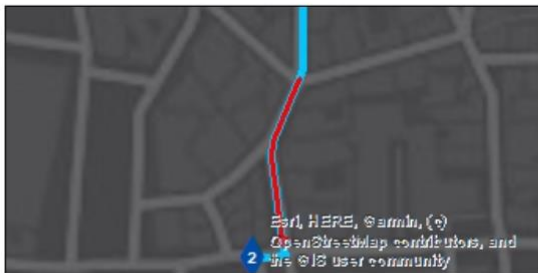
13: Tome la izquierda en Calle Amor de Dios 555,5 m 7 min



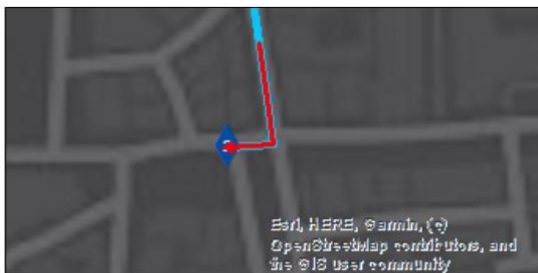
14: Tome la derecha en Calle Tarifa 41,8 m < 1 min



15: Tome la izquierda en Calle Santa María de Gracia 70,5 m < 1 min

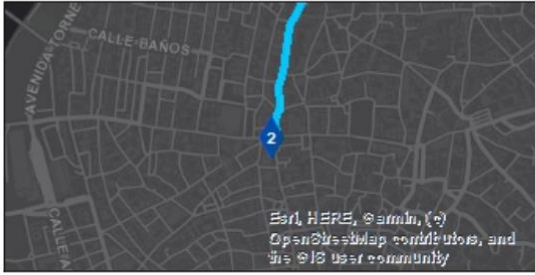


16: Gire a la derecha en Calle Campana 19,4 m < 1 min





17: Finalice en Campana, a la derecha

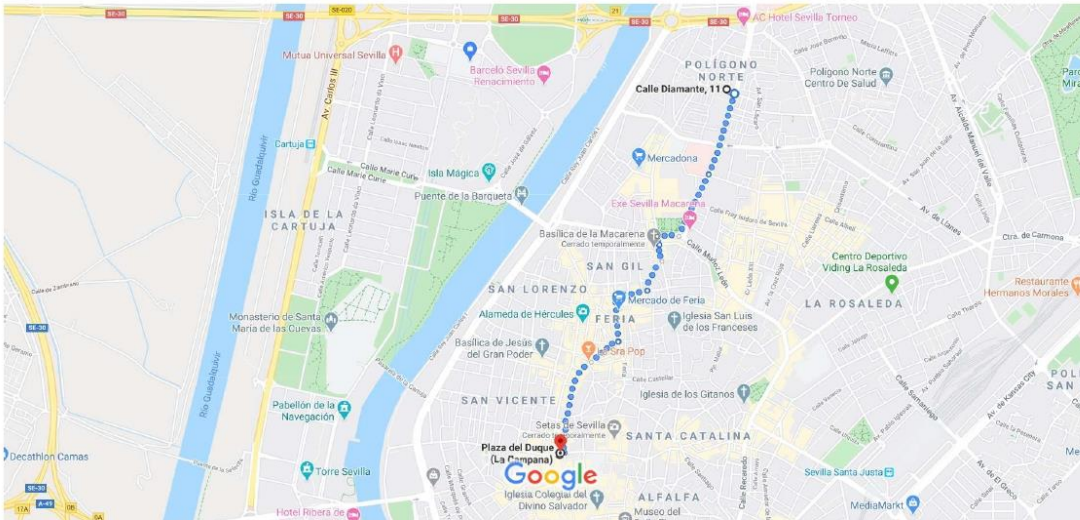


Tiempo total: 36 min  
Distancia total: 2981,5 m



de Calle Diamante, 11, 41009 Sevilla a Plaza del Duque (La Campana), 41002 Sevilla

A pie 2,4 km, 30 min



Datos del mapa ©2020 Inst. Geogr. Nacional, Google 200 m

## Calle Diamante, 11

41009 Sevilla

- ↑ 1. Dirígete al este por Calle Diamante hacia Calle Dr. Fedriani  
46 m
- ↘ 2. Gira a la derecha hacia Calle Dr. Fedriani  
450 m
- ↑ 3. Continúa por Calle San Juan de Ribera  
350 m
- ↘ 4. Gira a la derecha hacia Calle Parlamento de Andalucía  
120 m
- ↶ 5. Gira a la izquierda hacia Calle San Luis  
48 m
- ↘ 6. Gira a la derecha para continuar en Calle San Luis  
90 m
- ↘ 7. Gira a la derecha hacia Calle Pozo  
180 m
- ↘ 8. Gira a la derecha hacia Calle Relator  
170 m
- ↶ 9. Gira a la izquierda hacia Feria  
250 m
- ↘ 10. Gira a la derecha hacia Correduría  
180 m
- ↑ 11. Continúa por Calle Amor de Dios  
450 m
- ↑ 12. Continúa por Calle Tarifa  
32 m
- ↶ 13. Gira ligeramente a la izquierda hacia Calle Sta. María de Gracia  
54 m
- ↘ 14. Gira a la derecha hacia Calle Campana  
20 m

## Plaza del Duque (La Campana)

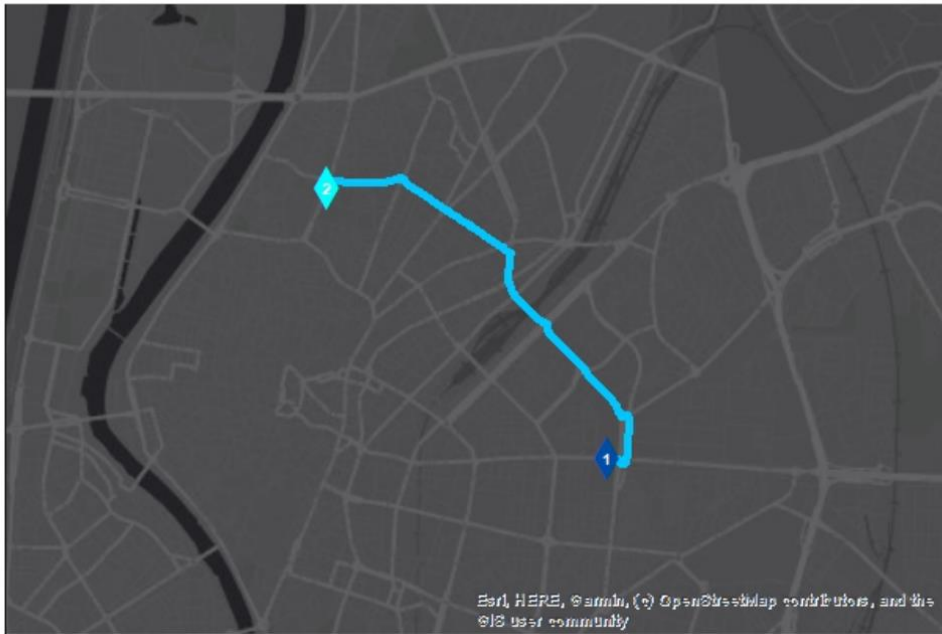
41002 Sevilla

## 4.2 Ruta en Coche

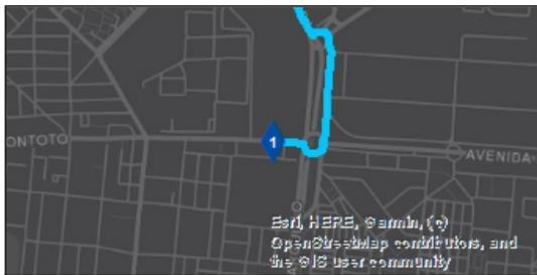
Ruta: CC Los Arcos - Hospital Virgen Macarena

4993,5 m

7 min



1: Comience en CC Los Arcos



2: Avance este en Avenida de Andalucía

121,2 m

< 1 min



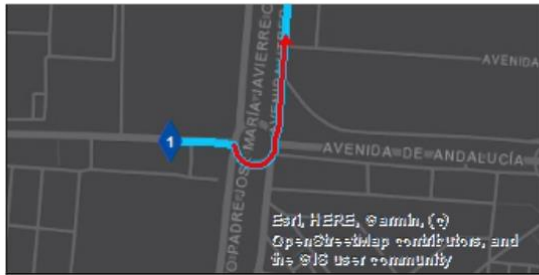
3: Gire a la derecha en Glorieta Sergio Rodríguez Prat

130,4 m

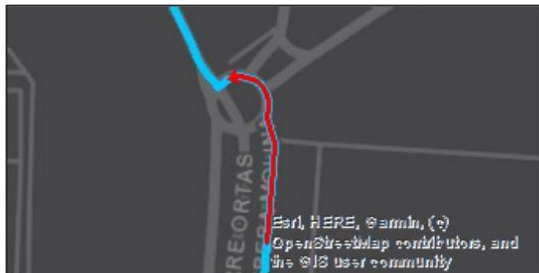
< 1 min



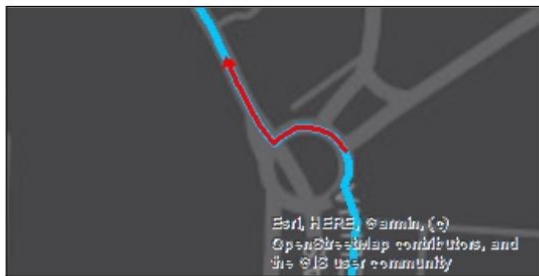
- 4: Tome la derecha en Avenida Padre José María Javierre Ortas 355,4 m < 1 min



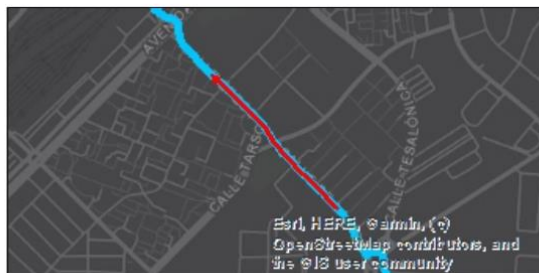
- 5: Tome la izquierda 141,9 m < 1 min



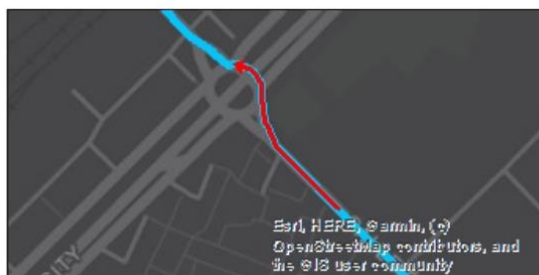
- 6: Gire a la derecha en Calle Ada 576,2 m < 1 min



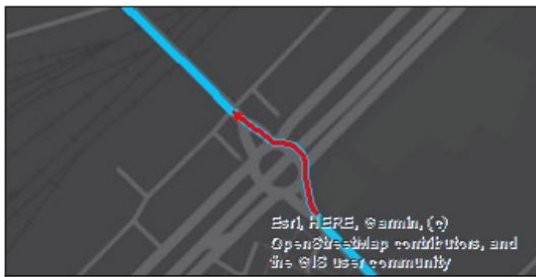
- 7: Continúe en Calle Éfeso 539,9 m < 1 min



- 8: Tome la derecha 135,6 m < 1 min



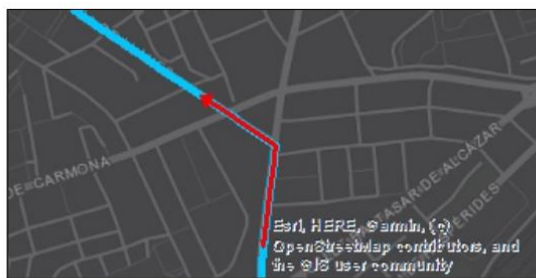
9: Tome la derecha en Avenida Alcalde Manuel del Valle 61,0 m < 1 min



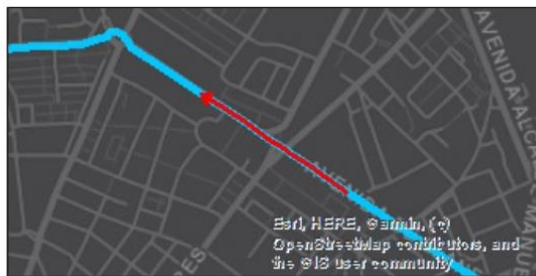
10: Continúe en Avenida Alcalde Manuel de Valle 780,9 m 1 min



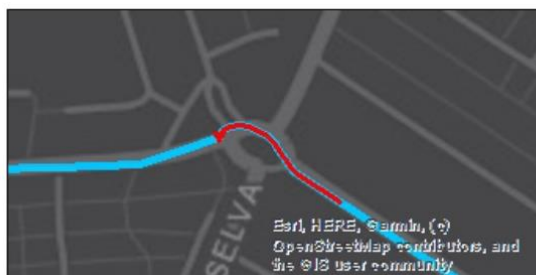
11: Gire a la izquierda en Avenida de Llanes 798,1 m 1 min



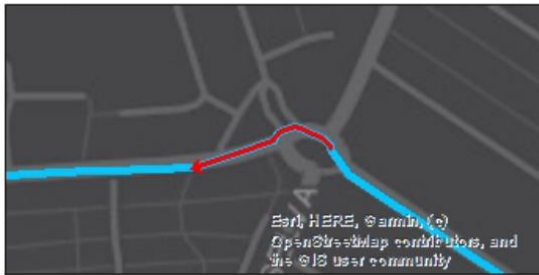
12: Continúe en Ronda de Pío XII 504,3 m < 1 min



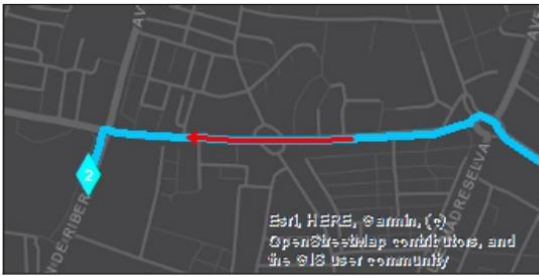
13: Continúe en Glorieta Solidaridad y Vida 62,6 m < 1 min



14: Tome la derecha en Calle Sor Francisca Dorotea 378,4 m < 1 min



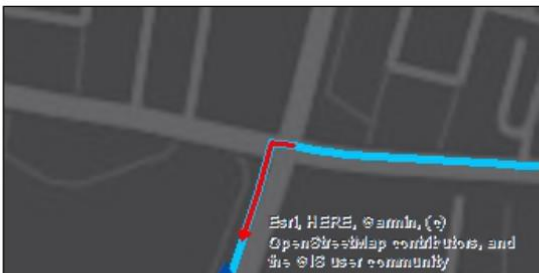
15: Continúe en Calle Doctor Leal Castaño 303,4 m < 1 min



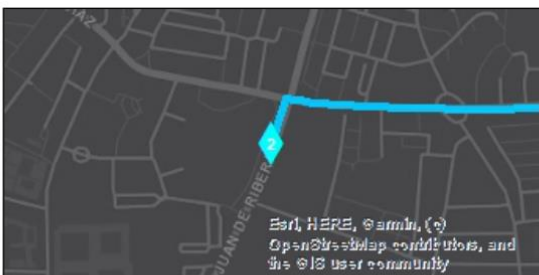
16: Continúe en Calle Doctor Marañón 13,7 m < 1 min



17: Gire a la izquierda en Avenida Doctor Fedriani 90,4 m < 1 min



18: Finalice en Hospital Virgen Macarena, a la derecha



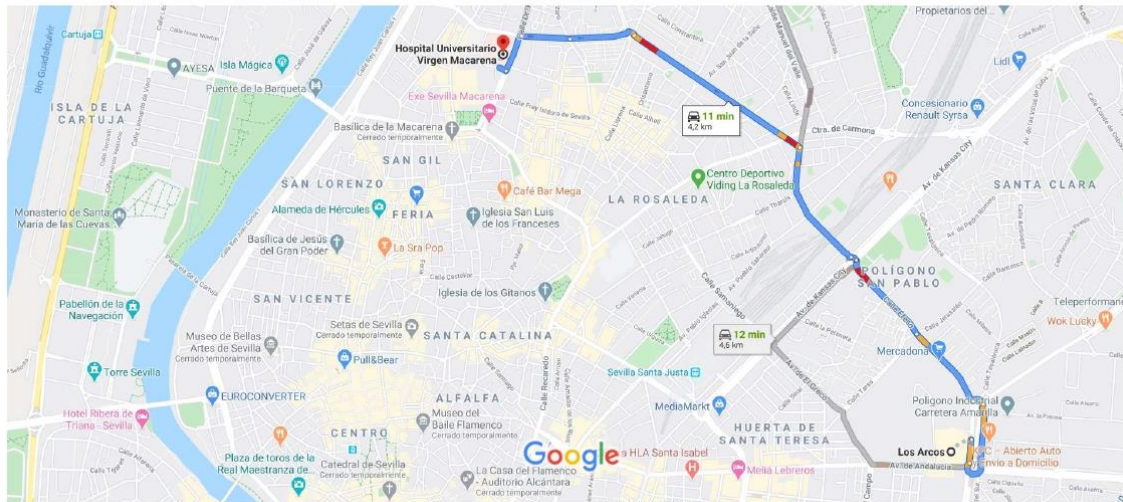
Tiempo total: 7 min  
Distancia total: 4993,5 m





de Los Arcos a Hospital Universitario Virgen Macarena

En coche 4,2 km, 11 min



Datos del mapa ©2020 Inst. Geogr. Nacional, Google 200 m

### Los Arcos

Av. de Andalucía, S/N, 41007 Sevilla

- 13 min (4,2 km)
- 1. Dirígete hacia el sur por Av. José María Javierre
- 2. En la rotonda, toma la quinta salida y continúa por Av. José María Javierre
- 3. Gira ligeramente a la izquierda en Av. de Montes Sierra
- 4. Gira a la derecha hacia Calle de la Ada
- 5. Continúa por Calle Éfeso
- 6. Utiliza el carril derecho para girar ligeramente a la izquierda en Av. de Kansas City
- 7. Gira a la derecha hacia Av. Alcalde Manuel del Valle
- 8. Gira a la izquierda hacia Av. de Llanes
- 9. En Glorieta Solidaridad y Vida, toma la tercera salida hacia Calle Sor Francisca Dorotea
- 10. Continúa por Calle Dr. Leal Castaños
- 11. Gira a la izquierda hacia Calle Dr. Fedriani
- 12. Gira a la derecha  

 El destino está a la derecha.

38 s (37 m)

### Hospital Universitario Virgen Macarena

Calle Dr. Fedriani, 3, 41009 Sevilla

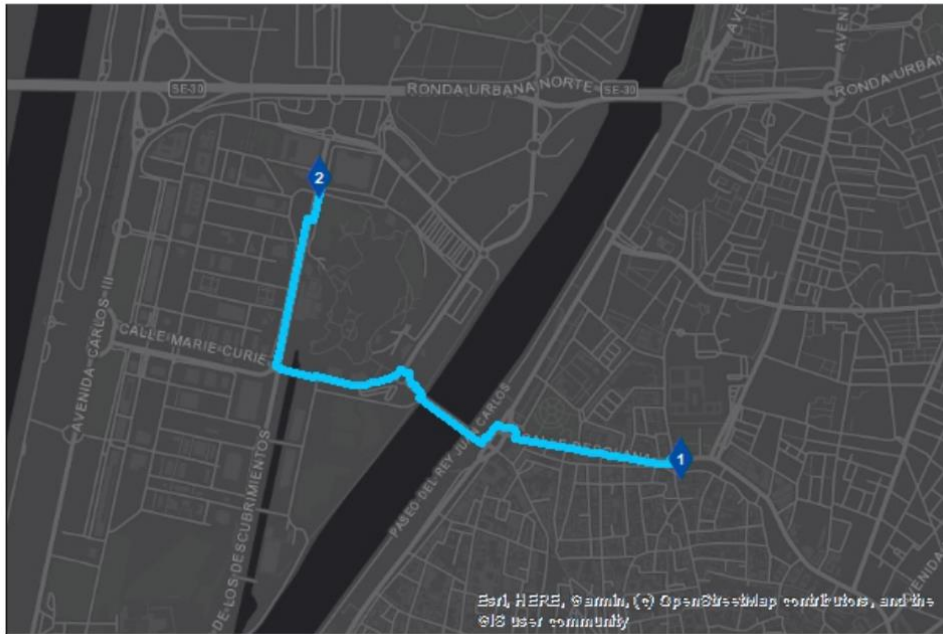


### 4.3 Ruta en Bicicleta

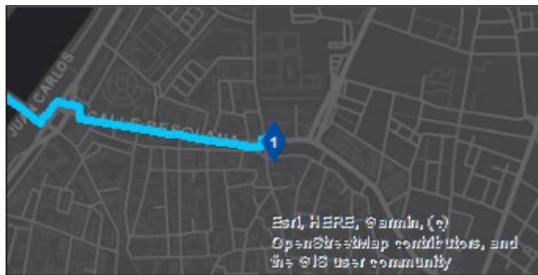
Ruta: Parlamento - ETSI

2737,6 m

12 min



1: Comience en Parlamento



2: Avance norte en SEVICI

22,3 m

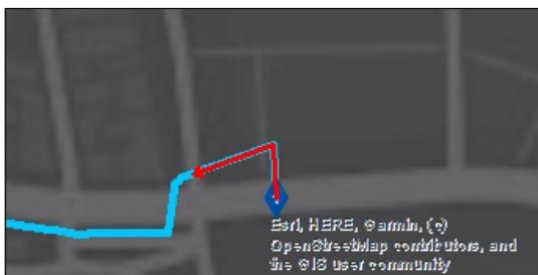
< 1 min



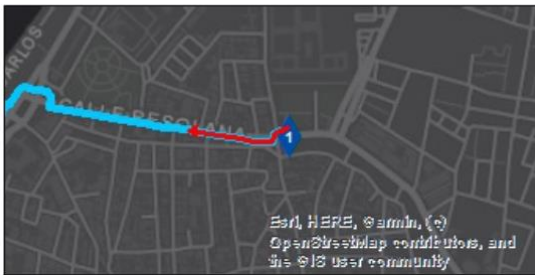
3: Gire a la izquierda en Parlamento

65,8 m

< 1 min



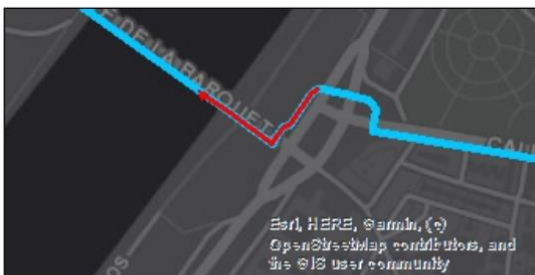
4: Gire a la derecha 732,1 m 3 min



5: Gire a la izquierda 95,2 m < 1 min



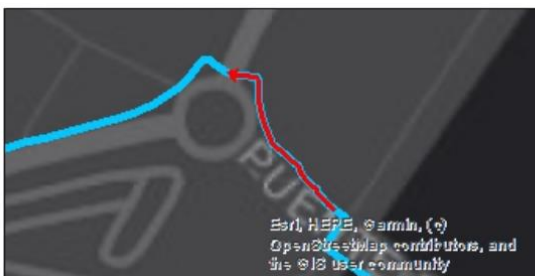
6: Gire a la derecha 304,4 m 1 min



7: Gire a la derecha y seguidamente gire a la izquierda 84,8 m < 1 min



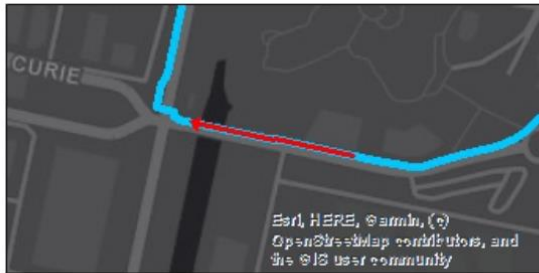
8: Tome la derecha 304,3 m 1 min



9: Continúe 135,2 m < 1 min



10: Tome la derecha 163,7 m < 1 min



11: Gire a la derecha 811,6 m 3 min

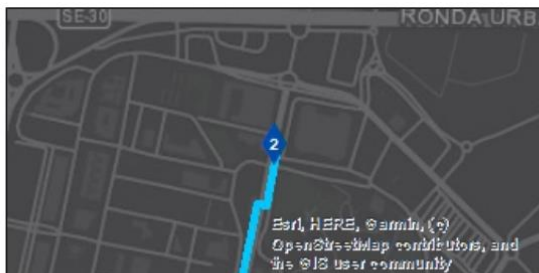


12: Gire a la derecha en Camino de los Descubrimientos en SEVICI 17,0 m < 1 min



13: Gire a la izquierda en Camino de los Descubrimientos 1,1 m < 1 min

14: Finalice en ETSI, a la derecha

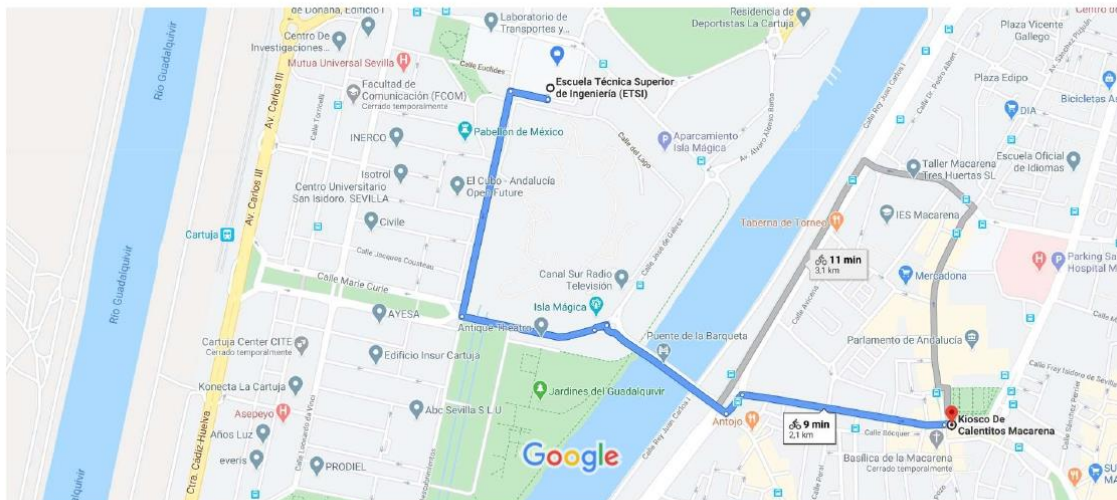


Tiempo total: 12 min  
Distancia total: 2737,6 m



de Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ETSI) a Kiosco De Calentitos Macarena, Calle Parlamento de Andalucía, 41009 Sevilla

En bici 2,1 km, 9 min



Datos del mapa ©2020 Inst. Geogr. Nacional 200 m

⚠ Utiliza las rutas en bicicleta con precaución porque es posible que no reflejen las condiciones reales

### Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ETSI)

Calle Américo Vespucio, 41092 Sevilla

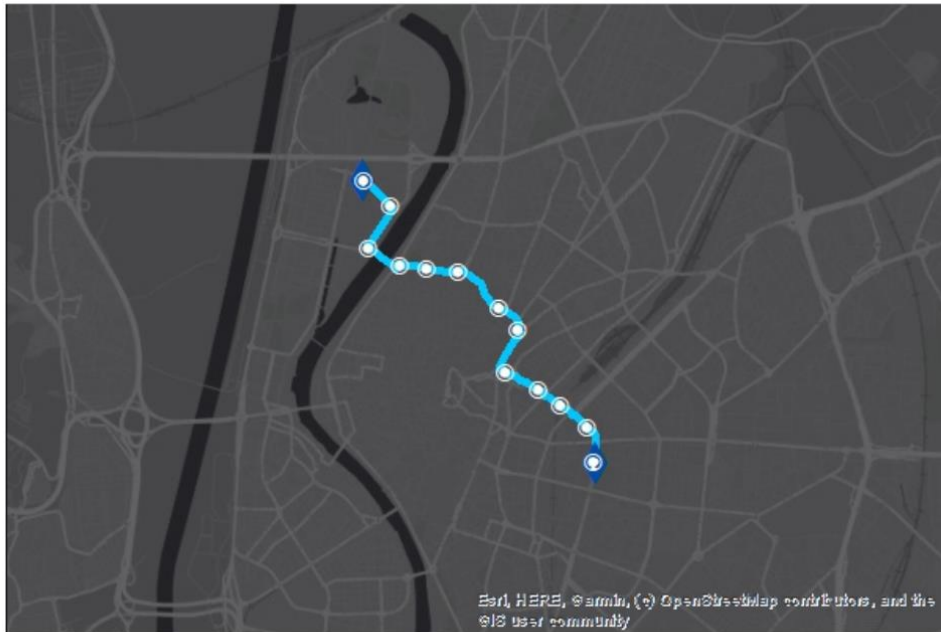
- ↑ 1. Dirígete al oeste por Calle Enríquez de Ribera hacia Camino de los Descubrimientos  
98 m
  - ↶ 2. Gira a la izquierda hacia Camino de los Descubrimientos  
600 m
  - ↶ 3. Gira a la izquierda hacia Calle Matemáticos Rey Pastor y Castro  
350 m
  - ↶ 4. Mantente a la izquierda para permanecer en Calle Matemáticos Rey Pastor y Castro  
34 m
  - 🔄 5. En la rotonda, toma la primera salida en dirección Puente de la Barqueta  
400 m
  - ↶ 6. Gira a la izquierda hacia Plaza Duquesa Cayetana de Alba  
62 m
  - ↷ 7. Gira a la derecha hacia Calle Resolana  
550 m
  - ↑ 8. Continúa por Calle Parlamento de Andalucía  
18 m
- i** El destino está a la derecha.

## 4.4 Ruta en Transporte Público

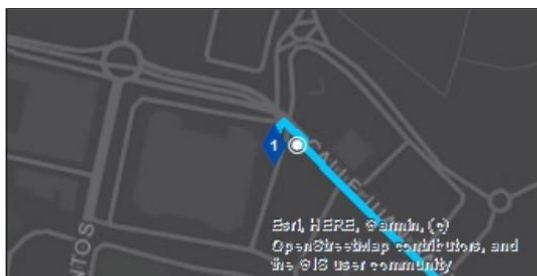
Ruta: ETSI - CC Nervión Plaza

6161,6 m

31 min



1: Comience en ETSI



2: Avance norte en Calle Francisco de Xerez

34,3 m

< 1 min

3: Gire a la derecha en Calle Juan Bautista Muñoz

35,7 m

< 1 min



4: Gire a la derecha

3,6 m

< 1 min

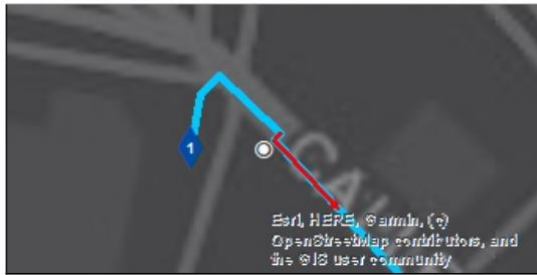




5: Gire a la izquierda en Juan Bautista Muñoz (Esc. de Ingenieros) en C1 PRADO DE S.SEBASTIAN

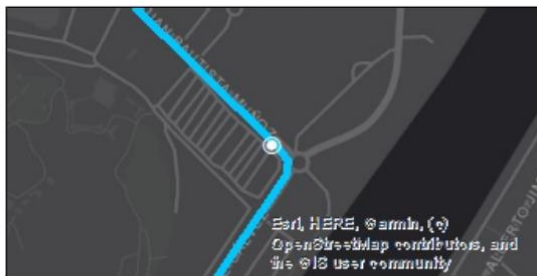
6041,5 m

29 min

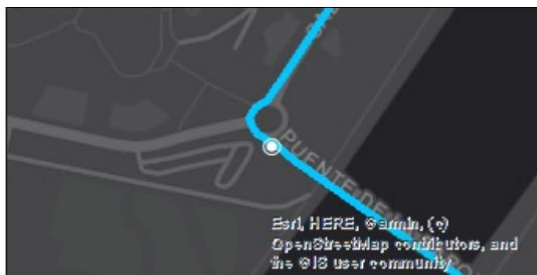


5.1: Pase por Parada Juan Bautista Muñoz (Esc. de Ingenieros). Estará a la derecha

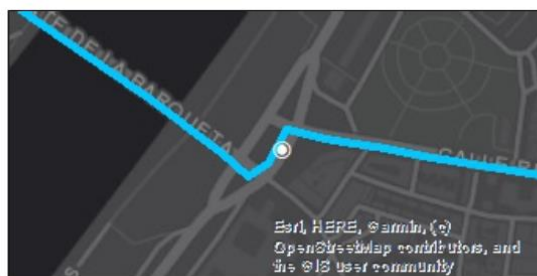
5.2: Pase por Parada Juan Bautista Muñoz(José Gálvez). Estará a la derecha



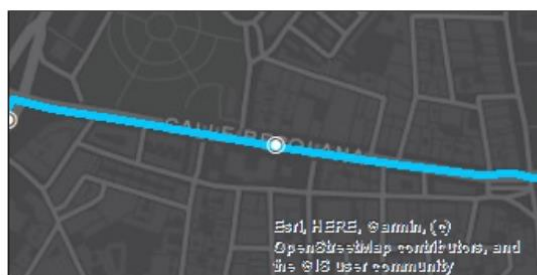
5.3: Pase por Parada Puente La Barqueta. Estará a la derecha



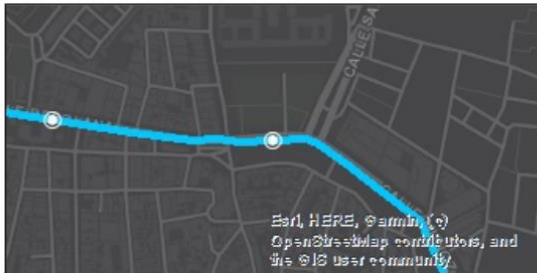
5.4: Pase por Parada Torneo (Barqueta). Estará a la derecha



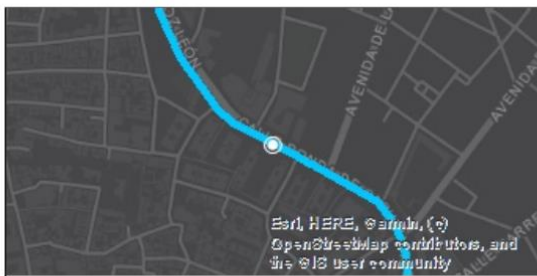
5.5: Pase por Parada Resolana (Feria). Estará a la izquierda



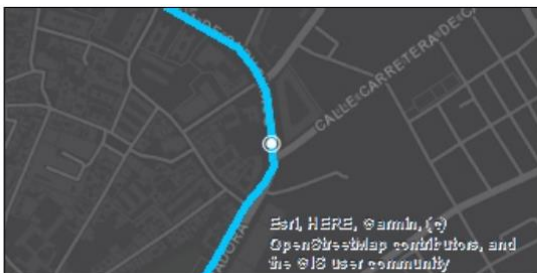
- 5.6: Pase por Parada Parlamento de Andalucía (Macarena) [C]. Estará a la izquierda



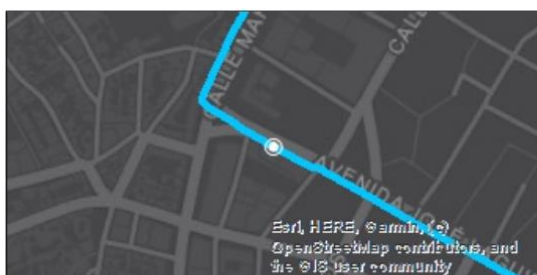
- 5.7: Pase por Parada Ronda de Capuchinos (San Julián). Estará a la derecha



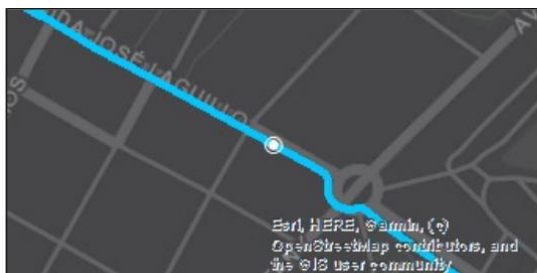
- 5.8: Pase por Parada Ronda de Capuchinos (La Trinidad). Estará a la derecha



- 5.9: Pase por Parada José Laguillo (Puerta Osario). Estará a la izquierda

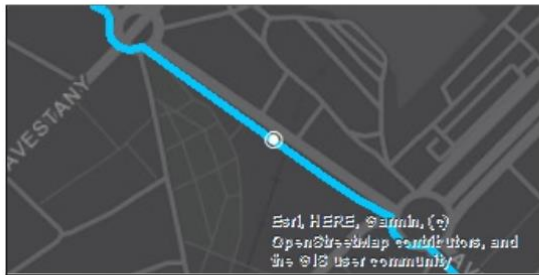


- 5.10: Pase por Parada José Laguillo (Juan Antonio Cavestany). Estará a la izquierda

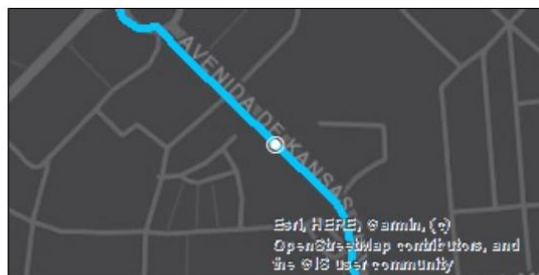




- 5.11: Pase por Parada José Laguillo (Estación de Santa Justa) [R]. Estará a la izquierda



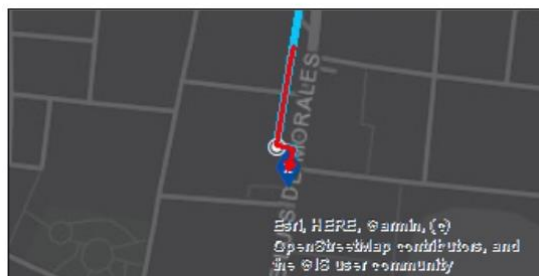
- 5.12: Pase por Parada Kansas City (Céfiro). Estará a la izquierda



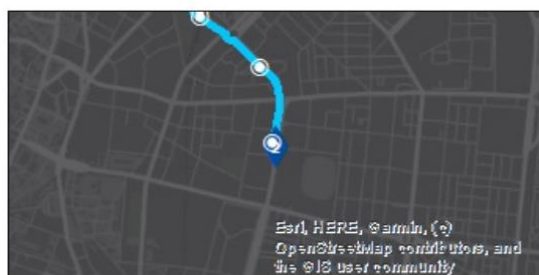
- 6: Gire a la izquierda en Luis de Morales (Luis Montoto) y seguidamente gire a la derecha en Avenida Luis de Morales

46,5 m

< 1 min



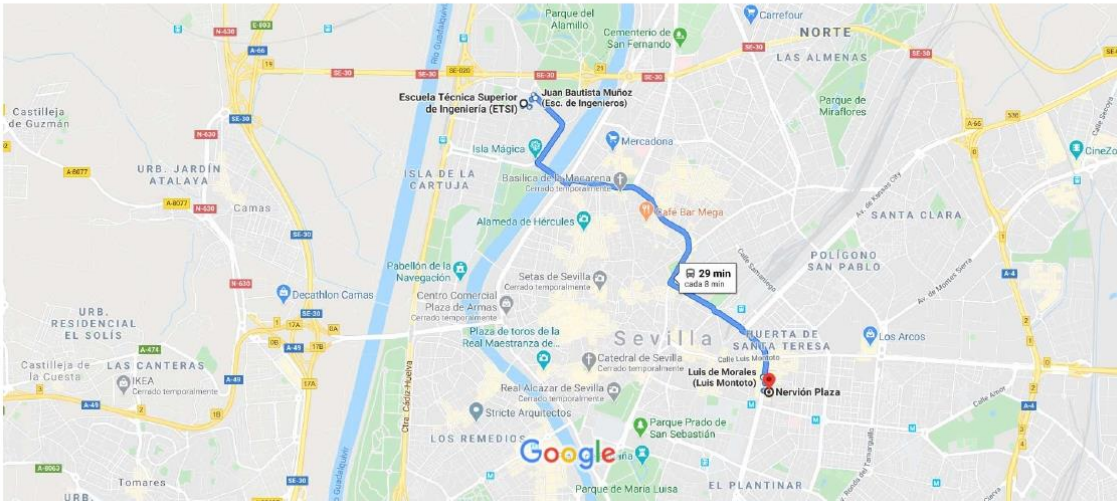
- 7: Finalice en CC Nervión Plaza, a la izquierda



Tiempo total: 31 min  
 Distancia total: 6161,6 m



de Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ETSI) a Nervión Plaza 19:42 - 20:11 (29 min)



Datos del mapa ©2020 Inst. Geogr. Nacional, Google 500 m

- 19:42 **Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ETSI)**  
Calle Américo Vespucio, 41092 Sevilla
- A pie**  
4 min aproximadamente, 250 m
- ⚠ Ten cuidado: puede haber errores o tramos no aptos para ir andando
- ↑ Dirígete al este por Calle Enríquez de Ribera hacia Calle Francisco de Xerez  
68 m
- ↩ Calle Enríquez de Ribera gira a la izquierda hasta Calle Francisco de Xerez  
140 m
- ➡ Gira a la derecha hacia Calle Juan Bautista Muñoz  
El destino está a la derecha.  
42 m
- 19:46 **Juan Bautista Muñoz (Esc. de Ingenieros)**
- C1** Prado de S. Sebastian  
22 min (12 paradas)  
Servicio prestado por Transportes Urbanos de Sevilla S.A.M.
- 20:08 **Luis de Morales (Luis Montoto)**
- A pie**
- ↑ Dirígete al sur por Calle Luis de Morales hacia Calle Luis Arenas Ladislao  
14 m
- ↩ Gira a la izquierda hacia Calle Luis Arenas Ladislao  
16 m
- ➡ Gira a la derecha hacia Calle Luis de Morales  
130 m
- ↩ Gira a la izquierda.  
13 m
- Recorre 41 m a pie.  
41 m
- 20:11 **Nervión Plaza**  
Calle Luis de Morales, 3, 41005 Sevilla

## 4.5 Resumen Comparación Rutas

Los resultados de las pruebas realizadas

Tabla 4–1. Resumen comparación de rutas con diferentes herramientas

Ruta	Forma de Desplazarse	Herramienta	Distancia (Km)	Tiempo (min)
Calle Diamante - Campana	Caminando	Network Analyst	2,98	36
Calle Diamante - Campana	Caminando	GoogleMaps	2,40	30
CC Los Arcos - Hospital Virgen Macarena	En Coche	Network Analyst	4,99	7
CC Los Arcos - Hospital Virgen Macarena	En Coche	GoogleMaps	4,20	11
Parlamento - ETSI	En Bicicleta	Network Analyst	2,73	12
Parlamento - ETSI	En Bicicleta	GoogleMaps	2,10	9
ETSI - CC Nervión Plaza	En Transporte Público	Network Analyst	6,16	31
ETSI - CC Nervión Plaza	En Transporte Público	GoogleMaps	-	29

## 4.6 Rutas entre Distritos

Tras el estudio de los diferentes distritos de la ciudad de Sevilla se han obtenido los siguientes resultados de los desplazamientos con cada uno de los métodos de transporte estudiados. Aparece marcado en verde la mejor opción tanto optimizando la distancia como optimizando el tiempo sin haber tenido en cuenta los desplazamientos en coche, ya que siempre son los óptimos en tiempo.

Tabla 4–2. Resumen comparación de rutas con diferentes herramientas

Nº	Distritos	Forma de Desplazarse	Distancia (Km)	Tiempo (min)
1	Bellavista La Palmera - Casco Antiguo	Caminando	5,5	55
		En Coche	7,2	12
		En Bicicleta	6,4	35
		En Transporte Público	6,5	35
		Multimodal	6,4	32
2	Bellavista La Palmera - Cerro Amate	Caminando	6,6	66
		En Coche	8,0	8
		En Bicicleta	8,4	46
		En Transporte Público	7,1	45
		Multimodal	7,8	43
3	Bellavista La Palmera - Distrito Norte	Caminando	10,3	103
		En Coche	16,0	14
		En Bicicleta	12,1	54
		En Transporte Público	11,6	59
		Multimodal	12,1	53

4	Bellavista La Palmera - Distrito Sur	Caminando	2,7	27
		En Coche	3,4	5
		En Bicicleta	4,0	26
		En Transporte Público	3,3	21
		Multimodal	3,3	21
5	Bellavista La Palmera - Este Alcosa Torreblanca	Caminando	10,2	102
		En Coche	13,8	13
		En Bicicleta	13,1	59
		En Transporte Público	11,8	53
		Multimodal	13,6	52
6	Bellavista La Palmera - Los Remedios	Caminando	3,6	36
		En Coche	4,2	6
		En Bicicleta	4,0	20
		En Transporte Público	4,4	25
		Multimodal	4,2	20
7	Bellavista La Palmera - Macarena	Caminando	7,8	78
		En Coche	9,8	13
		En Bicicleta	8,7	37
		En Transporte Público	8,5	44
		Multimodal	8,7	37
8	Bellavista La Palmera - Nervión	Caminando	4,5	44
		En Coche	5,3	7
		En Bicicleta	5,8	27
		En Transporte Público	6,4	28
		Multimodal	5,9	26
9	Bellavista La Palmera - San Pablo Santa Justa	Caminando	6,4	64
		En Coche	7,0	9
		En Bicicleta	8,7	37
		En Transporte Público	6,9	37
		Multimodal	7,4	36
10	Bellavista La Palmera - Triana	Caminando	5,2	52
		En Coche	6,3	9
		En Bicicleta	6,0	29
		En Transporte Público	6,8	33
		Multimodal	6,0	29
11	Casco Antiguo - Cerro Amate	Caminando	6,9	69
		En Coche	7,4	15
		En Bicicleta	7,4	43
		En Transporte Público	7,6	38
		Multimodal	7,7	37

12	Casco Antiguo - Distrito Norte	Caminando	5,8	58
		En Coche	7,1	12
		En Bicicleta	6,7	41
		En Transporte Público	7,0	33
		Multimodal	6,9	32
13	Casco Antiguo - Distrito Sur	Caminando	5,3	53
		En Coche	6,4	11
		En Bicicleta	6,6	39
		En Transporte Público	6,6	38
		Multimodal	6,8	34
14	Casco Antiguo - Este Alcosa Torreblanca	Caminando	9,9	99
		En Coche	14,3	16
		En Bicicleta	11,1	54
		En Transporte Público	10,9	42
		Multimodal	10,9	42
15	Casco Antiguo - Los Remedios	Caminando	3,0	30
		En Coche	4,5	7
		En Bicicleta	3,6	26
		En Transporte Público	4,7	27
		Multimodal	3,3	23
16	Casco Antiguo - Macarena	Caminando	2,7	27
		En Coche	3,4	8
		En Bicicleta	3,4	24
		En Transporte Público	3,1	19
		Multimodal	3,2	17
17	Casco Antiguo - Nervión	Caminando	3,2	32
		En Coche	3,4	7
		En Bicicleta	3,6	24
		En Transporte Público	3,7	18
		Multimodal	3,7	18
18	Casco Antiguo - San Pablo Santa Justa	Caminando	4,4	44
		En Coche	4,6	9
		En Bicicleta	4,9	29
		En Transporte Público	5,3	27
		Multimodal	4,8	23
19	Casco Antiguo - Triana	Caminando	2,0	20
		En Coche	3,8	7
		En Bicicleta	2,1	19
		En Transporte Público	2,0	20
		Multimodal	2,7	18

20	Cerro Amate - Distrito Norte	Caminando	8,6	86
		En Coche	11,4	12
		En Bicicleta	9,9	47
		En Transporte Público	11,5	54
		Multimodal	10,2	46

21	Cerro Amate - Distrito Sur	Caminando	4,1	41
		En Coche	6,6	8
		En Bicicleta	4,8	28
		En Transporte Público	5,3	31
		Multimodal	5,1	27

22	Cerro Amate - Este Alcosa Torreblanca	Caminando	5,0	50
		En Coche	9,3	11
		En Bicicleta	9,5	43
		En Transporte Público	5,7	32
		Multimodal	5,7	7

23	Cerro Amate - Los Remedios	Caminando	7,3	73
		En Coche	7,6	13
		En Bicicleta	8,2	40
		En Transporte Público	8,8	32
		Multimodal	8,9	31

24	Cerro Amate - Macarena	Caminando	7,4	74
		En Coche	13,0	12
		En Bicicleta	7,9	37
		En Transporte Público	9,3	42
		Multimodal	8,2	36

25	Cerro Amate - Nervión	Caminando	3,9	39
		En Coche	4,0	8
		En Bicicleta	4,2	23
		En Transporte Público	4,8	21
		Multimodal	4,8	21

26	Cerro Amate - San Pablo Santa Justa	Caminando	4,0	40
		En Coche	4,2	8
		En Bicicleta	4,4	23
		En Transporte Público	4,8	27
		Multimodal	4,7	22

27	Cerro Amate - Triana	Caminando	8,1	81
		En Coche	17,4	15
		En Bicicleta	9,2	45
		En Transporte Público	9,2	34
		Multimodal	9,2	34
28	Distrito Norte - Distrito Sur	Caminando	8,9	89
		En Coche	13,4	12
		En Bicicleta	10,1	48
		En Transporte Público	9,9	51
		Multimodal	10,1	48
29	Distrito Norte - Este Alcosa Torreblanca	Caminando	8,1	81
		En Coche	9,1	11
		En Bicicleta	10,9	48
		En Transporte Público	11,2	51
		Multimodal	11,4	46
30	Distrito Norte - Los Remedios	Caminando	8,3	83
		En Coche	9,5	13
		En Bicicleta	9,9	46
		En Transporte Público	11,9	49
		Multimodal	9,9	46
31	Distrito Norte - Macarena	Caminando	3,2	32
		En Coche	3,6	5
		En Bicicleta	4,4	21
		En Transporte Público	4,4	22
		Multimodal	4,4	21
32	Distrito Norte - Nervión	Caminando	6,3	63
		En Coche	7,0	11
		En Bicicleta	7,7	36
		En Transporte Público	7,3	34
		Multimodal	7,3	34
33	Distrito Norte - San Pablo Santa Justa	Caminando	4,7	47
		En Coche	4,9	9
		En Bicicleta	5,6	26
		En Transporte Público	5,7	27
		Multimodal	5,6	26
34	Distrito Norte - Triana	Caminando	7,8	78
		En Coche	11,3	12
		En Bicicleta	8,9	43
		En Transporte Público	9,7	50
		Multimodal	8,9	43



35	Distrito Sur - Este Alcosa Torreblanca	Caminando	8,2	82
		En Coche	10,3	11
		En Bicicleta	9,9	45
		En Transporte Público	9,2	40
		Multimodal	9,8	39
36	Distrito Sur - Los Remedios	Caminando	4,3	43
		En Coche	5,1	7
		En Bicicleta	5,4	33
		En Transporte Público	5,9	31
		Multimodal	6,1	26
37	Distrito Sur - Macarena	Caminando	7,0	70
		En Coche	7,9	10
		En Bicicleta	7,7	35
		En Transporte Público	7,6	41
		Multimodal	7,7	34
38	Distrito Sur - Nervión	Caminando	2,9	29
		En Coche	2,9	4
		En Bicicleta	3,4	19
		En Transporte Público	3,0	19
		Multimodal	3,2	16
39	Distrito Sur - San Pablo Santa Justa	Caminando	4,3	43
		En Coche	4,3	6
		En Bicicleta	4,8	23
		En Transporte Público	4,4	25
		Multimodal	4,8	22
40	Distrito Sur - Triana	Caminando	5,9	59
		En Coche	7,2	10
		En Bicicleta	8,4	41
		En Transporte Público	6,5	33
		Multimodal	6,4	29
41	Este Alcosa Torreblanca - Los Remedios	Caminando	11,2	112
		En Coche	11,5	15
		En Bicicleta	12,9	56
		En Transporte Público	12,4	42
		Multimodal	12,6	41
42	Este Alcosa Torreblanca - Macarena	Caminando	8,5	85

		En Coche	12,5	11
		En Bicicleta	9,6	40
		En Transporte Público	10,3	44
		Multimodal	9,6	40

43	Este Alcosa Torreblanca - Nervión	Caminando	7,5	75
		En Coche	8,0	9
		En Bicicleta	8,6	39
		En Transporte Público	8,2	30
		Multimodal	8,2	30

44	Este Alcosa Torreblanca - San Pablo Santa Justa	Caminando	5,9	59
		En Coche	6,8	8
		En Bicicleta	6,6	29
		En Transporte Público	6,7	26
		Multimodal	6,7	26

45	Este Alcosa Torreblanca - Triana	Caminando	11,7	117
		En Coche	21,0	19
		En Bicicleta	13,9	60
		En Transporte Público	12,9	44
		Multimodal	12,9	44

46	Los Remedios - Macarena	Caminando	5,5	55
		En Coche	6,5	11
		En Bicicleta	6,6	29
		En Transporte Público	7,5	34
		Multimodal	6,6	29

47	Los Remedios - Nervión	Caminando	3,9	39
		En Coche	4,7	7
		En Bicicleta	4,6	23
		En Transporte Público	4,6	18
		Multimodal	4,8	17

48	Los Remedios - San Pablo Santa Justa	Caminando	5,6	56
		En Coche	6,8	10
		En Bicicleta	6,9	31
		En Transporte Público	7,9	31
		Multimodal	7,8	28

49	Los Remedios - Triana	Caminando	1,7	17
		En Coche	2,1	3
		En Bicicleta	2,3	15
		En Transporte Público	2,1	13
		Multimodal	2,1	13

50	Macarena - Nervión	Caminando	4,1	41
		En Coche	4,4	6
		En Bicicleta	4,8	20
		En Transporte Público	4,6	24
		Multimodal	4,8	20

51	Macarena - San Pablo Santa Justa	Caminando	3,5	35
		En Coche	5,0	7
		En Bicicleta	4,0	17
		En Transporte Público	3,7	19
		Multimodal	4,0	17

52	Macarena - Triana	Caminando	4,7	47
		En Coche	6,2	9
		En Bicicleta	5,6	26
		En Transporte Público	5,5	31
		Multimodal	5,6	26

53	Nervión - San Pablo Santa Justa	Caminando	2,0	20
		En Coche	3,4	5
		En Bicicleta	3,0	14
		En Transporte Público	2,9	17
		Multimodal	3,0	14

54	Nervión - Triana	Caminando	4,6	46
		En Coche	6,2	9
		En Bicicleta	5,6	27
		En Transporte Público	5,1	20
		Multimodal	5,1	20

55	San Pablo Sant Justa - Triana	Caminando	6,2	62
		En Coche	8,4	13
		En Bicicleta	7,8	35
		En Transporte Público	8,3	31
		Multimodal	8,3	31

Gracias a este estudio, se ha observado que, en distancia y tiempo de llegada entre cada uno de los distritos de la ciudad de Sevilla, el distrito con peor conexión con el resto es el Distrito Este Alcosa Torreblanca, mientras en la parte opuesta el que tiene una mejor conexión con el resto de distritos es el Casco Antiguo. Esto se puede achacar no a las infraestructuras de la ciudad, si no a que el Casco Antiguo está en el centro de la ciudad, colindante al resto de distritos, mientras que el Distrito Este Alcosa y Torreblanca está situado en un extremo de la ciudad teniendo una distancia bastante considerable con el resto.

## 4.7 Áreas de Servicio

A continuación, se muestran las áreas de servicio en función del tiempo de varios equipamientos de Sevilla.

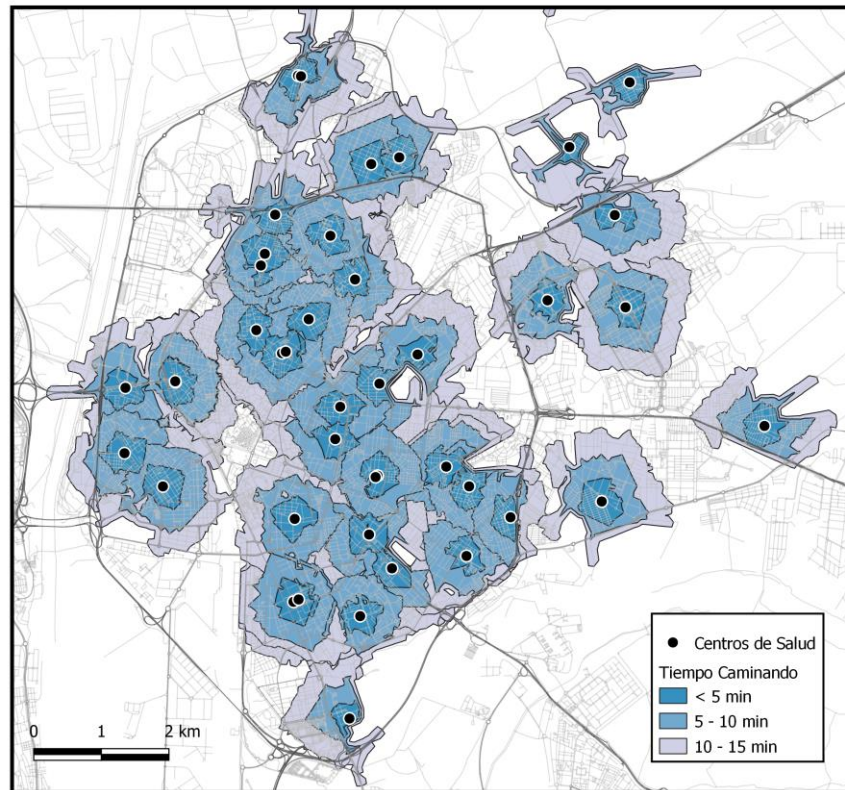


Figura 4-1. Área de servicio centros de salud

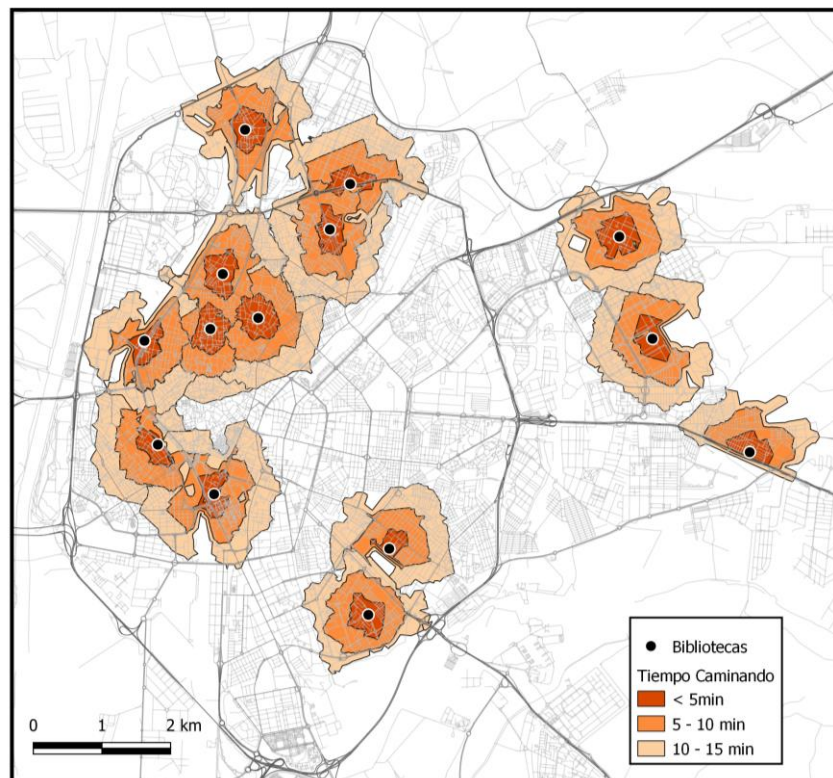


Figura 4-2. Área de servicio bibliotecas públicas



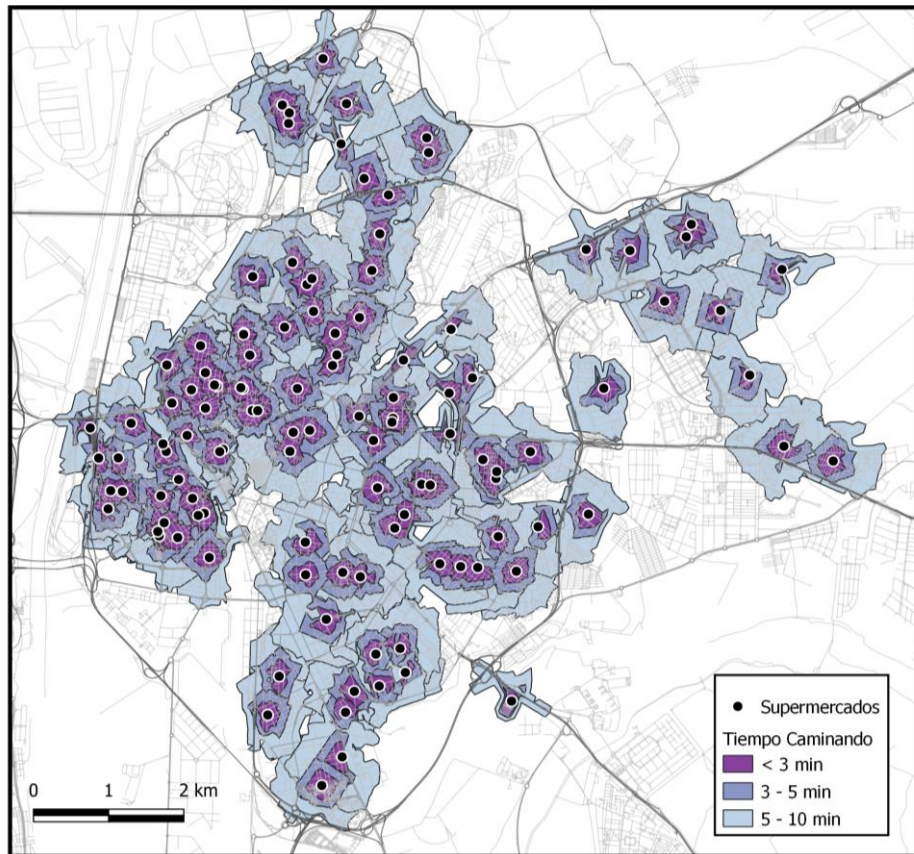


Figura 4-3. Área de servicio supermercados

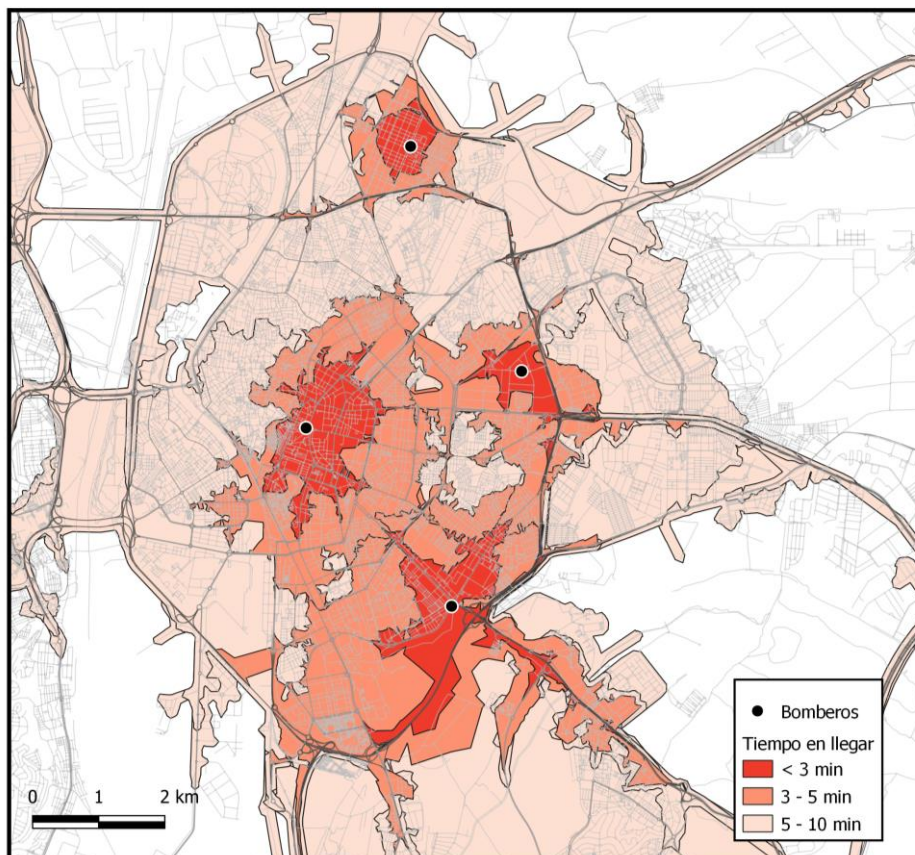


Figura 4-4. Área de servicio bomberos



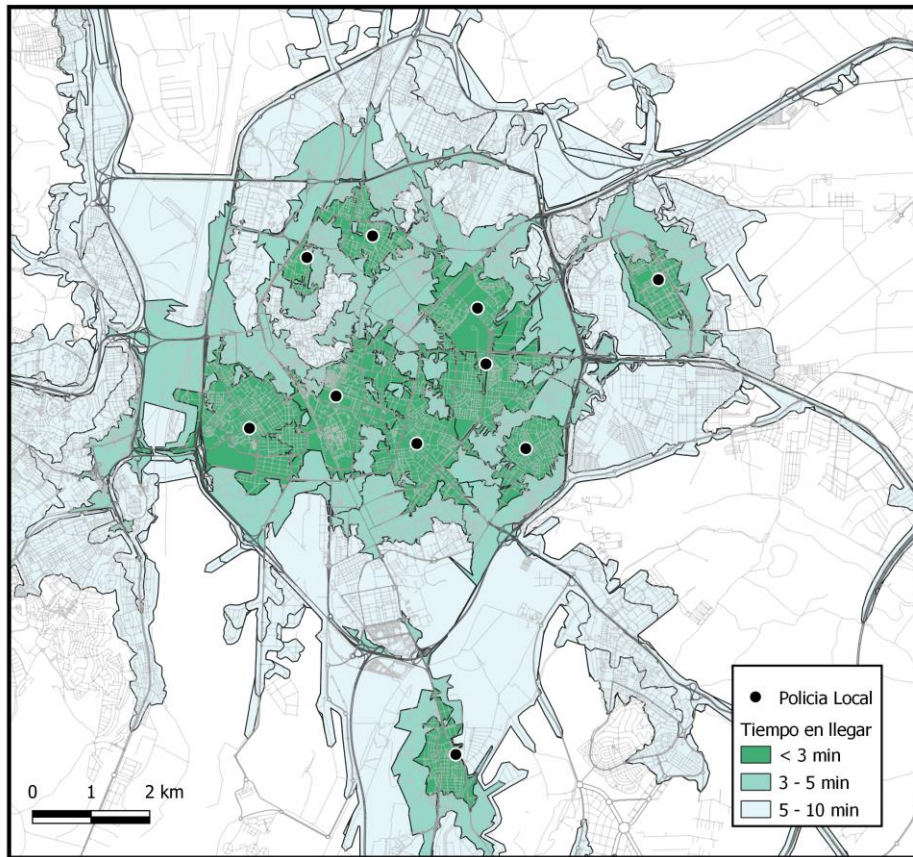


Figura 4-5. Área de servicio policía local

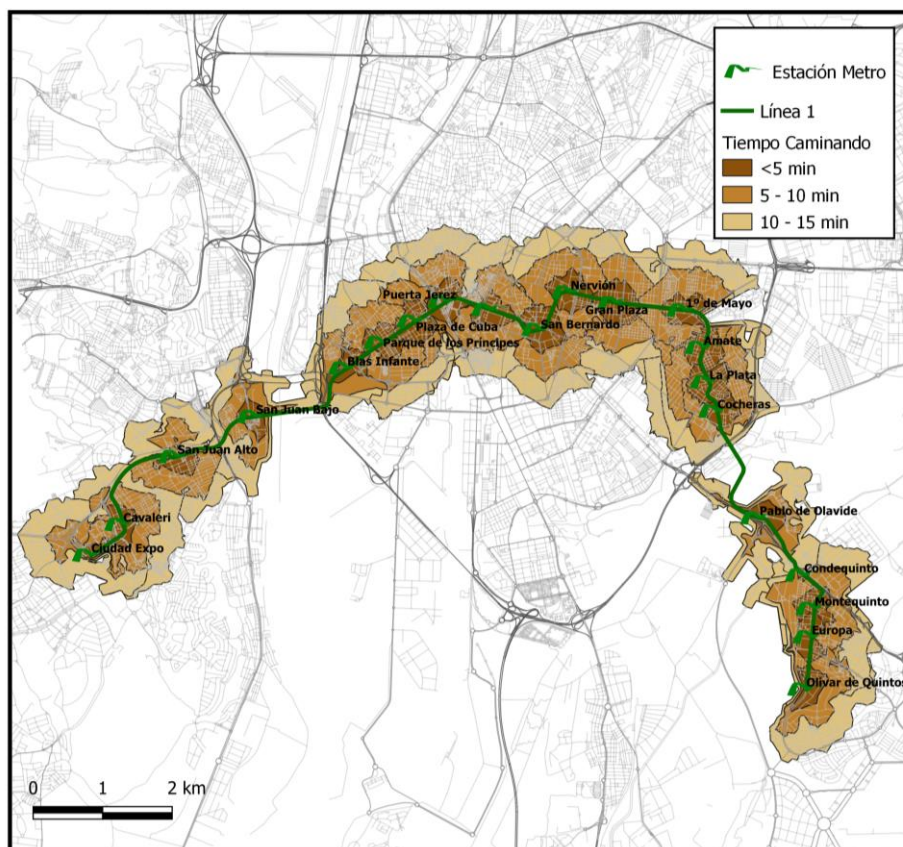


Figura 4-6. Área de servicio estaciones de metro

#### 4.7.1 Acceso a servicios en función de la población

Mediante la superposición de las áreas de servicio obtenidas anteriormente se ha podido obtener las zonas de la ciudad que tienen mejor acceso a esos equipamientos en función de la población, con ello se puede conocer las zonas con mayor población abastecida por esos servicios.

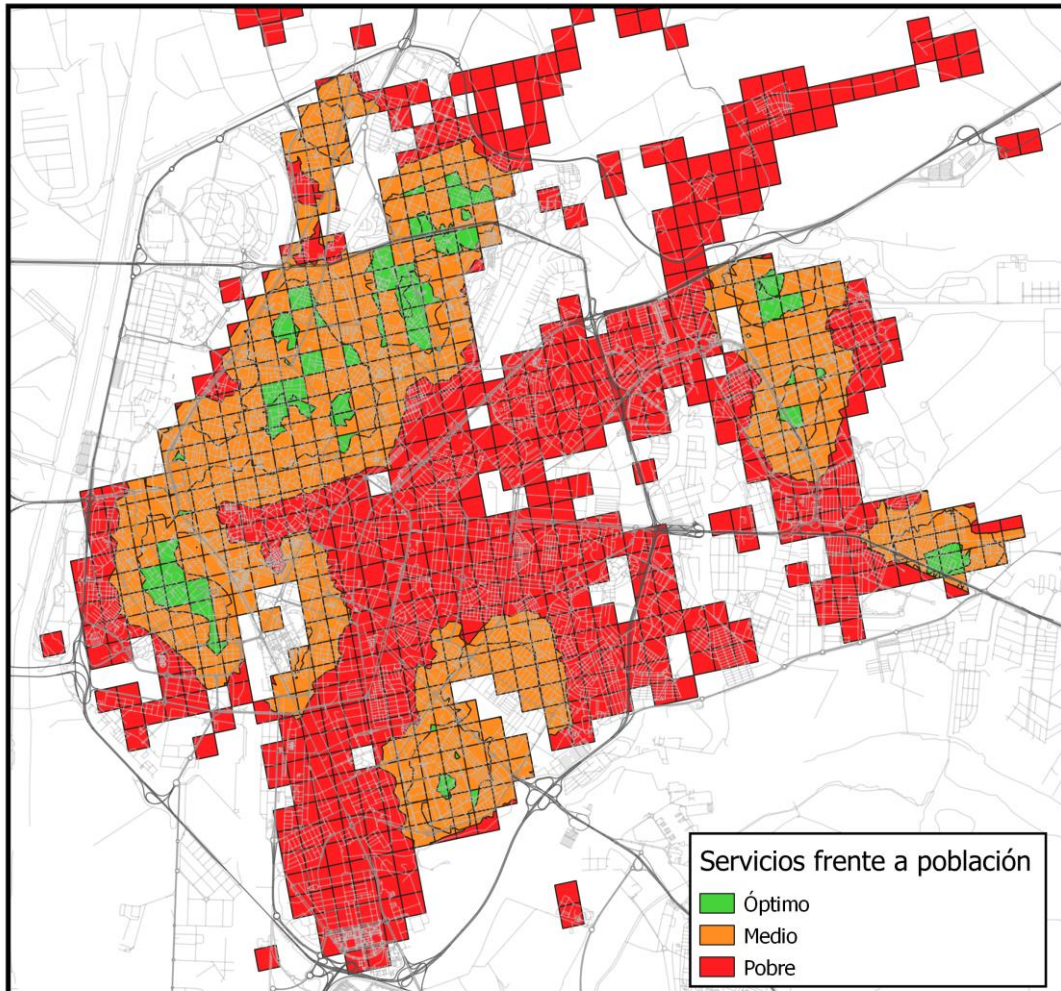


Figura 4-7. Servicios frente a población

Como resultado se puede ver que los distritos con mayor población beneficiada son los de Triana-Los Remedios debido a su gran cantidad de equipamientos y el distrito Macarena y Pino Montano debido principalmente a la población que reside en estos distritos. Cabe destacar que el casco antiguo y Sevilla Este se encontrarían en un término intermedio de población abastecida.



## 4.8 Coeficientes de Correlación entre Network Analyst y Google Maps

A continuación, se va a realizar una comprobación de como de útil puede ser la herramienta Network Analyst de ArcGIS, esto se va a hacer mediante el cálculo del coeficiente de correlación. Comparándose los datos obtenidos de la red creado con los resultados procedentes de Google Maps. Para ello se han realizado 15 rutas aleatorias:

Tabla 4–3. Rutas Coeficiente de Correlación

Nº Ruta	Nombre de la ruta	Medio
R1	Calle Diamante - Campana	Caminando
R2	CC Los Arcos - Hospital Virgen Macarena	En Coche
R3	Parlamento - ETSI	En Bicicleta
R4	Calle Salado - Archivo de Indias	Caminando
R5	Parque del Alamillo - Palacio de Congresos	En Coche
R6	Estación Santa Justa - Torre Sevilla	En Bicicleta
R7	Estación Santa Justa - Estación Plaza de Armas	Caminando
R8	Parque de los Príncipes - Isla Mágica	En Coche
R9	Estación Plaza de Armas - ETSI	En Bicicleta
R10	Hospital Virgen del Rocío - Puerta Jerez	Caminando
R11	Estadio Benito Villamarín - Palacio de Congresos	En Coche
R12	Facultad de Informática - Plaza de Armas	En Bicicleta
R13	Parlamento - Parque Miraflores	Caminando
R14	Torre Sevilla - Estación Santa Justa	En Coche
R15	Estación Santa Justa - Parlamento	En Bicicleta

Tabla 4–4. Coeficientes de Correlación

Nº Ruta	Distancia (km)		Nº Ruta	Tiempo (min)	
	Net. Analyst	Google Maps		Net. Analyst	Google Maps
R1	2,98	2,40	R1	36	30
R2	4,99	4,20	R2	7	11
R3	2,73	2,10	R3	12	9
R4	1,86	1,60	R4	19	20
R5	9,47	7,50	R5	8	12
R6	6,56	4,60	R6	27	18
R7	3,35	2,70	R7	34	33
R8	6,63	5,40	R8	6	8
R9	3,20	2,50	R9	13	10
R10	3,30	2,60	R10	33	33
R11	11,89	9,50	R11	10	11
R12	5,62	5,00	R12	23	15
R13	3,13	2,50	R13	31	32
R14	6,79	5,30	R14	10	13
R15	2,78	2,10	R15	12	7

<b>Coef. Correlación</b>	<b>0,995</b>
--------------------------	--------------

<b>Coef. Correlación</b>	<b>0,923</b>
--------------------------	--------------

Se ha obtenido un coeficiente de correlación de 0.995 para el parámetro distancia y de 0.923 para el parámetro tiempo. Ambos coeficientes están muy cerca de la unidad, esto quiere decir que los resultados obtenidos por ambas herramientas son muy similares. Se ha obtenido mayor similitud en las distancias de viaje, pero aun así hay un pequeño error, esto es debido a que ArcGIS utiliza como referencia para una calle su línea media, mientras que Google Maps abarca todo el ancho de la vía, por lo que ahí reside la pequeña diferencia de distancia.

También se puede ver que el coeficiente de correlación para el tiempo estimado es muy bueno, esto significa que podrían utilizarse ambas herramientas sin apreciarse mucha diferencia entre ambas. Por lo que se puede decir que la herramienta creada a pesar de no tener en cuenta el tráfico en la zona sirve como una buena aproximación del tiempo estimado de viaje en la ciudad de Sevilla.

# 5 CONCLUSIONES

---

Las conclusiones extraídas de este trabajo son:

- El aumento de la cantidad de datos espaciales y especialmente el crecimiento de datos en Portales de Datos Abiertos son de gran ayuda para mejorar la gestión de la red de tráfico y la movilidad de las ciudades. En nuestro trabajo nos hemos centrado en la movilidad en los distintos medios de transporte de la ciudad de Sevilla. No obstante, los datos espaciales por si solos carecen de interés si no se cuenta con las herramientas informáticas y conocimientos necesarios que permitan obtener conclusiones para posteriormente tomar decisiones en función de los resultados obtenidos.
- Se ha podido conocer el gran potencial de ArcGIS para analizar los datos espaciales en las diferentes modalidades de transporte. Concretamente se ha visto la capacidad de análisis de rutas con la herramienta Network Analyst de ArcGIS, en la que la multimodalidad entre los diferentes medios de transporte se ve resuelta con eficiencia por el programa.
- La aplicación de la metodología en la ciudad de Sevilla y la realización de varias comprobaciones con el programa ha permitido obtener varias conclusiones tanto de la red de transporte de la ciudad:
  - Los resultados de la ruta óptima obtenidos con la herramienta Network Analyst de ArcGIS guardan una gran similitud con los que puede dar la herramienta GoogleMaps, siendo la ruta siempre la misma en todos los casos y los tiempos de llegada con ambas herramientas prácticamente los mismos como se ha podido comprobar con el coeficiente de correlación.
  - Se ha observado que, en el estudio de distancia y tiempo de llegada entre cada uno de los distritos de la ciudad de Sevilla, el que tiene peor conexión con el resto es el Distrito Este Alcosa Torreblanca, mientras que el que tiene una mejor conexión con el resto de distritos es el Casco Antiguo.
  - En el estudio del área de influencia de algunas de las dotaciones que ofrece la ciudad, cabe destacar la escasez de bibliotecas públicas en los distritos de San Pablo Santa Justa y el norte de Nervión.

Gracias a los resultados obtenidos anteriormente se puede ver que la herramienta utilizada da unos resultados muy parecidos a los obtenidos por Google Maps, por lo que la herramienta podría utilizarse para realización de un anteproyecto o análisis previo del estudio multimodalidad y áreas de servicio de cualquier ciudad a partir de datos de acceso públicos y sin ser necesario tener datos de tráfico de la misma.

---

Como líneas futuras de este trabajo estaría la inclusión de datos de tráfico rodado en vivo a través de las herramientas de ArcGIS para una mejor obtención de los tiempos de llegada en función de la hora del día. La realización de una modelización más exhaustiva de cada uno de los distritos de la ciudad, incluyendo señalización y velocidad media de cada una de las vías. También podría incluirse la mejora de los datos espaciales de la red de carril bici añadiendo la nomenclatura pertinente para cada una de las vías.

# REFERENCIAS

---

Antón Burgos, F. J. (2013). *Redes de transporte, articulación territorial y desarrollo regional*. Revista de Estudios Andaluces 30, 27-47.

Ayuntamiento de Sevilla. (s.f.). *La Infraestructura de Datos Espaciales del Ayuntamiento de Sevilla, IDE*. Recuperado de <https://idesevilla.maps.arcgis.com/home/index.html>

Ayuntamiento de Sevilla. (s.f.). *Portal de Datos Abiertos*. Recuperado de <http://datosabiertos.sevilla.org/>

Ayuntamiento de Sevilla. (s.f.). *SEVICI*. Recuperado de <http://www.sevici.es/>

Ayuntamiento de Sevilla. (s.f.). *Transportes Urbanos de Sevilla, S.A.M.* Recuperado de <https://www.tussam.es/es>

ESRI, ArcGIS for Desktop. (s.f.). *Crear un dataset de red de varios modelos*. Obtenido de Ayuda de Arcmap: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/extensions/network-analyst/exercise-2-creating-a-multimodal-network-dataset.htm>

ESRI, ArcGIS for Desktop. (s.f.). *Buscar la mejor ruta mediante un dataset de red*. Obtenido de Ayuda de Arcmap: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/extensions/network-analyst/exercise-3-finding-the-best-route-using-a-network-dataset.htm>

ESRI, ArcGIS for Desktop. (s.f.). *Calcular áreas de servicio y crear una matriz de coste OD*. Obtenido de Ayuda de Arcmap: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/extensions/network-analyst/exercise-5-calculating-service-area-and-creating-an-od-cost-matrix.htm>

Gerencia de Urbanismo, Ayuntamiento de Sevilla (2017): *Programa de la bicicleta Sevilla 2020*

Geofabrik (s.f.): *Opendata Geofabrik*. Recuperado de <http://www.geofabrik.de/>

Google (s.f.): *GoogleMaps*. Recuperado de <https://www.google.es/maps/>

Hillier, F.S., Lieberman, G.J. (2006): *Introducción a la Investigación de Operaciones*. 8ª edición. McGraw-Hill.

Junta de Andalucía. (s.f.). *Metro Sevilla*. Recuperado de <https://www.metro-sevilla.es/es>

Junta de Andalucía. (s.f). *Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía*. Recuperado de [http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/DERA/datos\\_espaciales.htm](http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/DERA/datos_espaciales.htm)

Puchades, V., Mula, J. & Rodríguez, A. (2008). *Aplicación de la Teoría de Grafos para mejorar la planificación de rutas de trabajo de una empresa del sector de la distribución automática*. Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa. 6, 7-22.

Periódico Las Provincias (28 julio 2020) *El Ayuntamiento presenta el primer barrio de Valencia que tendrá todos sus servicios públicos a menos de 15 minutos andando*.

Taha, H.A. (2004): *Investigación de Operaciones*. 7ª edición. Prentice Hall, México.

Transportes Urbanos de Sevilla, S.A.M. (2019): *Memoria Anual 2018*





```
If [fclass] = "motorway" Then
    val = 1
elseif [fclass] = "motorway_link" Then
    val = 1
elseif [fclass] = "trunk" Then
    val = 1
elseif [fclass] = "trunk_link" Then
    val = 1
elseif [fclass] = "primary" Then
    val = 2
elseif [fclass] = "primary_link" Then
    val = 2
elseif [fclass] = "secondary" Then
    val = 2
elseif [fclass] = "secondary_link" Then
    val = 2
elseif [fclass] = "tertiary" Then
    val = 3
elseif [fclass] = "tertiary_link" Then
    val = 3
elseif [fclass] = "living_street" Then
    val = 3
elseif [fclass] = "residential" Then
    val = 3
elseif [fclass] = "service" Then
    val = 3
elseif [fclass] = "track" Then
    val = 3
elseif [fclass] = "track_grade1" Then
    val = 3
elseif [fclass] = "track_grade2" Then
    val = 3
elseif [fclass] = "track_grade3" Then
    val = 3
elseif [fclass] = "track_grade4" Then
    val = 3
elseif [fclass] = "track_grade5" Then
    val = 3
end if
```

